



Diseño de un sistema de gestión de riego mediante red de sensores a fin de aportar en la tecnificación del cultivo de *Solanum phureja* para la sostenibilidad de la Vereda Santa Ana en el municipio de Monguí.

**TESIS
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MAGISTER EN MANEJO Y SOSTENIBILIDAD
AMBIENTAL**

**JULIAN DAVID AVILA CUBIDES
JEIMY ALEJANDRA BAYONA ESPITIA**

**Tutor: ING. EDGAR ANDRES GUTIERREZ CÁCERES
Cotutor: ING. CAMILO ERNESTO PARDO BEAINY
Cotutor: ING. IVAN GUSTAVO PIRAZAN**

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería**

Tunja, 2023

Diseño de un sistema de gestión de riego mediante red de sensores a fin de aportar en la tecnificación del cultivo de *Solanum phureja* para la sostenibilidad de la Vereda Santa Ana en el municipio de Monguí.

**TESIS
PARA OPTAR POR EL TÍTULO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAGISTER EN MANEJO Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL**

**JULIAN DAVID AVILA CUBIDES
JEIMY ALEJANDRA BAYONA ESPITIA**

**Aprobado por
(Firma)**

**Aprobado por
(Firma)**

.....
**Nombre y apellidos
Docente tutor**

**Nombre y apellidos
Docente tutor**

.....
**Firma primer lector
Docente**

**Firma segundo lector
Docente**

Tunja, 2023

Exoneración de Responsabilidades

Los conceptos desarrollados, investigaciones realizadas, prácticas elaboradas, análisis y conclusiones del presente proyecto son de exclusiva responsabilidad del autor.

Dejo constancia que cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, según lo establecido por la ley No. 1915 del 12 de Julio de 2018, ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

AUTOR

FECHA

FIRMA

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES.....	8
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. OBJETIVOS.....	19
4.1 OBJETIVO GENERAL	19
4.2 OBJETIVOS GENERALES	19
5. ANTECEDENTES	20
5.1 Estado del arte	20
5.1.1 Sistema de riego automatizado con Arduino	22
5.1.2 Sistema Inteligente para controlar sistemas de riego en México	23
5.1.3 Temporal and spatial variability of soil moisture based on WSN (Variabilidad temporal y espacial de la humedad del suelo basada en WSN).....	23
5.1.4 An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies (Un sistema de gestión de riego inteligente basado en IoT que utiliza aprendizaje automático y tecnologías de código abierto.)	25
5.1.5 Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept (Desarrollo de sistemas de riego inteligentes basados en datos de humedad del suelo en tiempo real en un invernadero: prueba de concepto).....	26

5.1.6 Intelligent agricultural irrigation prescription system based on sensor networks and crop modeling (Sistema inteligente de prescripción de riego agrícola basado en redes de sensores y modelado de cultivos) 27

5.1.7 Development of a system for intelligent irrigation for the automation of water use. (Desarrollo de un sistema para el riego inteligente para la automatización del uso del agua).

27

6. MARCO REFERENCIAL	29
7. MARCO TEÓRICO	33
7.1 Marco Conceptual	40
7.2 Marco legal	47
8. METODOLOGÍA	49
8.1 Tipo de investigación	49
8.2 Población	49
8.3 Muestra	49
8.4 Variables	49
8.5 Análisis de datos	50
8.5 Desarrollo del sistema de control y automatización	50
9. CALIBRACIÓN DE SENSORES	58
12. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
12.1 Calibración de sensor de humedad	74
12.2 Análisis de distribución óptima de datos	75
13. CONCLUSIONES	80

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos de temperatura en el cultivo de papa (<i>Solanum phureja</i>) de acuerdo a su etapa de desarrollo.	36
--	----

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema de sistema de riego por goteo	42
Ilustración 2 Fórmula índice de estrés hídrico	45
Ilustración 3 Diseño y distribución de sistema de riego.....	52
<i>Ilustración 4</i> Esquema del módulo del sistema de riego automatizado Esquema del módulo del sistema de riego automatizado	53
Ilustración 5 Diagrama de flujo, funcionamiento de sistema de riego	55
Ilustración 6. Algoritmo interfaz gráfica de usuario para activación de bomba de dispensación de agua en el cultivo de papa criolla <i>Solanum phureja</i>	56
Ilustración 7 Rango de calibración.....	59
<i>Ilustración 8</i> Toma de muestras para análisis de suelo	60
<i>Ilustración 9</i> Circuito para el sensor	61
Ilustración 10 Método de calibración	63
Ilustración 11 Grilla de datos experimentales.	65
Ilustración 12 Topologías lógicas de redes Zigbee.	69
Ilustración 13. Topología práctica	71
Ilustración 14 Circuito de nodo sensor	73
Ilustración 15 Implementación de manguera de riego dentro del cultivo.	76
Ilustración 16 Implementación de sistema de riego en el cultivo.	76
Ilustración 17. Resultados análisis de suelo.....	78

RESUMEN

El Departamento de Boyacá es reconocido como una de las potencias agrícolas de Colombia (PNUD, 2011), ya que una sus principales labores está asociada a la agricultura, gracias a su riqueza ecosistémica y biodiversidad que incluye terreno, clima, potencial de áreas irrigables, entre otras (Arias y Antosova, 2015). No obstante, se presentan algunas dificultades que limitan la implementación de acciones que propendan por la sostenibilidad de la comunidad.

El presente proyecto tiene como fin aportar en la sostenibilidad y soberanía alimentaria, a través de la tecnificación del campo como principal contexto de provisión, en razón a que reconocen algunas dificultades ambientales que inciden en la necesidad de generar propuestas innovadoras a través de la participación social. Una de estas variables está asociada al mal aprovechamiento y uso del recurso hídrico, y la baja calidad en el cultivo, que son el resultado de la falta de capacitación de los productores, características propias del terreno, cambio climático, pendientes pronunciadas, costos de producción que inciden en la salida de zona rural a urbana en búsqueda de oportunidades.

Mediante el racionamiento del agua, y por ende la justicia social y la eficiencia económica de la población del municipio de Monguú, se ha llevado a cabo este proyecto que afecta a un sector muy importante como es la agricultura, que no solo garantiza la seguridad alimentaria de las familias campesinas, sino también justicia en toda la población, que tiene como objetivo establecer un sistema de gestión que permita el buen manejo y uso eficiente de los recursos hídricos autorizados para el funcionamiento de un cultivo *Solanum Phureja* en el municipio de Monguú, Vereda Santa Ana. Los sistemas de riego y drenaje son una demanda insatisfecha en un país con una base agrícola diversa. Los productores de todo el país esperan más inversiones para garantizar que sus cultivos y forrajes no se vean dañados por el cambio

climático.

Este trabajo se desarrolla de la siguiente manera: en la primera fase, se establece determinar los factores ambientales que se deben considerar para el riego óptimo de los cultivos de papa, así como los equipos necesarios para el sistema de control de riego y monitoreo de variables ambientales; en la segunda fase, se plantea determinar las necesidades de agua que asegurarán la calidad de la producción de *Solanum phureja*; en la tercera fase se requiere elaborar el prototipo del sistema de gestión de riego mediante red de sensores teniendo en cuenta los requerimientos del terreno y las necesidades de los habitantes de la vereda y en la cuarta fase se plantea la validación del sistema de riego automatizado en cuanto a la optimización del uso del agua.

Con la implementación de este sistema, se automatizarán las operaciones manuales y empíricas de la vereda Santa Ana, se disminuirán los impactos ambientales mediante el manejo adecuado del suministro de agua y se reducirán los viajes nocturnos al cultivo.

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad del agua y alimentaria está entrelazada, pues estos son elementos fundamentales que garantizan una vida sana y plena; ya que, sin agua limpia, sana y segura para el consumo, la producción de alimentos se ve amenazada, pues la agricultura depende de tener un suministro adecuado de agua para el riego (ONU, 2014). En todo el mundo, 800 millones de personas siguen padeciendo hambre, y la mayoría vive en zonas con escasez de agua. Cuando la FAO lanzó su Programa Especial para la Seguridad Alimentaria en 1994, reconoció que la falta de acceso al agua era con frecuencia un obstáculo importante para expandir la producción de alimentos (FAO, 2002). La agricultura de regadío ha desempeñado un papel fundamental en la producción de alimentos en las últimas décadas. Los rendimientos máximos de los cultivos obtenidos con el riego son más del doble de los obtenidos en secano que básicamente, están determinados por la cantidad de precipitación atmosférica. La agricultura de regadío, incluso con insumos modestos, es más productiva que la agricultura de secano, que requiere mucha agua. Estos beneficios provienen de poder controlar con precisión la absorción de agua por las raíces de las plantas.

Mantener las demandas nutricionales de la población mundial frente a los límites del agua en el futuro requiere impulsar la eficiencia y la producción del riego, un objetivo que solo se puede lograr mediante el avance técnico. El uso de sistemas de automatización y control en todas las escalas de distribución del agua de riego es sin duda esencial para lograr la modernización técnica necesaria del sistema de riego. (CANALES, 2010). La producción agrícola genera apoyo familiar, progreso comunitario y abastecimiento a las pequeñas, medianas y grandes ciudades de nuestro país, asegurando la disminución de la pobreza, el desempleo y la desnutrición, entre otras cosas. Esto se logrará a través de la responsabilidad en el uso, y tuvo

adecuada recuperación de los recursos naturales. Es necesario incentivar a más personas de esta región rural a trabajaren casa con cultivos pequeños, creando una cultura de comunidad productiva, así como la inclusión de componentes tecnológicos que permiten un uso más eficiente de los recursos naturales.

Es de anotar, que actualmente se encuentran disponibles diversos avances e implementaciones para la automatización de sistemas de riego en cultivos; sin embargo, en muchas situaciones, estos no son económicamente accesibles para los pequeños productores o agricultores del sector rural. El enfoque de agricultura de precisión, por otro lado, utiliza redes de comunicación para recopilar información sobre el estado del cultivo y realizar tareas específicas manualmente, lo que permite al operador mantener el control sobre el cultivo en caso de una emergencia no anticipada. Como resultado, puede realizar tareas de operación de riego sin tener que esperar a que llegue un especialista y configure el equipo (Lozano & Ramírez, 2016). Teniendo en cuenta estos factores, este proyecto de intervención se está llevando a cabo con el objetivo de ofrecer un sistema de control de riego de bajo costo para cultivos de *Solanum phureja* ubicados en áreas rurales

La presente propuesta, busca establecer un enfoque de gestión para la adecuada administración del agua que demanda la vereda Santa Ana para la adecuación de terrenos de pequeña escala en el municipio de Monguí, tratando de establecer soluciones alternativas para la maximización y buen uso del agua disponible, tales como: ajustes en agricultura de regadío mediante sensores y aplicación de cultivos que requieran menos agua y aditivos contaminantes.

Los sistemas de riego y drenaje son una demanda insatisfecha en un país con una base agrícola diversa. Los productores de todo el país anticipan más inversiones para garantizar que sus cultivos y forrajes no se vean perjudicados por el cambio climático.

Con el fin de apoyar la sostenibilidad, a través del racionamiento del agua y consecuentemente la equidad social y eficiencia económica de la población del municipio de Monguí, se llevó a cabo este proyecto que busca establecer un sistema de gestión que permita la adecuada administración y uso eficiente del recurso hídrico autorizado para el funcionamiento de un cultivo de *Solanum phureja* ubicada en el municipio de Monguí, Vereda Santa Ana, en un sector tan importante como el sector agrícola, que no solo garantiza la seguridad alimentaria de las familias campesinas sino también la equidad en toda la población . Con ayuda de la implementación del sistema de riego se busca una eficiencia en el cultivo buscando una mejor calidad y ayudar en la sostenibilidad, manejo y uso del recurso hídrico.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de alimentos que garantiza la seguridad alimentaria de las familias es esencial en la agricultura, una de las actividades económicas mundiales más desarrolladas. Desafortunadamente, la intensidad y continuidad de sus prácticas han disminuido gradualmente debido a los costos asociados con su sustentabilidad, y aún más, debido a la escasez de agua para riego y el uso inadecuado de esta agua. Por lo tanto, es crucial tener en cuenta el aumento de la población global, lo cual se deduce en un fenómeno que resulta en un incremento considerable tanto en el consumo de alimentos y consecuentemente en la demanda de mayor cantidad de agua. Como resultado, buscar métodos alternativos para suministrar agua a los campos, ya sea por gravedad o por bombeo, es un componente activo y vital del proceso (Salcedo y Guzmán, 2014).

Colombia como país agrícola, ha adquirido una licencia para el ingreso de nuevos bienes en esta región desde la firma del tratado de libre comercio con Estados Unidos, lo que implica que existe la necesidad de expansión en las áreas de cultivo para lograr una mayor y eficiente producción en el sentido de poder cumplir con los requisitos necesarios. La búsqueda continua de mejores formas de utilizar los recursos requiere la implementación de nuevas tecnologías en el sector rural, lo que plantea una variedad de problemas para los campos relacionados con la ingeniería y la agricultura (Tabares y Ruiz, 2016).

Según lo mencionado anteriormente, al analizar la situación en Colombia se encuentra que, a pesar del amplio potencial de oportunidades en el ámbito agrícola, es necesario establecer estrategias que lleven a la creación de escenarios tecnológicos que permitan el uso eficiente de los recursos disponibles. (Universidad Nacional de Colombia, 2021). Hay varias formas en que la tecnología puede ayudar a mejorar la producción agrícola no automatizada, particularmente en

el sector rural, enfatizando principalmente en el monitoreo y control del riego de cultivos porque se descubrió que, en muchos aspectos del proceso de producción agrícola, el tiempo que un agricultor dedica a monitorear la humedad de los cultivos y regarlos es excesivo y podría gastar mejor en otras tareas, maximizando así el método.

Por lo anterior, se identifica como problema central que es limitada la capacidad de las personas para mantener hidratados los cultivos de producción o huertos familiares, evitando que se degraden por deshidratación. A la mayoría de las personas les gusta producir sus propios alimentos, usar plantas decorativas en los jardines o plantar verduras en los huertos, ya que esto reduce el estrés y mejora la salud. Sin embargo, cuando se trata de regar las plantas, el mantenimiento se convierte en un problema, pues cuando no se tiene un conocimiento previo el exceso de agua en las plantas o huertos puede ser perjudicial, ya que las raíces pueden sufrir daños, esto debido a la falta de oxígeno en el suelo (Valverde y Arias, 2020); así mismo, las hace más susceptibles a enfermedades y pueden llegar a provocar su muerte. Por eso es importante no excederse en la cantidad de agua necesaria y así mismo, encontrar un equilibrio adecuado para el riego de las plantas.

Varios elementos, como el tiempo y la cantidad de agua que se debe administrar, tienen un impacto significativo en el cuidado de los cultivos. Según el estudio de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, otro elemento importante es el calentamiento global, que está provocando una disminución en la mayor parte del hielo de los glaciares, lo que resulta en escasez de agua. Se estima que el 70 por ciento del agua utilizada para la agricultura y la alimentación se utiliza para riego; por tanto, es fundamental hacer un uso eficaz del agua mediante el riego tecnológico (Vera. et al., 2011). De acuerdo a lo ya mencionado, es válido aclarar que el enfoque principal de la propuesta se basa en el empleo de

tecnologías para automatizar el riego agrícola en una parcela ubicada en el municipio de Monguí Boyacá, con el fin de ponerlo al servicio de las personas que allí residen (Guijarro et al., 2018)

De acuerdo a lo anterior, se hace necesario determinar los requerimientos hídricos que garanticen la calidad de la producción del cultivo de papa *Solanum phureja* para parametrizar la red de sensores y brindar la humedad necesaria para su correcto desarrollo, lo anterior, con el fin de buscar alternativas que optimicen el consumo hídrico del cultivo de papa. Resaltando que el problema central es la falta de uso de tecnología que aporte un uso eficiente de recurso hídrico, lo cual tiene efectos tales como: mal aprovechamiento del recurso hídrico y baja calidad en el cultivo que incide de manera indirecta en la falla en los sistemas de riego e insostenibilidad de las zonas rurales.

3. JUSTIFICACIÓN

La producción agrícola genera apoyo familiar, progreso comunitario y abastecimiento a las pequeñas, medianas y grandes ciudades de nuestro país, asegurando la reducción de la pobreza, el desempleo y la desnutrición, entre otras cosas; acciones que se lograrán a través de la responsabilidad en el adecuado uso, recuperación y preservación de los recursos naturales, esto se refleja en el uso del agua para fines domésticos, industriales y agrícolas. El objetivo de este diseño es incentivar a más personas de esta región rural a trabajar en casa con cultivos pequeños, creando una cultura de comunidad productiva, así como la inclusión de componentes tecnológicos que permitan un mayor manejo y producción de este tipo de cultivo. Ya se encuentran disponibles diversos avances e implementaciones para la automatización de sistemas de riego en cultivos; sin embargo, en muchas situaciones, estos no son económicamente accesibles para los pequeños productores o agricultores del sector rural. Teniendo en cuenta estos factores, este proyecto de intervención se está llevando a cabo con el objetivo de ofrecer un sistema de control de riego de bajo costo para cultivos ubicados en áreas rurales. La necesidad de este proyecto nace de la realidad de que la mayoría de los sistemas de riego no son inteligentes ni automatizados, y los que lo son tienen gastos desorbitados, particularmente para una población de escasos recursos económicos, como son nuestros consumidores.

Los sistemas de riego, traen muchos beneficios en cuanto a producción y ahorro se refiere, pues permite ahorro de mano de obra y energía, ahorro de agua y da mayor productividad y rendimiento al cultivo (González, 2016).

Por otro lado, la implementación de un sistema de riego adecuado a las necesidades de cada cultivo, proporciona la humedad óptima al suelo, lo que previene la erosión y ayuda a

conservar la estructura del suelo; además cumpliendo con las exigencias del cultivo el sistema de riego puede minimizar el ataque de enfermedades relacionada con el exceso o falta de agua, lo que da como resultado un cultivo sano y más resistente (FAO, 2008).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, en esta propuesta se busca establecer un enfoque de gestión para la adecuada administración del agua que demanda la vereda Santa Ana para la adecuación de terrenos de pequeña escala en el municipio de Monguí, tratando de establecer soluciones alternativas para la maximización y buen uso del agua disponible, tales como: ajustes en agricultura de regadío mediante sensores y aplicación de cultivos que requieran menos agua y aditivos contaminantes.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de gestión de riego mediante red de sensores con el fin de aportar en la tecnificación del cultivo de *Solanum phureja* para la sostenibilidad de la Vereda Santa Ana en el municipio de Monguí.

4.2 OBJETIVOS GENERALES

- Establecer indicadores respecto a la necesidad hídrica para la producción eficiente de la *Solanum phureja* ubicada en el municipio de Monguí, Vereda Santa Ana con el fin de parametrizar la red de sensores.
- Elaborar el prototipo del sistema de gestión de riego mediante red de sensores teniendo en cuenta los requerimientos del terreno y las necesidades de los usuarios.
- Validar el sistema de riego automatizado en cuanto a la optimización del uso del recurso hídrico para la sostenibilidad del cultivo.

5. ANTECEDENTES

5.1 Estado del arte

El rápido crecimiento de la población mundial, combinado con una demanda crítica de alimentos en varias partes del mundo y el dismantelamiento de las barreras físicas a la comercialización, ha dado lugar a una conclusión común para los países con una clara profesión agrícola: "Para sobrevivir, hay que producir más". Este supuesto se refiere al sector agropecuario en general y sus técnicas para incrementar los rendimientos productivos a bajo costo, generando rentabilidad y competitividad, pero en el contexto de un sistema sensible de manejo de recursos hídricos y suelos (MATTA, 2018).

Dado que el agua es lo que permite que los cultivos crezcan bien, el vínculo entre el agua y la producción agrícola es directamente proporcional. Sin embargo, cabe mencionar que también debe ir acompañado de algunos cuidados fundamentales. Los estudios de las características de cada variedad de cultivo han revelado que cada uno tiene requisitos únicos, que cada uno se formó a ciertas temperaturas óptimas, que algunos requieren más agua que otros y que es fundamental garantizar que el cultivo se riegue adecuadamente.

Los sistemas de riego tienen un impacto beneficioso tanto en el ámbito social como económico, ya que proporcionan puestos de trabajo y la oportunidad para que las personas obtengan artículos de cultivos de alta calidad, lo que aumenta sus posibilidades de acceder al mercado. Sin embargo, para mejorar las características visuales y culturales de regiones particulares, se debe abordar el impacto ambiental de los sistemas de riego. La reducción significativa en el uso de agua es un ejemplo de contribución ambiental y de mitigación de consecuencias negativas (Gómez et al., 2010).

La programación del riego es esencialmente el proceso de dar agua a los cultivos en el momento correcto y en la cantidad adecuada, y se considera una práctica de gestión óptima. Esta programación a menudo se decide a discreción del agricultor o siguiendo un calendario predefinido de eventos de riego basado en las necesidades de agua de temporadas anteriores (Zotarelli et al., 2019). Para determinar el programa de riego óptimo, se consideran varios elementos, incluidos los requisitos de evaporación de la planta, las propiedades del suelo y la distribución de las raíces. En Florida, se emplean una variedad de sistemas de programación de riego, cada uno con su propio nivel de control del agua. Combinando una técnica de necesidad de agua de cultivo que toma en consideración la etapa de crecimiento de la planta, una medición del estado hídrico del suelo y las pautas de división del riego son la forma sugerida para programar el riego (por goteo o por encima) para cultivos de hortalizas (Zotarelli et al., 2019). Se ha demostrado que la temperatura del agua de riego influye tanto en el crecimiento de las raíces como en el crecimiento y desarrollo de las hojas, especialmente en las primeras etapas del proceso, que es una de las etapas más críticas de todo el proceso (HANNA Instruments, s. f.).

Los sistemas de riego tienen un impacto beneficioso tanto en el ámbito social como económico, ya que proporcionan puestos de trabajo y la oportunidad para que las personas obtengan artículos de cultivos de alta calidad, lo que aumenta sus posibilidades de acceder al mercado. Sin embargo, para mejorar las características visuales y culturales de regiones particulares, se debe abordar el impacto ambiental de los sistemas de riego. La reducción significativa en el uso de agua es un ejemplo de contribución ambiental y de mitigación de consecuencias negativas (Gómez et al., 2010).

En Colombia, se han llevado a cabo investigaciones sobre este tema y se ha destacado que, debido a las lluvias constantes y su suelo volcánico fértil, es una nación con condiciones

favorables para la producción de una variedad de productos en sus diferentes regiones, desde los trópicos hasta los de climas templados. A fines de 2012, el Ministerio de Agricultura, dirigido por Juan Camilo Restrepo, anunció que invertirá más de \$ 180.000 millones en 100 distritos menores de riego en todo el país para ayudar a los ganaderos afectados por las severas sequías que tuvieron lugar este verano. (Contexto Ganadero, 2013). Numerosos países latinoamericanos se han dado cuenta de que la mejor oportunidad para la agricultura es administrar el suministro de agua para riego de manera equilibrada. Países como Perú, que han mejorado sus operaciones de producción, cosecha y procesamiento en los últimos años, atribuyen su éxito en gran parte al hecho de que ahora tienen una cobertura de riego en alrededor del 19 por ciento de su tierra fértil.

De acuerdo a lo anterior, se citan a continuación algunos estudios que incorporan la automatización del sistema de riego en diferentes tipos de cultivo y tienen resultados positivos en la producción de los mismos.

5.1.1 Sistema de riego automatizado con Arduino

(Guijarro *et al.*, 2018): En este artículo de investigación se establece que el mantenimiento de los jardines en la civilización moderna es difícil, ya que los jardines se secan debido a la falta de agua y se recomienda crear un sistema de riego autónomo que mida la humedad del suelo y el aire, ambos como parte del ecosistema del huerto, utilizando soluciones gratuitas de hardware y software. A esta solución se agregó un microcontrolador, que funciona como un centro de mando para garantizar el suministro y la dosificación del agua necesaria para mantener una planta hidratada. Como resultado, esta solución, que incorpora una aplicación móvil habilitada para Bluetooth, establece un canal de comunicación con el microcontrolador,

lo que reduce el trabajo de las personas al permitir la emisión y recepción de señales generadas por los sensores del sistema.

5.1.2 Sistema Inteligente para controlar sistemas de riego en México

(Rendón et al., 2017): México tiene el décimo mayor uso de agua en el mundo, debido principalmente al tamaño de su población (el undécimo país más poblado). Este artículo demuestra cómo el uso de inteligencia artificial para regular los sistemas de riego en las regiones agrícolas de México mejora su funcionamiento al gestionar la producción de agua mediante la manipulación de los regantes de acuerdo con las demandas de cada porción del campo. Los procedimientos utilizados en los sistemas de riego computarizados tienen un problema particular: no han sido modificados para el uso más eficiente de este líquido crucial, lo que genera desperdicio. En México, estos sectores se dividen en tres categorías: agrícola, privado y público. Actualmente no existe ningún software o procedimiento en México que sea comparable al sistema de riego inteligente Magros, que utiliza válvulas solenoides de sensores de visión para proporcionar una alternativa viable.

5.1.3 Temporal and spatial variability of soil moisture based on WSN (Variabilidad temporal y espacial de la humedad del suelo basada en WSN)

(Zhang et al., 2013): En este artículo, el sistema de monitoreo de humedad del suelo basado en WSN fue diseñado para ejecutar riego con ahorro de agua, y el mapa de distribución de humedad se generó integrando el WSN con software de análisis espacial. El sistema de monitoreo puede recopilar y enviar automáticamente datos de humedad del suelo a la plataforma de administración remota. Los nodos inalámbricos con sensores de humedad se colocaron en

lugares específicos, cuyas coordenadas geográficas se midieron con un receptor GPS, en dos áreas experimentales. Las mediciones de la humedad del suelo de los dos campos se obtuvieron después de 58 días de prueba. De acuerdo con los datos observados, el maíz estuvo en un estado de estrés hídrico severo durante todo el período de monitoreo, como lo muestra la curva de variabilidad temporal. El mapa de distribución espacial se construyó utilizando la interpolación de Kriging y las pruebas de distribución normal y el cálculo del variograma. Podría proporcionar la base para el riego variable.

Los investigadores están buscando respuestas a una serie de dificultades que han surgido en los últimos años, incluida la crisis mundial del agua, la sequía y la escasez de recursos de agua dulce, racionalizando el uso del agua en el sector agrícola, que es uno de los que más agua consume en el mundo. De acuerdo a la investigación *Application of wireless sensor networks in the field of irrigation: A review (Aplicación de redes de sensores inalámbricos en el campo del riego: una revisión)* (Hamami y Nassereddine, 2020): Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son una tecnología vital e interesante que ha experimentado un crecimiento sustancial en los últimos años y puede utilizarse en una variedad de aplicaciones; Las aplicaciones agrícolas son uno de los campos en los que WSN se usa ampliamente y se implementa de manera efectiva. El objetivo de esta investigación es analizar cómo se utilizan las redes de sensores inalámbricos en el riego. El uso de la tecnología WSN para regular y administrar los sistemas de riego es una excelente manera de asegurar un uso eficaz y racional del agua y así ayudar a aliviar la gravedad del problema mundial del agua.

5.1.4 An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies (Un sistema de gestión de riego inteligente basado en IoT que utiliza aprendizaje automático y tecnologías de código abierto.)

(Goap et al., 2018): Debido a la escasez de suministros de agua potable en todo el mundo, se requiere una utilización cuidadosa. Las soluciones de IoT, que se basan en la captura de datos y el procesamiento sofisticado de sensores específicos de la aplicación, están conectando los mundos físico y cibernético. En el entorno agrícola de precisión, las soluciones de gestión de riego inteligente basadas en IoT pueden ayudar a lograr una eficiencia óptima de los recursos hídricos. Este artículo describe un sistema inteligente basado en tecnología de código abierto para anticipar las necesidades de riego de un campo en función de la detección de parámetros del suelo, como la humedad del suelo, la temperatura del suelo y las variables ambientales, así como datos de predicción meteorológica de Internet. Para anticipar la humedad del suelo durante los próximos días, el método sugerido aprovecha los datos del sensor del pasado y los datos de predicción meteorológica. En términos de precisión y tasa de error, el valor proyectado para la humedad del suelo es superior. Además, un prototipo de sistema autónomo incorpora la técnica de predicción debido a que se basa en tecnología estándar abierta y por lo tanto el sistema prototipo es asequible. Es un sistema inteligente ya que se puede ajustar para varios escenarios de aplicación gracias a su modo automatizado.

5.1.5 Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept (Desarrollo de sistemas de riego inteligentes basados en datos de humedad del suelo en tiempo real en un invernadero: prueba de concepto)

(Liao *et al.*, 2021): En un experimento de cultivo de tomates en invernadero, se diseñó un sistema de riego por goteo autónomo con sensores de humedad inalámbricos, nodos de control inalámbricos y un controlador de riego central para realizar eventos de riego. A diferencia de las técnicas de decisión de riego anteriores, la profundidad de riego especificada se decidió en cada evento de riego utilizando la profundidad de riego dinámica calculada a partir de datos de humedad del suelo en tiempo real. Las propiedades espacio-temporales de las distribuciones de la humedad del suelo ayudaron a estimar con precisión el WUD del tomate, lo que permitió una regulación precisa y automatizada de la profundidad de riego efectiva para evitar fugas o escasez de agua. El sistema de riego propuesto permite el monitoreo y la gestión remotos a través de una red móvil, y la capacidad de intercambio de datos de la red brindó a los usuarios una manera fácil de manejar los eventos de riego (usando un teléfono inteligente). Se logró más rendimiento con menos insumos de agua de riego con este sistema de riego autónomo.

Finalmente, y de acuerdo con las investigaciones citadas anteriormente, es posible comprender la importancia de los sistemas de riego y tomar en cuenta la introducción de diversas tecnologías para la distribución del agua que se pueden encontrar en los distritos de riego, así como en la búsqueda de mejoras para tierras Potencialmente fértiles. Optimizando estos recursos, se asegura el bienestar y desarrollo de la comunidad para obtener una producción continua de cultivos de alta calidad, generando una justa ventaja competitiva.

5.1.6 Intelligent agricultural irrigation prescription system based on sensor networks and crop modeling (Sistema inteligente de prescripción de riego agrícola basado en redes de sensores y modelado de cultivos)

(Jiménez, Velásquez y Puente. 2023) La gestión inteligente del agua en la agricultura mediante el uso de tecnologías emergentes es la clave para aumentar el rendimiento de los cultivos, reducir los costos de producción y contribuir a la sostenibilidad ambiental. El propósito de este trabajo de investigación es implementar un sistema inteligente de prescripción de riego agrícola. Se han establecido nodos que recopilan y transmiten de forma inalámbrica datos sobre los potenciales de la matriz del suelo hasta cuatro profundidades, la temperatura del dosel, la temperatura ambiente y la humedad relativa. El sistema de inferencia se implementa en una estación central que recibe datos del campo, donde se determinan las normas de riego. La validación de los resultados se realizó utilizando el software de modelado de cultivos AquaCrop. El sistema ha sido desarrollado para determinar la cantidad diaria de agua requerida según el tipo de suelo y el estado fenomenológico del cultivo, con el fin de evitar su sobreexplotación y escasez.

5.1.7 Development of a system for intelligent irrigation for the automation of water use.

(Desarrollo de un sistema para el riego inteligente para la automatización del uso del agua).

(Aranibal, Acuña y Velarde. 2023). Se ha desarrollado un sistema de riego inteligente basado en Internet de las cosas (IoT), realizando la conexión entre sensores, actuadores y software. Además, se trabajó con 3 áreas de investigación de la siguiente manera: "Agronomía", una tecnología avanzada basada en la característica del rábano carmesí, en la que la humedad del suelo se libera del 60% al 65%; "Electrónica informática", donde se investigó sobre microcontroladores, sensores, actuadores y comunicación inalámbrica, para lo cual se elaboró un

conjunto de herramientas que permiten controlar la humedad, activar/desactivar actuadores (bomba, electroválvula) y transmitir datos de forma inalámbrica. Por último el "Software", gracias a un sistema extensible que permite la gestión del cultivo, la configuración y el control de la humedad, monitoreo en tiempo real.

6. MARCO REFERENCIAL

Para el control del riego en los terrenos de cultivo del centro poblado de Santa Clara (Guijarro et al., 2018) diseñó un sistema de automatización con Arduino en el distrito de Pítipo. para lo cual se empleó un tipo de investigación descriptivo y propositivo, con diseño no experimental, tomando como muestra 40 personas de una población de 437 habitantes, se usó como técnica la encuesta dicho instrumento fue validado por juicio de expertos.

Los resultados obtenidos determinaron que el riego por inundación o superficial es más utilizado en el área de estudio generando el mal uso del recurso hídrico, concluyendo que la tecnología Arduino es muy eficiente para los sistemas automatizados. Su diseño estuvo compuesto por sensores de humedad, sensor de lluvia, sensor de temperatura, válvulas solenoides, Display LCD 16x2, protoboard, potenciómetro, módulo Relay y como microcontrolador Arduino UNO lo cual se usó el protocolo I2C para la comunicación entre microcontroladores. Según Astuillo, (2022) presenta un proyecto que tiene como objetivo diseñar un sistema automático de riego presurizado por goteo de agua y principales oligoelementos esenciales para el desarrollo propicio de árboles frutales de acuerdo con sus características y condiciones ambientales. El sistema permite la innovación del riego tradicional o común mediante el uso de electroválvulas, electrobombas, sistemas de tuberías de alta tecnología, controlador lógico programable y de softwares de ingeniería tales como LabVIEW, Inventor, Eagle y ANSYS.

En Colombia, la cebolla de bulbo es uno de los productos agrícolas más importantes; las condiciones productivas del distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá) son un referente regional y nacional para dicho mercado. El objetivo de esta investigación fue la evaluación de

cuatro láminas de riego en términos de producción y eficiencia del agua de riego sobre la producción y eficiencia del agua para riego en el cultivo de cebolla de bulbo. El ensayo se ubicó en el municipio de Nobsa, vereda Dichó (Boyacá). Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos; T1: lámina de riego al 150% de la Evapotranspiración (Evt); T2: Lámina de riego basada en humedad detectada por sensores de humedad del suelo; T3: lámina de riego al 100% de la Evt, T4: lámina de riego al 60% de la Evt y cuatro repeticiones. A partir de la tercera semana del trasplante, se inició el seguimiento por 11 semanas (77 días), se evaluó el diámetro polar (cm), diámetro ecuatorial (cm), longitud de raíz (cm), longitud de hojas (cm), unidades SPAD, conductancia estomática y eficiencia en el uso del agua de riego. La aplicación de la lámina de riego supliendo el 100% de la Evt mostró el mejor rendimiento en términos de diámetro tanto polar como ecuatorial, longitud de raíz y de hoja, los cuales se vieron reflejados en el peso fresco a cosecha. Las aplicaciones de láminas de agua basados en valores de humedad de suelo obtenidos a partir de sensores remotos, con menores cantidades de agua aplicada presenta mejores valores de transformación de agua en masa fresca con $13,64 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Por otro lado, un trabajo de investigación que consistía en el diseño e implementación de un sistema de riego automatizado, realizado en Bogotá, en el barrio villa Claudia, donde se construyó in invernadero con un área total de 16 m^2 para la siembra de tomate cherry, con un total de 5 camas de 4m de largo por 1m de ancho con una distancia entre calles de 50 cm y una distancia entre plantas de 60 x 30 cm, con riego por goteo; se utiliza un tanque de 500 LT donde se recoge el agua lluvia suministrada por una canaleta adecuada para el invernadero, este tanque cuenta con una salida inferior de 1" que se conecta con un reductor a 1/2" siendo adaptada a una manguera de riego de 16mm. A 20 Cm se instala la electroválvula entrada/salida, siendo conectada al sistema para iniciar el riego por goteo. Se cuenta con 5 surcos para realizar la

siembra y se realiza la instalación de la manguera abarcando dos líneas de riego por surco separadas a 30 cm, las mangueras de riego cuentan con una separación de 40 cm entre goteos, al final de cada de línea se encuentran cerradas para evitar el escape del agua. El sistema diseñado garantiza que al activar la electroválvula e iniciar el goteo el agua llegue a cada una de las plantas sembradas. Se utilizó el sensor DTH11 porque puede medir la temperatura y la humedad del ambiente, y el sensor FC -28 se eligió porque es más fácil de acceder y facilitar la lectura analógica/digital con el microcontrolador Arduino. El microcontrolador Arduino UNO se seleccionó para la implementación del invernadero porque cumple con todas las necesidades y características necesarias para controlar, recibir y transmitir datos de las variables ambientales censadas dentro del invernadero. Debido a que el sistema será entregado a la comunidad con su correspondiente manual de uso y posibles fallas, no se requiere una gran capacidad de tratamiento de datos adicionales. (Cortes & Vargas, 2020).

Ahora bien, en una comunidad ubicada en la Dorada, Caldas se realizó un proyecto, donde se llevó a cabo el diseño de un sistema de riego inteligente que fue aplicado a procesos agrícolas donde se integraron variables que fueron analizadas de forma computacional, las cuales provenían de sensores de luz, humedad, temperatura y condición del suelo, donde la recolección de datos se realizó a través de una red de sensores inalámbricos. Dando como resultado que sea apto para implementarse a nivel mundial siendo tecnología de alto impacto, estimando necesidades hídricas de cada cultivo, producción y calidad (Alzate, 2020).

Actualmente la mayoría de sistemas de riego automáticos para producción agrícola a gran escala no son adecuados a la realidad social del país. Costos elevados, y uso complicado para usuarios sin experiencia técnica son barreras que previenen su implementación. Por ejemplo, en entrevistas a socios de una cooperativa de agricultores, se evidenció el fracaso de un proyecto de

riego automático que se dejó fuera de uso por la complejidad para operarlo. También mencionaron que se deben monitorear varios parámetros para maximizar la producción: Humedad del suelo para evitar hongos que dañen la raíz, Cantidad de sol que debe recibir la planta, Control de plagas, Altura donde se encuentra la plantación (Argueta et al., 2022).

7. MARCO TEÓRICO

La automatización del sistema de riego en diferentes tipos de cultivo y tienen resultados positivos en la producción de los mismos. Según Guijarro Rodríguez y otros, en 2018 buscaban establecer que el mantenimiento de los jardines en la civilización moderna es difícil, ya que los jardines se secan debido a la falta de agua y se recomienda crear un sistema de riego autónomo que mida la humedad del suelo y el aire, ambas partes del ecosistema del huerto, utilizando soluciones gratuitas de hardware y software. A esta solución se le agregó un microcontrolador, que sirve como centro de comando para asegurar el suministro y la dosificación del agua necesaria para mantener una planta hidratada. Como resultado, esta solución incorpora una aplicación móvil habilitada para Bluetooth que establece un canal de comunicación con el microcontrolador, permitiendo la emisión y recepción de señales creadas por los sensores del sistema al tiempo que reduce el trabajo de las personas.

La agricultura ha tenido en cuenta constantemente varios nuevos desafíos y ha convertido estos desafíos en oportunidades. El desarrollo de la agricultura durante milenios ha seguido generando preocupaciones apremiantes sobre la tierra, el agua, la energía y la mano de obra. Sin embargo, existe un sistema relativamente económico que un equipo de investigación de la Universidad de Tuskegee propone para la gestión del riego. Este sistema llamado solución de gestión de riego de cultivos es una innovación de riego agrícola que pretende ofrecer nuevas tecnologías para cualquier granja/agricultura (Redagricola, 2019). En el sistema de riego agrícola inteligente: Un buen panel de pantalla táctil podría facilitar a los agricultores el análisis de sus cultivos y mejorar su desarrollo para aumentar las ganancias agrícolas; los sensores que pueden

medir la humedad del piso y presentar información de alta calidad en pantalla; Tecnología de riego bajo demanda que funciona según la necesidad de las plantas.

Durante el siglo pasado, los "sistemas agrícolas del mundo" se han ido automatizando cada vez más. El sistema de riego es uno de los aspectos más importantes en la automatización de una granja, ya que permite el transporte eficiente de agua a las áreas críticas donde residen los cultivos con alta precisión (Maher, 2021) explorando técnicas como la modernización y la detección que pueden contribuir a mejorar el rendimiento de los cultivos a través de un sistema de riego adecuado.

Hay agricultores que simpatizan con la modernización de sus sistemas de riego, mientras que otros sienten que no es necesario porque lo usan solo aproximadamente el 85% del tiempo ya que de otro modo estarían ocupados en la recolección manual de los cultivos. En comparación con otras técnicas agrícolas modernas, como la cosecha mecánica, no hay muchos datos sobre los efectos del lavado de cultivos, pero la tecnología de sensores se está desarrollando y se está abaratando cada año, por lo que podrán ayudar a medir la cantidad de manera uniforme y precisa en un futuro próximo (ONU, 2022).

Durante los últimos 20 años, la producción de papa en los países industrializados, particularmente en Europa y la Comunidad de Estados Independientes, ha disminuido en un promedio del 1% cada año. La producción en los países emergentes, por otro lado, se ha expandido a un ritmo de 5% cada año en promedio (Bárcena y Vereinte, 2002).

Este aumento ha sido liderado por los países asiáticos, principalmente China e India. En 2005, las naciones emergentes representaron el 52% de la producción mundial de papa, superando al mundo desarrollado. Este es un gran logro, considerando que las naciones

emergentes solo aportaron alrededor del 20% del total hace 20 años. Sin embargo, la producción y el consumo mundial de papa están creciendo a un ritmo más lento que la población (FAO, 2019).

La papa es una de las cuatro comidas fundamentales de la humanidad, y los colombianos no son la excepción; El consumo per cápita aparente anual de papa en Colombia es de alrededor de 60 kilogramos, lo que confirma la relevancia del tubérculo en la canasta familiar, en particular de aquellos de menores recursos económicos. En climas fríos, el cultivo de papa es la actividad agrícola más común, y la mayoría de los pequeños agricultores tienen acceso limitado a factores de producción, servicios públicos, educación, salud, asistencia técnica agrícola y proyectos de infraestructura (Velandia y Cuervo, 2014). La Papa Criolla es también conocida como *solanum phureja*, y pertenece a la clase *Magnoliophyta*, orden *Solanales*, familia *Solanaceae* y género *Solanum*. Su adaptación va desde los 2600 a los 2800 metros sobre el nivel del mar, lo que equivale a un rango de temperatura promedio de 10o a 20o centígrados. También requiere una precipitación media de 900 mm al año, pero el cultivo crece bien con precipitaciones más altas (Cabezas y Corchuelo, 2011).

La temperatura es el factor limitante más importante en el cultivo de la papa, ya que temperaturas inferiores a 10 °C y superiores a 30 °C tienen efectos irreversibles en el desarrollo del cultivo, mientras que la temperatura óptima para mejorar el rendimiento está entre 17 y 23 °C. La papa es una planta termoperiódica, lo que significa que requiere cambios de temperatura durante el día y la noche. La diferencia de temperatura en el aire debe estar entre 10 y 25 °C. Se recomiendan temperaturas de 10 a 16 °C por la noche y de 16 a 22 °C durante el día para el crecimiento de los tubérculos. El crecimiento y la tuberización de la papa se ven afectados

cuando la fluctuación de estas temperaturas es inferior a los valores indicados anteriormente (INTAGRI, 2017).

Tabla 1.

Requerimientos de temperatura en el cultivo de papa (Solanum phureja) de acuerdo a su etapa de desarrollo.

ETAPA	TEMPERATURA
En el ambiente	
Dos semanas después de la siembra	13°C
Desarrollo foliar	12 a 14°C
Elongación de tallo y floración	18 °C
Formación de tubérculos	16 a 20°C
En el suelo	
Emergencia y crecimiento foliar	21 a 24°C
Formación de tubérculos	15 a 24°C

Nota. Extraído de (Rubio, 2000)

El requerimiento óptimo de oferta hídrica durante todo el desarrollo vegetativo y proceso productivo de la papa criolla es, en promedio, entre 600 y 800 mm (Díaz 2016; Doorembos et al., 1986 citado por Díaz, 2016). Esto está determinado principalmente por la temperatura promedio del ciclo, la capacidad de retención de humedad del suelo y la variedad plantada. Las consecuencias de la escasez de agua en los cultivos están determinadas por la especie, la etapa de desarrollo de la planta, la duración del estrés y la intensidad del estrés; se cree que el último componente tiene un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos (López y Molano, 2020).

En suelos con pH ácido, la papa criolla prospera bien (5,0 a 5,9). Las texturas que van desde franco a franco arcilloso son apropiadas porque tienen un drenaje adecuado, lo que protege a los tubérculos de infecciones y daños por humedad. Se cultiva en una amplia variedad de suelos con distintos niveles de materia orgánica; sin embargo, en suelos particularmente orgánicos, puede ocurrir un leve oscurecimiento de la piel, característica postcosecha que se utiliza en el mercado para distinguir las papas de "primera". Los tubérculos de papa criolla tienen una piel delgada y brillante en suelos bajos en materia orgánica, lo que mejora su calidad de lavado y, en consecuencia, su precio (López y Molano, 2020).

Muchas colecciones de papas nativas aún están protegidas en los países latinoamericanos a través de la multiplicación vegetativa, que se realiza al menos una vez al año en el campo o en invernaderos. Los tubérculos generalmente se conservan en una cámara fría hasta que se vuelvan a plantar. La creciente pérdida de accesiones en las colecciones de campo es una preocupación frecuente en la mayoría de los países donde aún se mantienen colecciones de papa. Para disminuir los gastos de cuidado, las accesiones recolectadas se plantan en parcelas extremadamente pequeñas con relativamente pocas plantas por accesión, lo que resulta en pérdidas genéticas ex situ. Además, se producen numerosas pérdidas como consecuencia del estrés ambiental, como heladas, granizadas o inundaciones (CIP, 2015).

La acumulación de infección viral a través de la contaminación cruzada y la diseminación del virus dentro de las colecciones clonales es otro componente de la degradación genética. Es más probable que ocurran confusiones entre las entradas de la colección a medida que la colección crece. Cuando la colección se planta en un campo sin un sistema efectivo de rotación de cultivos, estas combinaciones son comunes. Las plantas que brotan de los tubérculos que se han dejado en el campo después de la cosecha son una valiosa fuente de mezclas. Las entradas de

colección mal etiquetadas son otra fuente de confusión. Esto es especialmente problemático cuando las etiquetas están escritas a mano y surgen errores no deseados al ingresar los números de identificación del boleto (CIP, 2015).

Fenología del cultivo de papa.

El cultivo de papa consta de varias etapas, que se pueden dividir en desarrollo vegetativo, crecimiento de órganos vegetativos cultivables y crecimiento del cultivo de papa se producen tanto la reproducción como la senescencia. (Valbuena, 2000). *Solanum phureja* produce plántulas que emergen después de aproximadamente 15 días. Después de 30 días, el desarrollo de raíces y estolones es progresivo (Bello y Pinzón, 1997). El botón floral y la antesis inicial aparecen entre los días 36 y 65 con una media de 44 días. En este momento, se observa la emisión de los tubérculos que se originan en la región final del estolón, que se vuelve dos veces más grande que el resto del estolón. A partir de este momento, comienza a crecer hasta alcanzar su tamaño máximo.

La fructificación entre los 66 y 90 días después de la siembra, cuando comienza la formación del fruto y termina cuando se termina la emisión de nuevas hojas (cierre de calle) y comienza la senescencia de la planta.

Entre los 91-120 días se produce la maduración y la senescencia, en esta fase se detiene el crecimiento de las hojas, la tasa de fotosíntesis disminuye lentamente y se produce la pérdida de hojas; También el lento crecimiento de los tubérculos, la consecución de su madurez, la máxima acumulación de materia seca, al principio, la piel de los tubérculos se desprende fácilmente; Cuando termina la fase, como indicación de madurez, la piel no se despega fácilmente con el pulgar (Meier, 2001).

Se ha reportado que las fases fenológicas que presenta la papa en su fase aérea se pueden correlacionar con el desarrollo del tubérculo, representando varias fases de interés; diferenciación y formación de tubérculos; crecimiento acelerado del tubérculo, llenado final y maduración del tubérculo (Alvarado, 1986; Meier, 2001)

Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo papa

La temperatura óptima de la hoja para la fotosíntesis en la planta de patata está entre 18 y 24 °C. Las bajas temperaturas de 2 °C y la congelación pueden causar daños en los tejidos, disminuir la tasa de fotosíntesis, afectar el crecimiento de las plantas, el contenido relativo de agua y los procesos de translocación y asimilación de carbono (Corchuelo, 2005). Ñustez et al. (2011) indican que el rango óptimo de temperatura para la papa está entre 10 y 15 °C, con precipitaciones anuales entre 500 y 1500 mm. Las características fisicoquímicas de los suelos óptimos para el cultivo de la papa son texturas franco-arenosas a franco-arenosas, aireadas, fértiles, alto contenido de materia orgánica y pH entre 5,0 y 6,2; La planta de papa es tolerante a la sal (Gómez, 2012).

Necesidades hídricas de la papa

Según Haverkort et al. (1990), las plantas de papa requieren entre 600 y 800 mm de agua por ciclo de cultivo, dependiendo de las condiciones microclimáticas que se presenten en cada zona de planta y la duración de la fase vegetativa; Asimismo, Jerez y Simpfendorfer (2000) reportaron cantidades variables de agua de 600 a 700 mm como requerimientos de agua para papa; También demostraron que las plantas no aprovechan la lluvia que cae menos de 10 mm, ya que permanece en el dosel de las hojas y provoca la evaporación. Doorembos y Kassan (1986)

afirmaron que para obtener rendimientos óptimos en cultivares de papa que tienen un ciclo de crecimiento promedio de 135 días, el requerimiento de agua está entre 500 y 700 milímetros.

El nivel de tensión de humedad en el suelo en el que las papas comienzan a sentir los efectos de la deficiencia de agua es de -0,47 bar, y el nivel de tensión crítico para rendimientos óptimos y tubérculos de calidad es de alrededor de -0,7 bar, aunque -0,9 bar también se considera extremo. niveles En términos de productividad hídrica, el cultivo de papa utiliza de 0,35 a 0,8 m³ de agua para producir 1 kg de biomasa seca de tubérculo en campo (Sood y Singh, 2003); En términos de masa seca de tubérculos, la productividad del agua varía de 1,3 a 2,8 kg m⁻³, y para el rendimiento de tubérculos frescos con un contenido de humedad del 75%, de 4 a 11 kg m⁻³; El ahorro de agua se puede lograr principalmente a través de una sincronización y profundidad de riego más precisas. En promedio, se ha estimado que la reducción en el rendimiento de las plantas con estrés hídrico por milímetro de agua es de 117 kg/ha (Vos y Groenwold, 1988).

En el campo, los cultivos de papa pueden tolerar períodos de sequía de hasta treinta días dependiendo del cultivar, sin embargo, en condiciones de invernadero protegido, las altas temperaturas promueven la pérdida acelerada de agua por evaporación del sustrato, lo que provoca un estrés hídrico severo. en el volumen de tubérculos (Gabriel et al., 2011).

7.1 Marco Conceptual

RIEGO: El riego es la aplicación de agua al suelo para mantener el grado de humedad que requiere el cultivo cuando las lluvias son insuficientes. El suelo absorbe el agua que recibe y proporciona un aporte de agua a las plantas hasta que llueve o se vuelve a regar (Ocampo, 2019).

SISTEMA DE RIEGO: El sistema de riego se define como la capacidad que existe a través de los emisores para satisfacer las demandas de agua de las plantas al tiempo que se reducen los desechos y las consecuencias ambientales. Se implementa utilizando variables agroclimáticas, herramientas, tecnología y materiales mientras se minimizan los residuos y los problemas ambientales. Su uso está determinado por los cultivos a regar, y la eficiencia con la que se aplica el agua define la posible superficie sin producir un déficit hídrico en el cultivo (Ocampo, 2019).

La programación del riego es esencialmente el proceso de dar agua a los cultivos en el momento correcto y en la cantidad adecuada, y se considera una práctica de gestión óptima. Esta programación a menudo se decide a discreción del agricultor o siguiendo un calendario predefinido de eventos de riego basado en las necesidades de agua de temporadas anteriores. Para determinar el programa de riego óptimo, se consideran varios elementos, incluidos los requisitos de evaporación de la planta, las propiedades del suelo y la distribución de las raíces.

Según (Zotarelli *et al.*, 2019) en Florida, se emplean una variedad de sistemas de programación de riego, cada uno con su propio nivel de control del agua. Combinando una técnica de necesidad de agua de cultivo que toma en consideración la etapa de crecimiento de la planta, una medición del estado hídrico del suelo y las pautas de división del riego son la forma sugerida para programar el riego (por goteo o por encima) para cultivos de hortalizas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto busca generar un uso eficiente del recurso hídrico en cada una de las etapas de crecimiento del cultivo buscando así un uso adecuado del mismo. Por otra parte la humedad en el suelo hace referencia a la cantidad de agua que se

almacena en la tierra, determinada como una cantidad de agua por cierto volumen de tierra; es una variable importante en el comportamiento de un terreno, pues se ve afectada por factores diversos, como la temperatura, las precipitaciones y las propias características del suelo.

RIEGO POR ASPERSIÓN: El agua se dispersa en el aire mediante aspersores situados en la tubería que transmite agua a presión en este sistema, imitando la lluvia, permitiendo que el agua caiga al suelo y sea absorbida por la planta o cultivos (Ocampo, 2019).

RIEGO POR GOTEO: El riego por goteo localizado es uno de los métodos de riego más utilizados debido a su eficiencia y ahorro de agua. El agua se distribuye a las plantas a través de emisores ubicados cerca de las raíces de las plantas. Desde el punto de vista agronómico, se considera riegos localizados porque humedecen una parte del volumen del suelo, lo que es suficiente para un buen desarrollo del cultivo. Ver **Ilustración 1**(Liotta et al., 2015).

Ilustración 1 Esquema de sistema de riego por goteo



Fuente. Villegas & Sepúlveda Casadiego, 2019

Se utiliza un sistema de fertirrigación, que se encarga de transferir nutrientes a través del riego por goteo, para dar nutrientes al cultivo en las distintas etapas de crecimiento. Un inyector de fertilizante tipo Venturi, un componente en forma de T con un estrechamiento que acelera la velocidad del agua, provoca una depresión que succiona la solución de fertilizante, inyectándola en la tubería, se utiliza para ejecutar la dosis de fertilizante.

AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO POR GOTEO: El sistema de riego se automatiza mediante un prototipo inteligente con algoritmos de control que le permiten entregar automáticamente las cantidades de agua y fertilizante que demanda la planta. Los sensores del controlador le permiten monitorear una variedad de factores que afectan las plantas, incluida la temperatura del aire y el porcentaje de HR, la temperatura del suelo, VWC, CE y la tensión del suelo (Villegas & Sepúlveda Casadiego, 2019).

SENSORES: Son dispositivos que recolectan y procesan datos del suelo cercano a la raíz de la planta (VWC, EC, pH, temperatura) y del ambiente (temperatura y humedad relativa del aire), datos que luego se utilizan para llevar a cabo las acciones oportunas de control. cada uno de los parámetros que inciden en el desarrollo del cultivo (Villegas & Sepúlveda Casadiego, 2019).

HUMEDAD DEL SUELO: Por lo que representa una de las principales variables a tener en cuenta dentro de un cultivo, ya que de la humedad del suelo afecta directamente la salud de las plantas y el rendimiento de producción de las mismas. Su medida se da en porcentaje (%) y se mide mediante diferentes dispositivos, cuyas técnicas de funcionamiento más comunes son: gravimétricas, tensiométricas, disipación de calor y técnicas dieléctricas, todas por medición indirecta (Universidad en el Campo, 2011).

Finalmente, y de acuerdo a los conceptos citados anteriormente, es posible comprender la importancia de los sistemas de riego y tomar en cuenta la introducción de diversas tecnologías para la distribución del agua que se pueden encontrar en los distritos de riego, así como en la búsqueda de mejoras para tierras potencialmente fértiles. Optimizando estos recursos, se asegura el bienestar y desarrollo de la comunidad para obtener una producción continua de cultivos de alta calidad, generando una justa ventaja competitiva (Alocén, 2007).

La programación del riego ha utilizado detección del estado energético del agua en el suelo, estimaciones de la demanda húmeda, evaluaciones del potencial hídrico de las plantas y termometría infrarroja para determinar la temperatura del dosel. Otros enfoques de programación de riego utilizan detección directa del crecimiento de ciertos órganos de la planta mediante el uso de diferentes tipos de dendrómetros, así como sensores de flujo de savia (basados en el enfoque de pulso de calor) para medir el tiempo y la intensidad con los que se limita la transpiración del cultivo. (López López et al., 2009).

La termografía infrarroja, que utiliza imágenes infrarrojas de una cámara térmica para monitorear la temperatura del dosel, es otra forma de estimar las demandas de agua de un cultivo. Se ha demostrado que este método no destructivo es una indicación fiable del estado hídrico de la planta y un indicador fiable del estrés hídrico. El CWSI es una función del diferencial de temperatura del aire del dosel y el déficit de presión de vapor (VPD), y es un predictor útil del estado del agua de la planta ya que la temperatura de la hoja es extremadamente representativa de la fluctuación de la conductancia estomática. También tiene una asociación sustancial con el potencial hídrico de la xilema y es un diagnóstico prometedor de la disponibilidad de agua en la zona de la raíz. El CWSI se puede usar para monitorear el estado del

agua, anticipar los rendimientos y estimar la evapotranspiración de los cultivos (Quezada et al., 2020).

ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO DEL CULTIVO (CWSI): Al monitorear la temperatura de la planta y el déficit de presión de vapor de agua, el enfoque del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) determina cuánta transpiración ocurre en una planta durante el tiempo de medición. Esta técnica científica es necesaria para la correcta programación del riego en cultivos agrícolas de campo abierto. Las mediciones del estrés hídrico de los cultivos junto con sistemas de riego eficientes permiten la máxima producción a través del control del riego (Garrot Jr et al., 1990).

Debido a que el equipo necesario es simple de operar, el CWSI ha sido ampliamente utilizado en la programación de riego en países áridos y semiáridos. Debido a que el costo económico y ecológico del agua en la agricultura de regadío es significativo, especialmente dada la creciente incertidumbre en su suministro debido al cambio climático, el gasto en tecnología para evaluar los factores climáticos y el estrés hídrico puede estar justificado (Garrot Jr et al., 1990); (Feldhake et al., 1997).

El índice de estrés hídrico del cultivo según (Idso et al., 1981) y (Jackson et al., 1981) está definido como:

Ilustración 2 Fórmula índice de estrés hídrico

$$CWSI = \frac{[(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{li}]}{[(T_c - T_a)_{ls} - (T_c - T_a)_{li}]}$$

Fuente: (Idso et al., 1981) y (Jackson et al., 1981)

donde, T_c = temperatura de cultivo; T_a = temperatura del aire. El subíndice m denota la diferencia medida entre las dos temperaturas, el subíndice li (límite inferior) denota la diferencia entre las dos temperaturas cuando la evapotranspiración no está restringida por la disponibilidad de agua, por lo que T_e es el valor más bajo para las condiciones de campo. clima, y el subíndice ls (límite superior) denota la hipotética diferencia entre ambas temperaturas cuando la evapotranspiración es nula, como consecuencia de la falta de disponibilidad de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera (López López et al., 2009).

Cuando las plantas pasan de un estado bien regado a un estado totalmente estresado, se prevé que el CWSI fluctúe entre 0 y 1. Debido a que generalmente no es posible evaluar la temperatura de un cultivo estresado y no estresado al mismo tiempo, el balance de energía superficial se puede utilizar para determinar los límites inferior y superior de un dosel (López López et al., 2009).

PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE: Uno de los indicadores más importantes del estado de los cultivos es el punto de marchitez. Las plantas pueden recuperarse o morir si se supera el punto de marchitez permanente. Ambos casos son graves, pero es crucial evitar la marcha permanente. (Cherlinka. 2022)

Se considera punto de marchitez a la humedad del suelo que los cultivos pueden absorber antes de marchitarse. Este punto de marchitez se alcanza cuando la humedad disponible en el suelo es inferior a la que la planta necesita para subsistir. En función de la situación, la deficiencia puede ser un punto de marchitez temporal o permanente. (Cherlinka. 2022)

CAPACIDAD DE CAMPO (CC) EN PESO: Es la cantidad de agua en el suelo después de que se saturó y drenó libremente durante 24 a 72 horas (el suelo más pesado demora en llegar a CC). Todos los poros de un suelo saturado están llenos de agua. En un suelo a CC, los macroporos están llenos de aire y han perdido el agua, mientras que los microporos están llenos de agua, que es retenido por la fuerza de la gravedad. Este es el límite máximo de agua que las plantas pueden usar y representa el nivel más alto de comodidad hídrica para los cultivos. (Cherlinka. 2022)

SATURACIÓN: Ese suelo tiene la mayor cantidad de humedad posible. En condiciones de saturación, la mayoría de los cultivos no pueden sobrevivir más de entre dos y cinco días, excepto el arroz. Una vez que haya terminado la lluvia o el riego, una parte del agua presente en los poros se moverá hacia abajo por gravedad. El drenaje o percolación es un proceso que generalmente dura pocas horas en los suelos arenosos y dos o tres días en los arcillosos. (Carrazón. 2007)

7.2 Marco legal

A continuación, se presenta la normatividad vigente como sustento del presente proyecto, el cual garantiza variables y parámetros asociados a permisos, manuales y registros. De esta manera se establece el decreto 1076 de 2015 el cual describe el permiso de Captación o Concesión de Aguas, sumado a la Resolución 0631 de 2015 la cual Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Por otro lado, se establece el manual de normas técnicas para sistemas de riego y drenaje a nivel predial descrito en la Resolución 0132 de 2021 el cual enfatizar promover el acceso progresivo de los trabajadores agrarios a la propiedad de la tierra y a los servicios de educación, salud , vivienda, seguridad social, recreación, crédito, comunicaciones, comercialización de productos, asistencia técnica y empresarial para mejorar los ingresos y la calidad de vida de los campesinos.

En razón a la reglamentación de la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales lo sustenta el Decreto 2667 de 2012. Aunado, al decreto 1323 de 2007, por el cual se crea el registro de usuarios del recurso hídrico y se dictan otras disposiciones.

8. METODOLOGÍA

8.1 Tipo de investigación

La investigación actual es de tipo descriptivo mixto, ya que destaca las características del objeto de estudio y emplea criterios sistemáticos para establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos de estudio, lo que proporciona información sistemática y comparable con la de otras fuentes.” (Sabino, 1992 citado en Martínez, 2018).

8.2 Población

Esta investigación se realizó en un lote de la finca el porvenir de la vereda Santa Ana del municipio de Monguí, donde se preparó el terreno para el cultivo de Papa criolla (*Solanum phureja*) y realizar la presente investigación.

8.3 Muestra

Esta investigación se basa en determinar las necesidades de agua requeridas y se lleva a cabo en un área de 4x 4 m del cultivo de papa criolla en la vereda Santa Ana del municipio de Monguí, además se evalúa la calidad de los tubérculos en cuanto a rendimientos de producción del cultivo.

8.4 Variables

- Factores ambientales como las temporadas de lluvia y temporadas de sequía que se deben considerar para el riego óptimo de los cultivos de papa.

- Necesidades de agua que aseguran la calidad de la producción de *Solanum phureja*, según las establecidas en el marco teórico del documento como estrés hídrico, lámina de agua y punto de marchites de la planta.
- Requerimientos del terreno como humedad del suelo, capacidad de campo en peso, saturación del suelo, punto de encharcamiento y las necesidades de los habitantes de la vereda Santa Ana.

8.5 Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó el programa MATLAB, versión R2022a, el cual es una plataforma de programación diseñada específicamente para ingeniería, con el fin de analizar y diseñar sistemas y productos para un fin en específico. En este sentido el diseño propuesto se dio la validación en el terreno (insitu) y en área de investigación propuesta para tal fin descrita en la población anteriormente mencionada.

8.5 Desarrollo del sistema de control y automatización

En primer lugar, se seleccionaron los diferentes componentes del sistema, sensores, unidades de control, módulos de potencia y comunicación, teniendo en cuenta criterios técnicos investigativos.

Diseño de planos del sistema de riego automatizado.

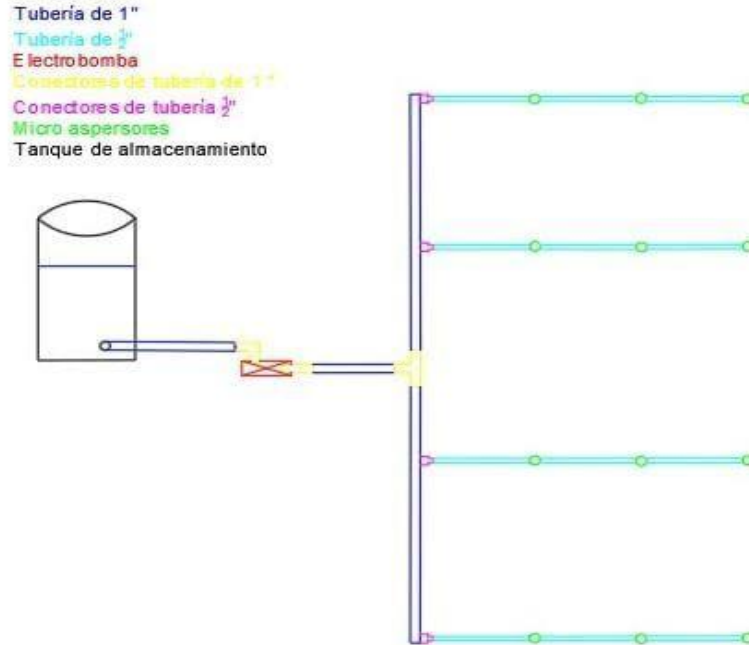
El sistema está conformado por tuberías de 1 pulgada, de ½ pulgada, una electrobomba, conectores de tubería de 1 pulgada. Conectores de tubería de ½ pulgada, micro aspersores y un tanque de almacenamiento.

En la ilustración 3 se observa un área de cultivo con varios elementos que componen un sistema de riego automatizado. En el terreno se encuentran instaladas varias tuberías que se ramifican y se distribuyen de manera estratégica por toda el área del cultivo. Estas tuberías están conectadas a una fuente de agua principal que sería el tanque de almacenamiento.

A lo largo de las tuberías están instalados los micro aspersores, estos están instalados de manera estratégica para cubrir toda el área del cultivo uniformemente. Cada micro aspersor está equipado con boquillas, lo cual hace que el agua salga en forma de rocío y no haya daño mecánico en las plantas y de esta manera cumpla con las necesidades específicas del riego.

Ilustración 3

Diseño y distribución de sistema de riego.



Nota. Fuente: Autor

Esquema de módulo de arduino

En este sistema de riego se utilizaron diferentes elementos electrónicos entre los cuales está el relé, el cual es un interruptor eléctrico que permite el paso de la corriente eléctrica cuando está cerrado e interrumpirla cuando está abierto, el cual es accionado eléctricamente y no de manera manual (SEAS, 2019).

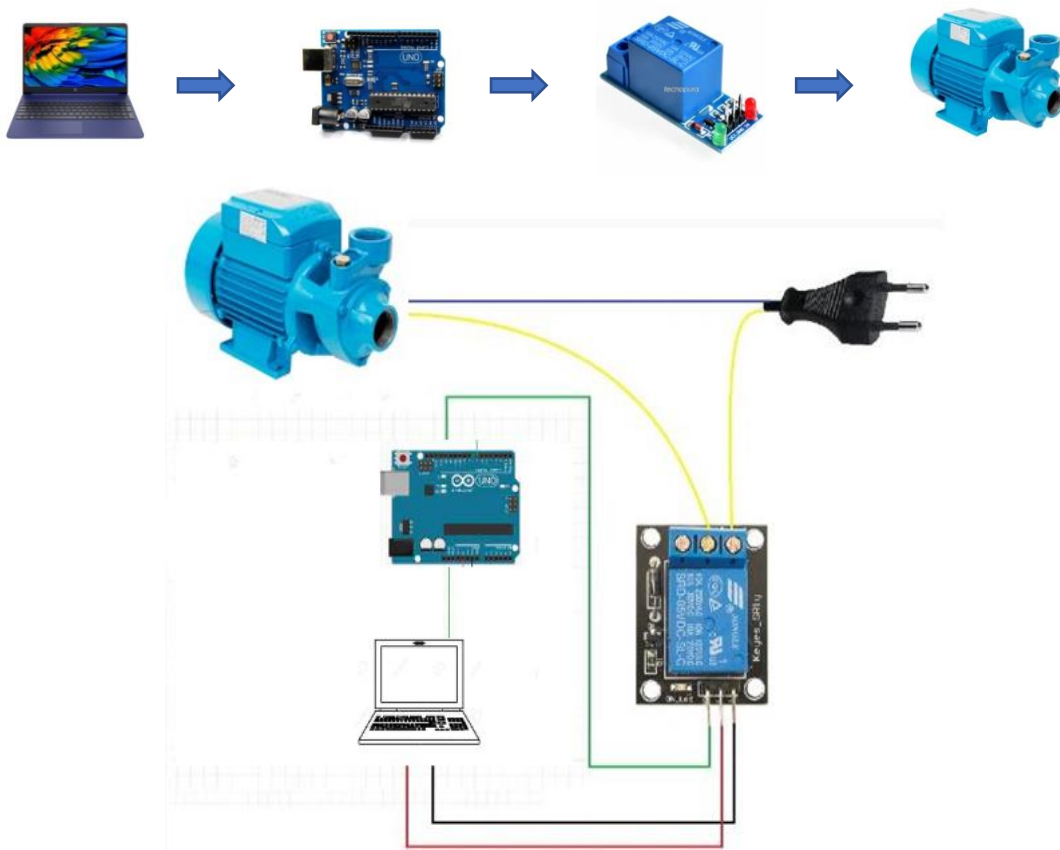
También se utiliza el sistema arduino, el cual es una plataforma de código libre que fue diseñada para dar facilidad en la creación de proyectos de electrónica, este sistema posee un entorno gráfico

el cual utiliza un lenguaje de programación processing/wiring y un gestor de arranque (Halley, 2014).

Por otro lado, se utiliza el programa MatLab el cuál sirve para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Con este programa se pueden crear de manera sencilla funciones y programas especiales en código MatLab (Casado, sf).

Ilustración 4

Esquema del módulo del sistema de riego automatizado Esquema del módulo del sistema de riego automatizado



Fuente: Autor

- Diagrama de flujo del sistema donde se describe el funcionamiento

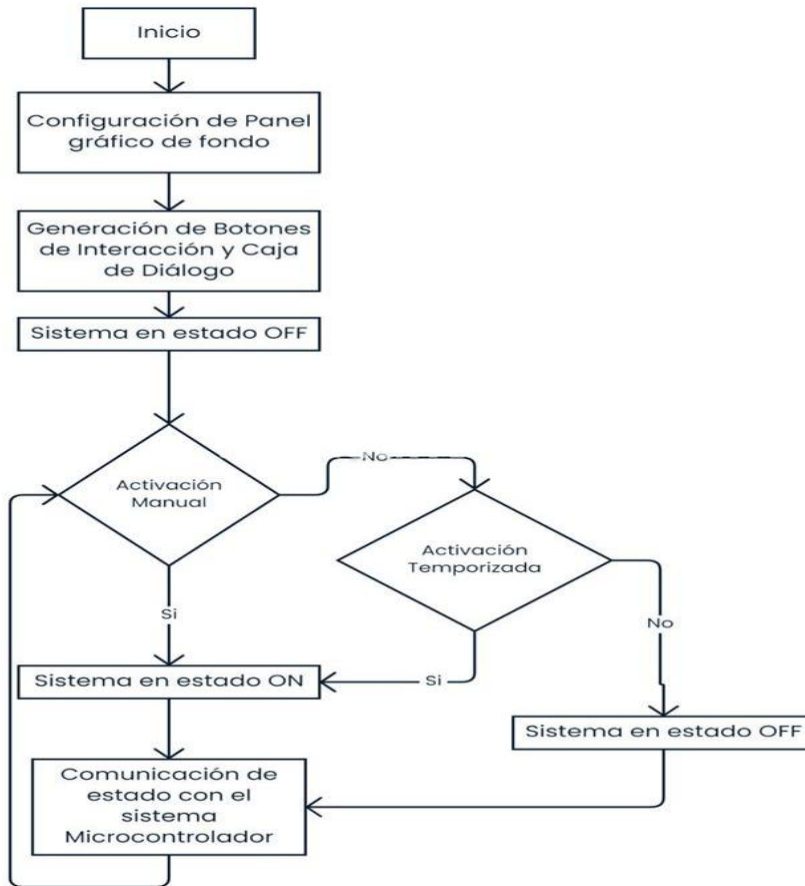
El siguiente diagrama de flujo, muestra la secuencia de pasos necesarios para el control del sistema de riego en un área de cultivo de forma automática. Este sistema utiliza dispositivos electrónicos para la medición de la cantidad de agua necesaria en función de las condiciones ambientales y las necesidades del cultivo.

Este comienza con el inicio del sistema, luego pasa a la etapa de configuración de panel gráfico de fondo, para luego, generar los botones de interacción y caja de diálogo; posteriormente se pasa al sistema en estado OFF.

En la activación manual, si el sistema está en estado ON, hay comunicación de estado con el sistema microcontrolador, por otro lado, si no hay activación manual y se realiza activación temporizada, el sistema se conserva en estado ON y se realiza la comunicación de estado con el sistema microcontrolador, y por otra parte, si no se realiza activación temporizada el sistema permanece en estado OFF lo que conlleva a la comunicación de estado con el sistema microcontrolador para finalmente realizar la activación manual.

Ilustración 5

Diagrama de flujo, funcionamiento de sistema de riego



Fuente: Autor

- Interfaz gráfica del sistema de riego

Ilustración 6.

Algoritmo interfaz gráfica de usuario para activación de bomba de dispensación de agua en el cultivo de papa criolla Solanum phureja.



Fuente: Autor

El algoritmo para la interfaz gráfica de usuario de activación de la bomba de dispensación de agua en un cultivo, tiene como objetivo facilitar y automatizar el proceso de riego en un entorno agrícola. La interfaz permite a los productores controlar y supervisar de manera eficiente la dispensación de agua para el cultivo, optimizando el uso de agua y por ende mejorar el rendimiento del cultivo.

En primer lugar, el algoritmo muestra una pantalla de inicio con opciones fáciles de entender, cuando el usuario selecciona la opción de activar la bomba de dispensación de agua, se presentará una interfaz donde podrá ajustar los parámetros del riego que se adapte a sus necesidades. La interfaz proporciona controles para configurar la duración del riego, la frecuencia y la cantidad de agua por cada ciclo; el usuario puede ingresar esta información por medio de campos de entrada, lo que facilita el ajuste a las necesidades específicas del cultivo.

El algoritmo también incluye características avanzadas, como programar horarios de riego, lo que permite al usuario establecer intervalos durante el día o la semana lo que causa que la bomba se active de manera automática, lo que le brinda al productor flexibilidad, ahorro de tiempo y costos de mano de obra.

9. CALIBRACIÓN DE SENSORES

9.1 METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN

Todo lo relacionado con la calibración de los sensores de humedad utilizados en el diseño de la red se analiza en esta sección. En primer lugar, el sensor analizado es el **Capacitive Soil Moisture Sensor (V0.3) de DFROBOT**, Es un sensor barato y compatible con Arduino. Existe una salida de datos similar que requiere un convertidor ADC para su lectura. Esto es compatible con Raspberry PI y las plataformas de la familia DFROBOT.

Se llevó a cabo una investigación bibliográfica, la cual abarco varios estudios realizados sobre las técnicas más comunes utilizadas para la calibración de sensores de humedad, a través de este, se identificaron algunas de las técnicas más utilizadas, tales como: métodos de fluido dividido, de dos presiones y soluciones sal y agua; además de esto, se revisaron métodos específicos para calibrar sensores capacitivos, los cuales fueron dirigidos a sensores de bajo costo que emplearon el mismo tipo de medición. Se proporcionaron especificaciones para la calibración gravimétrica de sensores SKU SEN0193, donde se obtuvieron estimaciones del tiempo necesario para realizar las pruebas. A partir de la investigación bibliográfica realizada, se tiene en cuenta la recomendación de Souza para la calibración del sensor de humedad capacitivo, el autor propone una metodología de calibración basada en pruebas experimentales. En ese orden de ideas, como procedimiento inicial se enumeran los materiales utilizados para el experimento:

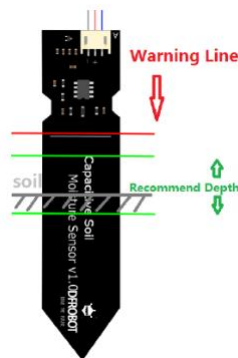
- Sensor de Humedad (Capacitive Soil Moisture Sensor (V0.3))
- Arduino (Con pin de Lectura análoga)
- Probeta Graduada de 25 mL
- Gotero de Agua destilada

- Balanza de precisión
- Vaso de precipitado
- Cronómetro

Para realizar la calibración del sensor, se examinaron las especificaciones técnicas proporcionados por el fabricante. Donde en primer lugar, se identifica el rango de profundidad recomendado, esto con el fin de garantizar la no afección de la funcionalidad ni la precisión de las mediciones (Ilustración 7). Esto permite establecer una zona de trabajo inicial, la cual determina la altura de enterramiento recomendada para la sonda en la muestra; además, es importante destacar que el sensor utilizado cuenta con una cubierta de plástico y un cable de goma, lo que hace más fácil su uso en exteriores, cabe destacar que se trata de la versión 3 de este grupo de sensores.

Ilustración 7.

Rango de calibración



Nota. Fuente: wiki.dfrobot.com/CapacitiveSoilMoistureSensorSKUSEN0193

Para la metodología de calibración, se realizaron dos experimentos por separado, sin embargo, en ambos casos se utilizó una muestra de suelo del cultivo seleccionado, del cual se toman los datos experimentales. La muestra de suelo pasa por un proceso de secado natural al aire durante 7 días, o en otro caso se utiliza un horno de secado para eliminar por completo la humedad presente en la muestra.

9.1.1 Toma de datos para un suelo homogéneo

En esta primera etapa se analizan las propiedades de absorción del suelo mediante la toma de muestras, para luego macerarlas, esto con el fin de obtener un suelo más homogéneo para recopilar los datos que se necesitan. La muestra de suelo es triturada para eliminar los terrones, luego se lleva a cabo un proceso de tamizado para asegurar que todos los granos tengan un tamaño máximo de 2mm, así se garantiza que la muestra sea lo más uniforme posible.

Ilustración 8

Toma de muestras para análisis de suelo



Fuente: Autor

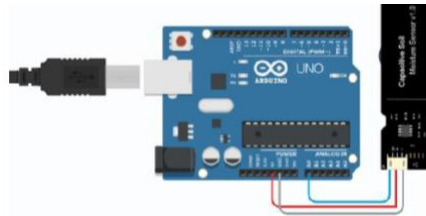
En el siguiente paso, se coloca una muestra en un vaso de precipitado, que contenga el tamaño del sensor (10 cm) y la cantidad de muestra tomada. Antes del anterior proceso se

registran algunos datos como el peso del vaso y el peso de la muestra seca con el sensor, para utilizarlos como punto de partida en el procedimiento.

Para comenzar los cálculos, como primer paso se resta el peso del vaso de precipitado haciendo uso de la balanza, seguido de esto, para obtener los datos del sensor, se utiliza arduino para leer el convertidor analógico-digital (ADC), al cual se tomar la lectura mostrándose en una escala de 0 a 1023 sin ningún tipo de ajuste.

Ilustración 9

Circuito para el sensor



Fuente: Diseño Tinkercat

Con todos los procesos anteriores ya realizados, se procede a tomar datos del peso de la muestra a medida que va agregando una cantidad de agua en intervalos regulares, y a su vez se registra el valor obtenido del sensor. Es de suma importancia dejar pasar suficiente tiempo entre una medición y otra para que la tierra absorba el líquido el sensor detecte los cambios.

Para cumplir con el objetivo, se ajusta el parámetro de profundidad según las recomendaciones del fabricante, además se ha cubierto la parte superior de la sonda antes de agregar la cantidad de tierra que se necesita para que este dentro de los límites recomendados.

Luego de esto, con una probeta y un gotero, se hace una medición de 5ml de agua, la cual se va aplicando en intervalo de 30 segundos, durante este proceso, se van registrando los

cambios en el peso y los datos analógicos del sensor; ya que de acuerdo con la hipótesis planteada para general el gráfico se debe establecer inicialmente una relación de proporcionalidad entre el peso del suelo seco y los cambios que ocurren al agregar las cantidades de agua. Para esta, se va hacer uso de la siguiente ecuación:

$$S_p = \frac{S_w - S_d}{S_d} * 100$$

Dónde:

S_p = Porcentaje de humedad del suelo

S_w = peso del suelo húmedo

S_d = peso del suelo seco

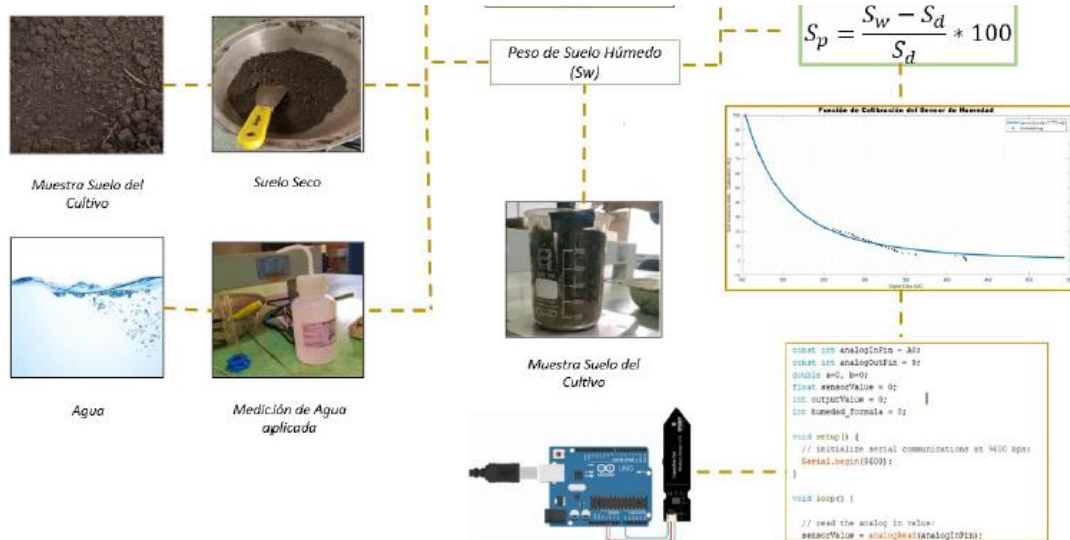
Teniendo los datos y aplicando la ecuación a cada uno de ellos, se calcula el cambio o error porcentual, experimentando por la muestra a lo largo de todo el proceso; estos resultados se utilizan como valores en el eje Y de la gráfica y representan la variación del porcentaje de humedad del suelo en función de la información obtenida del conversor ADC del sensor.

9.1.2 Toma de datos para un suelo heterogéneo

Teniendo en cuenta la metodología (Ilustración 10), se procede a desarrollar una nueva medición; en este caso se toma una muestra de suelo húmedo y se somete a un proceso de secado en un horno para eliminar por completo la humedad, dejando el suelo preparado para realizar la experimentación. A diferencia del tipo de suelo del ensayo anterior, en esta ocasión no se tamiza la muestra sin el fin de este es trabajar con un suelo heterogéneo donde se eliminan las partes más grandes para reducir la compactación.

Ilustración 10

Método de calibración



Fuente: Calibration equation and field test of a capacitive soil moisture sensor 2020 IEEE

Según el proceso anterior, se cubre la parte superior del sensor para mantener el rango de medición recomendado por el fabricante y se introduce en la muestra del suelo, inmediatamente se comienza a recopilar los datos necesarios, agregando en un intervalo de 30 segundos 5ml de agua, registrando a su vez, los cambios de peso de la muestra a medida que se satura y el valor analógico convertido que proporciona el sensor en la pantalla.

Ahora bien, dado que el suelo no ha sido sometido a ningún otro tratamiento aparte de secado, se busca una saturación uniforme que no presente problemas de absorción hasta que la muestra este totalmente saturada, en este caso, los datos iniciales incluyen el pesos del vaso de precipitado y un peso del suelo sin el sensor, resultando un peso total de inicio, luego de restar el peso del recipiente, ya luego se procese a tomar los datos necesario y aplicando la ecuación anterior se obtiene la relación lineal del cambio de humedad en la muestra.

10. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE NODOS

En este apartado se examina la capacidad y la distribución ideal de nodos sensores en un área real, teniendo en cuenta las características necesarias para recolectar datos experimentales, la cantidad de datos a tomar y la representación de los mismos. Además, se realizó un análisis de las propiedades de los datos, la distribución estadística y las medidas de dispersión que los conforman. Desarrollando a continuación un algoritmo basado en el análisis de Kriging con el fin de determinar la cantidad y la ubicación óptima de los nodos; este algoritmo se basa en la generación de múltiples mapas que se comparan con los datos originales, con el fin de encontrar la opción más adecuada de manera precisa.

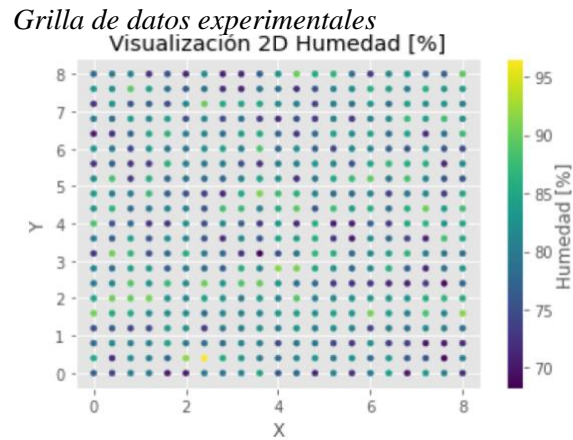
10.1 Datos experimentales

Para comenzar el cálculo de la estrategia de colocación, se requiere obtener una colección de datos experimentales en el terreno a estudiar; esto implica recopilar diferentes puntos y sus respectivos valores de humedad a lo largo de toda el área elegida. Los datos obtenidos establecen una relación entre 2 parámetros: en primer lugar, una aproximación de las coordenadas (x,y) dentro del área seleccionada y en segundo lugar, el valor porcentual de humedad del suelo en cada uno de esos puntos.

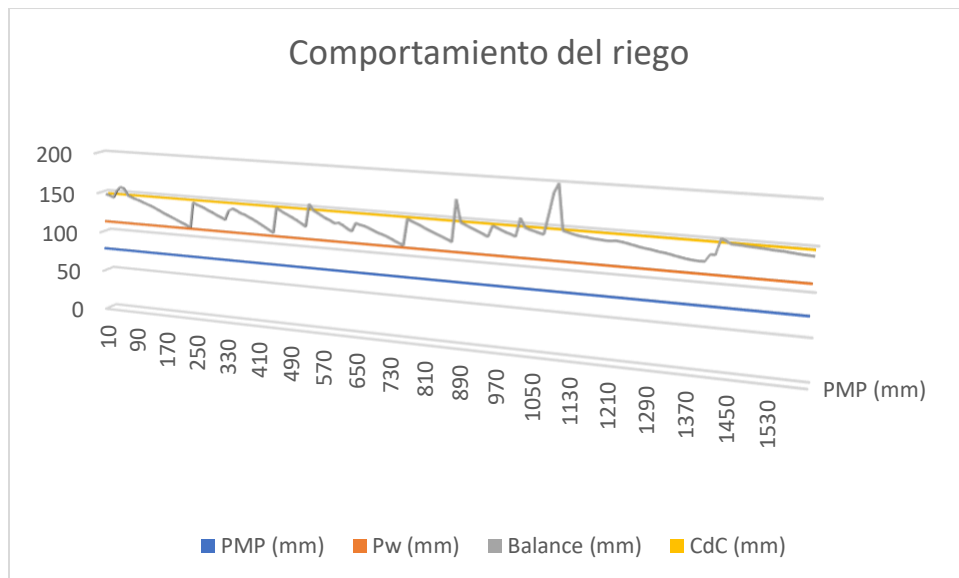
Una vez se tienen todas las muestras en el terreno, se realiza una tabla en Excel donde se relacionan y organizan todos los datos obtenidos, juntos con sus respectivos valores de humedad y coordenadas. Este archivo se exporta al software de análisis MATLAB, donde se importan los valores de (x, y, Humedad (%)). Para llevar a cabo este proceso, la nube de puntos tomada en un área de 8 metros cuadrados, con una cuadrícula de 0.4 metros por dato, se parametriza dentro de los límites de 0 a 8 metros; bajo estas condiciones, se obtuvieron un total de 441 muestras de

humedad, las cuales se representan en tres dimensiones. Con las coordenadas (x,y) y el valor de humedad en el eje Z.

Ilustración 11.



Fuente: Autor



Fuente; Autores.

10.2 Parámetros para Análisis de Kriging

Una vez se obtuvieron los datos experimentales. Es necesario realizar un análisis de las características estadísticas para determinar si la recolección fue exitosa o si los datos están correlacionados. También es indispensable identificar la presencia de valores atípicos que puedan afectar los resultados. Esto con el fin de obtener una distribución Gaussiana que refleje una coherencia estadística en los datos. Además, se lleva a cabo un análisis de medidas de tendencia central y luego se realiza un análisis de varianza para trazar el mapa de interpolación.

Este enfoque permite identificar si los datos recolectados tienen un grado de error o si se midieron correctamente, proporcionando una estimación previa de la nube de puntos obtenida al compararla con el mapa de interpolación. Por otro lado, es necesario realizar un análisis variográfico de los datos, pues el método de interpolación por Kriging ordinario (OK) utiliza este análisis para relacionar los puntos y proporcionar información sobre las características del mapa que se generará. Pues como se describió en el marco conceptual, el variograma designa mediante continuidad matemática la relación al comportamiento espacial de humedad del suelo en este caso, además de los datos involucrados en el proceso de interpolación.

Partiendo de esta idea, se exportan los datos recopilados en 3 columnas, pero solo se utilizan aquella que contiene la información del porcentaje de humedad, que es la variable de estudio; luego se traza una línea de probabilidad con el fin de detectar posibles irregularidades en los datos.

10.2.1 Análisis variográfico preliminar

Antes de utilizar el algoritmo para seleccionar los puntos mediante el método geoestadístico de interpolación de datos, es importante comprender el comportamiento de la

variabilidad espacial y la influencia de los diferentes puntos en el cálculo de distancias. Para este propósito, existen diversos tipos de variogramas que relacionan una función matemática como base para interpretar los procesos. Estos variogramas generan zonas de interpolación distintas, y aunque MATLAB ya realiza el cálculo del variograma de manera automática, es importante comprender sus características e identificar cambios en las distribuciones de frecuencia de los datos. En un variograma el punto de saturación debe estabilizarse en un valor cercano a la varianza de la variable aplicada.

10.3 Algoritmo de distribución de nodos

La técnica utilizada para las distribuciones de puntos ideales para la ubicación de los sensores depende tanto de los puntos donde se toman las muestras experimentales como del cálculo de errores posteriores. Un número M de repeticiones con diferentes distribuciones se utiliza para realizar este cálculo, variando gradualmente la cantidad de nodos en un área específica. Esto permite obtener un porcentaje de error para cada repetición, que se relaciona con un número N de sensores creados por ese porcentaje, y cuya distribución se puede resolver en base a ese análisis o a otros parámetros estudiados en disciplinas relacionadas con el análisis de suelos.

El algoritmo de distribución de nodos es crucial para determinar cómo se comporta una variable en sistemas que utilizan redes de sensores inalámbricos (WSN) para monitoreo o control. Depende de ellos que los datos recolectados durante el ensayo sean lo más precisos posibles y tendrán el mayor alcance posible, además de contribuir y optimizar el diseño y los costos de implementación, incluidos los materiales utilizados y la capacidad energética.

Una vez planteada esta idea inicial, se describe paso a paso la metodología utilizada en el proyecto; en primer lugar se comprende la organización y la estructura de los datos necesarios, con estos datos se representa un entorno con colores variables considerando las coordenadas y los valores, en este caso, la humedad del suelo, que es la variable de interés en este método.

El objetivo de esto es identificar las características de los puntos muestreados para obtener los datos necesarios y crear un proceso de interpolación. También se busca establecer un orden en el que se tomen diferentes números y distribuciones de puntos para observar su comportamiento.

11. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS ZIGBEE PARA WSN

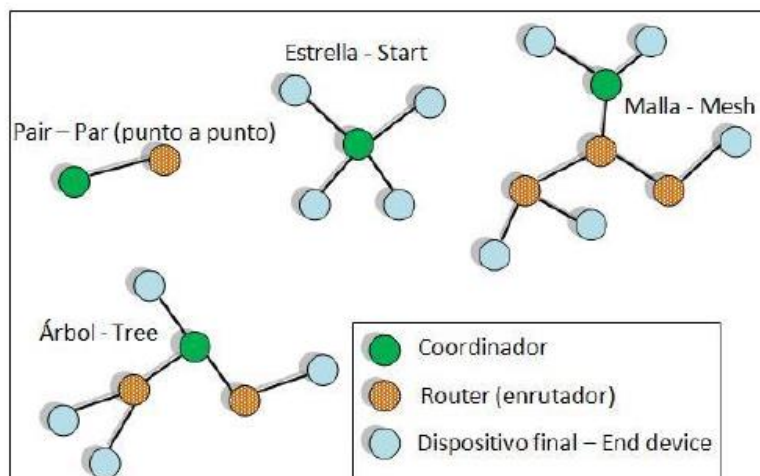
En este apartado se presenta de manera concisa el uso de las características de la tecnología Zigbee en aplicaciones de comunicaciones inalámbricas mediante los módulos Zigbee. Esta tecnología se utiliza como una forma de interactuar y recrear un modelo de red basado en la revisión bibliográfica.

11.1 Topologías de red posibles

Para analizar el sistema de comunicación de una red inalámbrica, es importante comenzar identificando las características que se requieren, en este caso, se utilizan módulos Xbee Pro Serie2T, los cuales operan a una velocidad de transmisión de 9600 Baudios y una tasa de transmisión de datos de 250 kbps, siguiendo el estándar IEEE 802.15.4. El estándar Zigbee, en su funcionamiento, permite la utilización de diferentes topologías de red, que gracias a su capacidad de adaptación a la arquitectura propuesta, Zigbee se presenta como un protocolo versátil y adecuado para redes con bajo volumen de tráfico.

Ilustración 12.

Topologías lógicas de redes Zigbee



Fuente: Zigbee

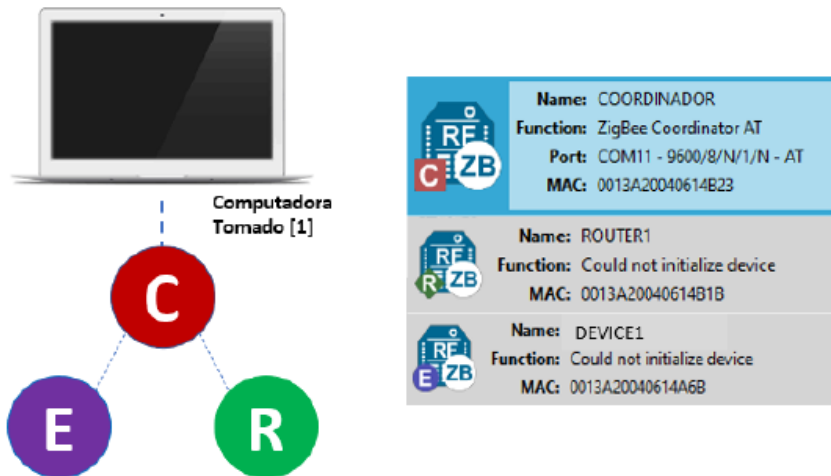
Las principales topologías de redes usadas son: las configuraciones lógicas que ofrecen los módulos Zigbee muestran diversas formas que están directamente relacionadas a la configuración individual de cada módulo. Los módulos Xbee, tienen tres configuraciones básicas; coordinador, Router y dispositivo final. Además, tienen dos modos de operación; el modo transparente por comandos (AT) y la interfaz de programación de aplicación (API); estos modos limitan las características de la comunicación y el tamaño de la red que se puede diseñar.

Es así que el objetivo establece la generación de una topología de red tipo estrella, que permita tener las tres configuraciones de los módulos Xbee según las dimensiones y la forma del área analizada. Esto se debe a que cada configuración afecta la eficiencia energética y del software que se puede lograr en la topología general. Las diferencias en configuración determinan si el módulo trabaja de manera activa en el envío y recepción de datos, o si solo se activa de forma pasiva para el envío, encontrando estas ventajas en el modo dispositivo final.

11.1.1 Topología de red practica

Para implementar el diseño parcial de una comunicación inalámbrica en un área pequeña, se establece una topología que consta de 3 módulos Xbee configurados para comunicarse entre sí. La topología lógica incluye un Xbee coordinador, un router y un dispositivo final que se comunica utilizando el modo transparente (AT), con el propósito de recibir información de dos nodos distintos.

Ilustración 13. Topología práctica



Fuente: Autor

La idea consiste en generar tráfico desde el Router1 y el Device1, de tal forma que los datos que se generen se reciban en dispositivo coordinador AT, el cual trabaja en este modo como una comunicación serial, que reconoce la información de los dos dispositivos, pero no los diferencia.

11.2 Configuración de módulos Xbee

La topología de red propuesta, se configura en el modo transparente, conociendo inicialmente las características del módulo, como las direcciones identificadoras y funciones de protocolo Zigbee en Xbee. Para esto, como primer paso con el software XCTU se reconoce el modulo, con ayuda de una camilla programadora, por medio de este se lee y se actualiza su firmware al modo de operación necesario Router AT, Router API sucesivamente. Es importante resaltar, tal como se recomienda en algunos ejemplos de aplicaciones hechas y la documentación de Xbee, que independientemente del modo de trabajo, cada módulo posee dos direcciones particulares que permiten su comunicación; Serial Number High (SH) y Serial Number Low (SL) y serán la referencia de la comunicación punto a punto.

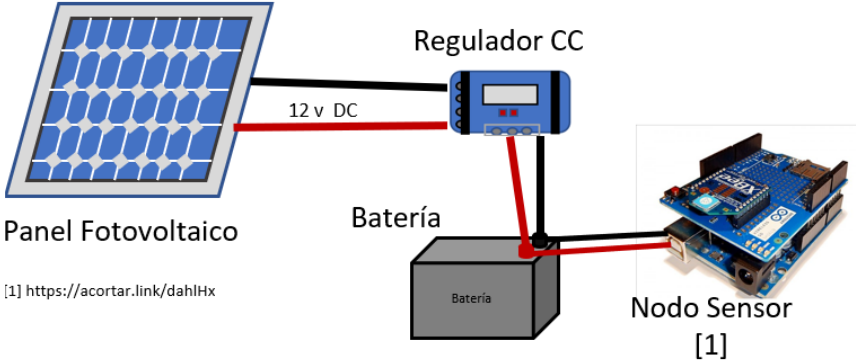
11.2.1 Algoritmo para lectura de datos.

Después de configurar los tres módulos, Arduino programa la lectura ADC comunicada a través del puerto serie al que se conecta Xbee. Con la transmisión de datos ya funcional, el Coordinador recibe información inalámbrica y la dirección un puerto COM a través de una conexión USB. Luego, Matlab lee el puerto serial e interpreta los datos. La lógica del algoritmo seguido se relaciona con el modo de trabajo del módulo Xbee porque el envío de datos es punto a punto, por lo que el módulo no puede detectar las diferencias de origen de los datos. Como resultado, se crea una referencia para cada dato en el código, coordinada por una letra del abecedario, así cada nodo tiene una letra que lo identifica y que por algoritmo se puede diferenciar, teniendo la cuenta que la lectura del sensor varía de 0-1023.

11.2.2. Circuito de un nodo sensor

La tecnología Zigbee se adapta muy fácil al uso de microcontroladores como Arduino, lo cual es benéfico debido a su distribución globalizada que facilita conexión con otros dispositivos embebidos; en este sentido, considerando la autonomía energética de cada nodo sensor en una red de sensores inalámbricos (WSN), es necesario incorporar un circuito de alimentación que permita que el nodo este activo durante el mayor tiempo posible. Dependiendo de las características de la red, se puede aprovechar energías alternativas, como la fotovoltaica, para lograr el objetivo. Teniendo en cuenta lo anterior y las especificaciones de implementación, se propone una estructura básica para un nodo sensor que utiliza un panel fotovoltaico y Arduino.

Ilustración 14 Circuito de nodo sensor



Fuente: Autor

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

12.1 Calibración de sensor de humedad

Los hallazgos indican que la caracterización del sensor para el parámetro de medición de humedad debe respaldar la función matemática respaldada en las pruebas. Como resultado, se obtuvo el método termogravimétrico para calibrar el sensor. Las pruebas en laboratorio se llevaron a cabo registrando los datos y se mencionan algunos resultados. Por un lado, dado que el agua tiene una densidad de aproximadamente 1 a condiciones de temperatura promedio, es posible encontrar una relación casi lineal entre el cambio de peso experimentado con el suministro de agua y la cantidad en mililitros agregados en las pruebas experimentales. Por lo tanto, el cambio de peso debe ser alrededor de 5 gramos al agregar 5 mililitros.

Además, es evidente que la precisión de la ecuación que se obtiene de la cantidad de datos tomados aumenta con el tiempo. Sin embargo, esto se ve limitado por la capacidad de absorción de la tierra, ya que aunque se agreguen cantidades de agua pequeñas a intervalos de tiempo significativos, las condiciones de la tierra pueden afectar negativamente con una absorción lenta que causa apoyo en la parte superior del recipiente utilizado.

Ahora bien, a medida que se agreguen los mililitros correspondientes a la muestra, el líquido debe comenzar a filtrarse de manera evidente. Sin embargo, en esta prueba realizada en un terreno homogéneo, se han registrado algunos problemas con respecto al número de muestras obtenidas. Como se expuso anteriormente, esto depende de la capacidad de absorción. En este caso, se ha logrado una estructura compacta para lograr una mayor homogeneización del terreno, lo que ha provocado un aposamiento temprano debido a la falta de espacios para que el agua pueda filtrarse, lo que hace que el proceso sea extremadamente lento en comparación con los 30

segundos con los que se agregaron las cantidades. Algunos problemas similares ocurren al agregar cantidades de agua muy grandes en un lapso de tiempo muy corto, por lo que es crucial analizar minuciosamente las condiciones previas a la toma de datos para mejorar la calidad del procedimiento.

La segunda prueba obtuvo más puntos que la prueba con tierra homogénea. Esto se debe a que la tierra está menos compacta y absorbe el agua más rápidamente. En ese orden de ideas, se han extraído los correspondientes valores de valor digital y datos de peso teniendo en cuenta las variaciones de la muestra. Aunque en esta ocasión las comprobaciones fueron más extensas, los resultados que se obtuvieron no tuvieron mayor variación, lo que resultó en ecuaciones de comportamiento menos eficientes y más complejas que al llevarse a cabo el proceso. Como características en particular, se agregó agua a la muestra durante media hora, agregando un total de 300 mL sobre la muestra inicial cuando se modificó una absorción adecuada del líquido. Además, se logró el proceso de manera experimental para observar la curva de saturación del suelo examinado, midiendo su evolución a lo largo del tiempo hasta lograr una saturación total en el área. El hallazgo también es importante para la investigación ya que muestra de manera comparativa cómo se absorbe el líquido en un tipo de terreno específico a temperaturas típicas de 15 a 20 grados centígrados, lo que permite estimar el comportamiento de la variación de la humedad con el tiempo.

12.2 Análisis de distribución óptima de datos

El sistema se llevó a cabo en un área de 4x4 m, el cual inició con tubería de una pulgada y se acoplo luego manguera de riego de media pulgada y sus respectivos micro aspersores, el cual contaba con 4 micro aspersores por cada fila, además se contó con una electro bomba de medio caballo de fuerza y para la verificación de la humedad del suelo se regó durante 10 min y

se dio un tiempo de reposo al sistema de 25 min. Por otro lado, el sistema de riego fue controlado por medio de matlab con ayuda de un sistema arduino el cual ayudaba a programar el riego del cultivo en segundos.

Ilustración 15.

Implementación de manguera de riego dentro del cultivo.



Fuente: Autor

Ilustración 16.

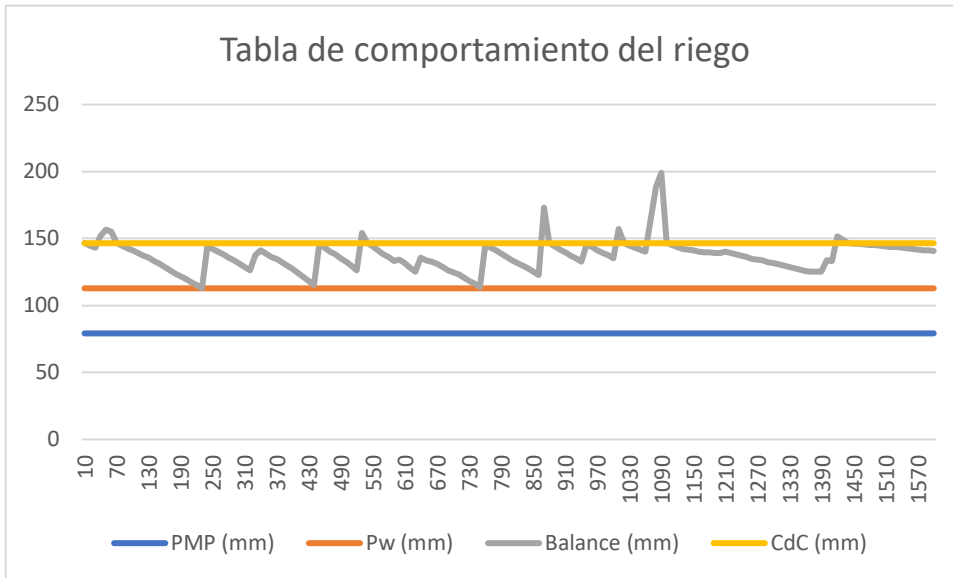
Implementación de sistema de riego en el cultivo



Fuente: Autor


El estudio del comportamiento del riego se realizó por medio de una lectura de datos cada 10n segundos. Donde los valores en la gráfica (1) indican que los valores de PMP y CdC se mantuvieron constantes en el tiempo, con valores de 79, 165 mm y 146, 473 mm, respectivamente. Por otro lado, El valor de Pw muestra cambio a lo largo de las mediciones, pues al inicio de las mediciones tuvo un valor de 112, 819mm, conforme paso el tiempo disminuyo gradualmente y alcanzo un valor mínimo de 112, 819 mm en el tiempo 70. A partir de este punto, el valor de Pw aumenta nuevamente y alcanza un máximo de 156, 8496475 mm en el tiempo 50. No obstante, el valor de Pw mostro fluctuaciones y cambios a lo largo del tiempo, con variaciones entre 144, 87021 mm y 119, 6600425 mm. Finalmente en el tiempo 1600 el valor de Pw fue de 140, 8909 mm. En conclusión, estas mediciones indican que el valor de Pw tuvo cambios en las mediciones, lo que resulta en fluctuaciones y tendencias ascendentes como descendentes. Sin embargo, los datos de PMP y CdC se mantuvieron constantes, siendo útiles estos datos para comprender la dinámica del agua en el suelo y la influencia en el crecimiento de las plantas y la disponibilidad de agua para el riego.

Gráfica 1 Comportamiento del riego



Fuente: Autor

Ilustración 17. Resultados análisis de suelo.

Observaciones		Los resultados solo aplicables a la muestra analizada y cultivo solicitado																																											
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELOS																																													
Muestra	No. Laboratorio	Prof. (cm)	%	Textura	pH	% MO	cmol ⁺ Kg ⁻¹ de suelo										partes por millón (ppm)						CE																						
1	1315	30	37	25	35	F Ar	4,21	4,65	6,80	6,80	Ca	Mg	K	Na	SB	CTC	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Al ³⁺	Na	ds m ⁻¹																			
VALORES DE REFERENCIA (Ref.)							5,6- 7,3				3-6	1,2-1,8	0,6-0,8	0,1-0,5			20-40	8-16	50-100	5-10	2-4	3-6	0,3-0,6	< 20	< 7	< 2	0,06																		
INTERPRETACIÓN							Ext.Ac				Bajo	Bajo	Bajo	Bajo			Bajo						Bajo	Alto	Bajo	No Salino																			
No. Laboratorio		Iones solubles (ppm)					Densidad (g cm ⁻³)		No. Laboratorio				Rebociones catiónicas																																
1315		Ca	Mg	K	Na	P	ρ _s	ρ _a	Ca	Mg	K	Na	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg/K)	DK	(Ca+Mg+K/K)																											
Ref.		40-100	17-35	40-100	<90	4-6			Ref.	50-70	15-25	2-3	7-15	Ref.	3-5	12-18	6-8	0,2-0,3	12-20	9,08-10,12	>1																								
		Interpret.							Interpret.				Bajo																																
MÉTODOS ANALÍTICOS (CALS - ICONTEC)																																													
pH: Relación 1:1				Boro: Agua Caliente				Al ³⁺ (Aluminio Intercambiable): KCl 1N				Fósforo Disponible: Bray II - Colorimetría				Fe - Mn - Cu - Zn: DTPA - Abs Atómica				Textura - Bouyoucos: Arena (% A); Arcilla (% Ar) y Limas (% L).																									
Ac.Irre (Acidez Intercambiable): KCl 1 N				Azufre: Fosfato Monocálcico				Materia Orgánica: Walkley - Black				Ca - Mg - K - Na: Ext. NH ₄ A - Abs Atómica				C.E. Extracto de saturación				REF. N.M.O. 5-10-Frio, 3-5-Medio, 2-4-Caliente																									
DIAGNÓSTICO														Sugerencias																															
El suelo presenta texturas medianamente finas, caracterizadas por poseer una buena capacidad de filtración del agua, y buena retención de la misma, esta se debe aplicar de acuerdo a la demanda del cultivo, los riegos deben ser frecuentes más no abundantes. Texturas adecuadas para el desarrollo de cualquier tipo de cultivo.														Revisar las condiciones del área en presencia de capas compactadas, en tal caso proceder a preparar el terreno con la ayuda del arado de cincel. Incorporar por hectárea de la manera más uniforme 2800 kilos de Cal Dolomita, 750 kilos de Abono Paz del Rio y 2000 kilos de materia orgánica debidamente descompuesta con un mes de anticipación a la siembra. Repetir esta aplicación con un año de diferencia.																															
pH de reacción: Extremadamente Ácido														A continuación se presenta el plan de fertilización SUGERIDO																															
Suelo con severas restricciones para desarrollo de los cultivos debido a la acidez y saturación de Aluminio (81,74%), en general el contenido de Calcio, Magnesio y Potasio son bajos; esta reacción o pH del suelo limita la disponibilidad de la mayor parte de los elementos. Es necesario realizar encalamiento antes de adicionar los demás nutrientes requeridos. Pueden presentarse deficiencias de fósforo en el cultivo por los bajos niveles de este elemento.														<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRODUCTO</th> <th>APLICACIÓN SIEMBRA Kg/ha</th> <th>APLICACIÓN AL APORQUE Kg/ha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12-24-12</td> <td>450</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NITROMAG</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AGRIMINS</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SULFATO DE POTASIO (APLICACIÓN EDÁRCA)</td> <td></td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>28-4-0-4(S)</td> <td></td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>														PRODUCTO	APLICACIÓN SIEMBRA Kg/ha	APLICACIÓN AL APORQUE Kg/ha	12-24-12	450		NITROMAG	100		AGRIMINS	100		SULFATO DE POTASIO (APLICACIÓN EDÁRCA)		200	28-4-0-4(S)		50
PRODUCTO	APLICACIÓN SIEMBRA Kg/ha	APLICACIÓN AL APORQUE Kg/ha																																											
12-24-12	450																																												
NITROMAG	100																																												
AGRIMINS	100																																												
SULFATO DE POTASIO (APLICACIÓN EDÁRCA)		200																																											
28-4-0-4(S)		50																																											
% M.O.: los contenidos de materia orgánica presentan niveles medios, lo que le confiere al suelo capacidad de almacenamiento de agua y aprovechabilidad del fertilizante aplicado, debido a la capacidad de intercambio de nutrientes generados; es importante seguir adicionando este tipo de materiales al suelo, los cuales contribuyen a la presencia y desarrollo de organismos beneficios para el cultivo.														<p>ORIGINAL FIRMADO</p> <p>vs.Bo. NATALY JULIETH PUERTO GALINDO Análisis Principal</p> <p>ORIGINAL FIRMADO</p> <p>vs.Bo. ADRIANA BOLLIVAR GAMBA Interpretación</p> 																															
Las sugerencias del laboratorio pueden ser tenidas en cuenta o modificadas por el asistente técnico.														"La Universidad, al servicio del campo"																															

Fuente: Laboratorio de Diagnostico en suelos y aguas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Observando el análisis de suelos realizado posteriormente del ejercicio en el área destinada para la investigación, se evidencia un suelo franco arenoso, es decir con texturas medianamente finas, las cuales tienen buena infiltración de agua y así mismo buena retención; lo que ocasiona que el agua del riego se debe aplicar de manera frecuente pero no en exceso, siguiendo los requerimientos del cultivo de papa *Solanum phureja*. Por otro lado, se observa que el pH está en 4,21 lo que muestra un valor extremadamente ácido, y por otra parte, la saturación del aluminio se encuentra en altos porcentajes (81.74%) siendo esta una restricción para una gran mayoría de cultivos entre estos el de papa criolla (*Solanum phureja*). A su vez, los contenidos de Ca, Mg y K son bajos, lo que se deriva de la acidez y la saturación de aluminio. Por lo anterior, es necesario realizar encalamiento para equilibrar el nivel de pH en el suelo, y según el análisis de suelo y los contenidos de elementos mayores y menores realizar las aplicaciones requeridas por el cultivo. Finalmente, el P se encuentra en niveles bajos lo que podría ocasionar deficiencias en las plantas.

13. CONCLUSIONES

Mediante esta investigación la metodología propuesta estuvo basada en el método termogravimétrico para realzar las calibraciones de los sensores de humedad, en especial el **Capacitive Soil Moisture Sensor** (VO.3). A partir de esto, los resultados obtenidos fueron exitosos, pues con una precisión del 98% al momento de la medición de los datos. Esta exactitud es comparada con estudios anteriores los cuales utilizan sensores similares basándose en el mismo principio de funcionamiento. Es así que, lo anterior respalda la viabilidad de la utilización de este tipo de metodologías para calibrar higrómetros en proyectos a futuro.

Con respecto al protocolo de comunicación sugerido para implementar la WSN (Wireless Sensor Network), y en base a las pruebas realizadas con los módulos estas confirman que cabe la posibilidad de diseñar la topología de red y el algoritmo necesario para el registro de los datos del área seleccionada en modo operación AT. No obstante, el uso del Arduino Mega es recomendable para la conexión de varios sensores.

En cuanto al método de distribución y ubicación óptima de los sensores refleja que es adecuado el diseño, pues según los resultados en términos de porcentajes de error de las repeticiones y las posibles distribuciones que puedan surgir dentro del área a experimentar; se observa que en cuanto aumenta el número de puntos utilizados en el cálculo del mapa Kriging, el error va disminuyendo y la repetición del proceso conduce a una distribución óptima.

El diseño de un sistema de gestión de riego mediante una red de sensores puede mejorar significativamente el consumo de agua en comparación con un sistema convencional, ya que permite una gestión más precisa y eficiente del riego. Hay varias formas en que este sistema de gestión de riego mejoró la eficiencia del consumo de agua:

Monitoreo en tiempo real: Los sensores instalados en el suelo y/o en las plantas pueden proporcionar datos en tiempo real sobre la humedad del suelo, la temperatura, la humedad ambiental. Esto permite que el sistema ajuste automáticamente la cantidad de agua suministrada a las necesidades reales de las plantas en cada momento, evitando el riego excesivo o insuficiente.

Programación: Con el uso de datos en tiempo real, el sistema de gestión de riego basado en sensores programa automáticamente el riego en momentos óptimos del día, durante la noche o en las primeras horas de la mañana, cuando la evaporación es menor y las plantas pueden absorber mejor el agua.

Detección de fugas y problemas: Los sensores también pueden detectar fugas o problemas en el sistema de riego, lo que permite una rápida intervención para corregirlos y evitar el desperdicio de agua.

Zonificación del riego: Los sensores pueden ayudar a dividir el área de riego en zonas basadas en las necesidades específicas de la planta o suelo. Así, cada zona recibe la cantidad adecuada de agua según sus requisitos particulares.

Optimización de la distribución de agua: Mediante el uso de sensores de flujo, se puede supervisar la cantidad de agua que se suministra en cada zona y ajustarla en consecuencia para evitar el exceso de riego en determinadas áreas.

Al tener como implementado el sistema de gestión de riego por medio del uso de sensores se puede concluir que la eficiencia en el consumo de recurso hídrico es mejor respecto a un sistema convencional puesto que se garantiza que el suelo y las plantas tengan las condiciones

óptimas para su buen desarrollo en la producción y en ese sentido tener un uso racional del recurso hídrico donde el aprovechamiento es el indicado y no tener pérdidas y tampoco escasez en la utilización de este recurso vital.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alocén, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*.

<https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>

Alzate, G. (2020). Diseño de un sistema de riego para una granja inteligente basado en internet de las cosas. (Tesis de maestría), Universidad distrital Francisco José de Caldas.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27946/AlzateAcu%C3%B1aGabrielAndres2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aranibal, Acuña y Velarde. (2023). Desarrollo de un sistema para el riego inteligente para la automatización del uso del agua. 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development”, Hybrid Event, Buenos Aires – ARGENTINA.

https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_918_a.pdf

Argueta, J., Colorado, J., Loucel, E., Castellanos, G., Campos, S., y López, N. (2022). *Sistema Automatizado de Riego para Cultivos Agrícolas con Interfaz Amigable (Categoría 2: Ingeniería y Tecnología)*. 1.

Arias, H; Antosová, G. (2015). Perfil espacial de la economía boyacense.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-30532015000100005

Bárcena, A., y Vereinte N. (Eds.). (2002). *La sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: Desafíos y oportunidades*. CEPAL.

Cabezas, M., y Corchuelo, G. (2011). *Estimación de la interceptación de la radiación solar en papa criolla (Solanum phureja Juz. Et Buk.) en tres localidades colombianas / Agronomía Colombiana*.

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:flIxeEVWc1UJ:https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19908+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

- CANALES, A. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego—Marcombo, S.A. (ediciones técnicas). *MARCOMBO*. <https://www.marcombo.com/automatizacion-y-telecontrol-de-sistemas-de-riego-9788426716347/>
- Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- CIP. (2015, diciembre 10). Dato y cifras de la papa. *International Potato Center*. <https://cipotato.org/es/lapapa/dato-y-cifras-de-la-papa/>
- Cherlinka, V. (2022). Punto De Marchitez Permanente Y Temporal En Las Plantas. Blog, Eos Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/punto-de-marchitez-permanente/>
- Cortes, V. y Vargas, M. (2020). Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Marie Poussepin. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content>
- Contexto Ganadero. (2013, febrero 25). *Sistemas de riego, beneficio clave para el agro colombiano | Contexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia*. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/sistemas-de-riego-beneficio-clave-para-el-agro-colombiano>
- Díaz, P. (2016). Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55602>
- FAO. (2002). *Agua y cultivos*. <https://www.fao.org/3/y3918s/Y3918S.pdf>
- FAO. (2008). El desarrollo del microrriego en américa central, Oportunidades, Limitaciones y Desafíos. <https://www.fao.org/3/aj470s/aj470s.pdf>
- FAO. (2019). *Los países BRICS están preparados para liderar la erradicación del hambre y la pobreza mundial en 2030 | FAO*. <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/896248/>
- Feldhake, C., Glenn, D., Edwards, W. y Peterson, D. (1997). Quantifying drought for humid, temperate pastures using the Crop Water Stress Index (CWSI). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 40(1), 17-23. <https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513226>

- Garrot Jr, Ray, D., Livingston, M., Fangmeier, D., y Husman, S. (1990). WATERMELON FIELD IRRIGATION MANAGEMENT USING THE CROP WATER STRESS INDEX. *Acta Horticulturae*, 278, 755-762. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.278.74>
- Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., y Rama Krishna, C. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>
- Gómez, R., Alabarces, R., Rodríguez, M., Zafra, P. y Gutiérrez, N. (2010). *Manual de Riego para Agricultores Módulo 1: Fundamentos del Riego. Manual y Ejercicios*. Junta de Andalucía Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera Consejería de Agricultura y Pesca. <https://docplayer.es/23051382-Manual-de-riego-para-agricultores-modulo-1-fundamentos-del-riego-manual-y-ejercicios.html>
- González, X. (2016). Los sistemas de riego son una alternativa rentable para los cultivos. <https://www.agronegocios.co/agricultura/los-sistemas-de-riego-son-una-alternativa-rentable-para-los-cultivos-2622027#:~:text=de%20sus%20ventajas-.Los%20sistemas%20de%20riego%20permiten%20racionalizar%20el%20agua%20disponible%20adem%C3%A1s,la%20cosecha%20es%20m%C3%A1s%20estable.>
- Guijarro, A., Torres, L., Preciado, D. y Manzur, B. (2018). *Sistema de riego automatizado con arduino*. 15.
- Hamami, L., y Nassereddine, B. (2020). Application of wireless sensor networks in the field of irrigation: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105782. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105782>
- HANNA Instruments. (s. f.). *Los Efectos del Agua de Riego para la Agricultura*. Recuperado 22 de octubre de 2021, de <https://www.hannacolombia.com/blog/post/43/los-efectos-del-agua-riego-para-la-agricultura>.
- Idso, S., Jackson, R., Pinter, P., Reginato, R. y Hatfield, J. (1981). *Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability—ScienceDirect*. 24, 45-55. [https://doi.org/doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90032-7](https://doi.org/doi.org/10.1016/0002-1571(81)90032-7).
- INTAGRI. (2017). *Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa | Intagri S.C*. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>


- Jackson, R., Idso, S., Reginato, R., y Pinter, P. (1981). Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research*, 17.
<https://doi.org/10.1029/WR017i004p01133>
- Jiménez, A., Velásquez, F., y Puente, S. (2023). Sistema inteligente de prescripción de riego agrícola basado en redes de sensores y modelado de cultivos. *Visión electrónica*, 17(1).
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/18957>
- Liao, R., Zhang, S., Zhang, X., Wang, M., Wu, H., y Zhangzhong, L. (2021). Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept. *Agricultural Water Management*, 245, 106632.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106632>
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., y Olgún, A. (2015). *MANUAL DE CAPACITACIÓN RIEGO POR GOTEO - PDF Free Download*. <https://docplayer.es/32916558-Manual-de-capacitacion-riego-por-goteo.html>
- López, C. y Molano, L. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja) Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*.
http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/Manuales/09-manual-papa-criolla-2020-EBOOK.pdf
- López, R., Arteaga, R., Vázquez, M., López, I., y Sánchez, I. (2009). Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agricultura técnica en México*, 35(1), 97-111.
- Lozano, I., y Ramírez, L. (2016). How Productive is Rural Infrastructure? Evidence on Some Agricultural Crops in Colombia. En *Borradores de Economía* (N.º 948; Borradores de Economía). Banco de la República de Colombia.
<https://ideas.repec.org/p/bdr/borrec/948.html>
- Maher. (2021). *Sistema de Riego Automático: Qué es y Cómo Funciona*.
<https://www.maherelectronica.com/sistema-riego-automatico/>
- MATTA, H. (2018). *DISTRITOS DE RIESGO EN COLOMBIA: UNA NECESIDAD LATENTE – HIDRACO*. <http://www.hidraco.co/2020/01/16/distritos-de-riego-en-colombia-una-necesidad-latente/>
- Ocampo, A. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO EN LA GRANJA TARAPACÁ UBICADA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI*. 71.

- ONU. (2014). Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005 – 2015.
https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/food_security.shtml
- ONU. (2022). *Producción de cultivos | Mecanización Agrícola Sostenible | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/cropproduction/es/>
- Quezada, C., Bastias, R., Quintana, R., Arancibia, R., Solís, A., Quezada, C., Bastias, R., Quintana, R., Arancibia, R., y Solís, A. (2020). VALIDACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO DE CULTIVO (CWSI) MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRAROJA Y SU INCIDENCIA EN RENDIMIENTO Y CALIDAD EN MANZANAS «ROYAL GALA». *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 36(3), 198-207. <https://doi.org/10.29393/chjaas36-18vicq50018>
- Redagricola. (2019, enero 24). *Riego y gestión del agua: Activa y atractiva innovación*. Redagricola Chile. <https://www.redagricola.com/cl/riego-y-gestion-del-agua-xxx-xxxx-xxx/>
- Rendón, G. del C., Domínguez, J., Martínez-Rodríguez, M., Garay, Ó., y Juárez, D. (2017). Sistema Inteligente para controlar sistemas de riego en México. *Ventana Informática*, 37, Article 37. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.37.2721.2017>
- Rubio, O. (2000). *Manual para la producción de papa en las Sierras y Valles Altos del centro de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Centro.
- Salcedo, S., y Guzmán, L. (2014). *Recomendaciones de Política*. 486.
- Tabares, D., y Ruiz, J. (2016). *PROTOTIPO DE SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO PARA UN CULTIVO DE SOYA CON SUPERVISIÓN REMOTA DE HUMEDAD*. 141.
- Universidad en el Campo. (2011). *EDAFOLOGÍA 1* (1.^a ed.).
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2021). *Proyecto Educativo del Programa Mejoramiento Continuo y seguimiento de la Calidad de los Programas de Pregrado*. https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/images/recursos/pregrado/ingenieriaAgricola/PEP_I ngeniera_Agricola_2021_Actualizado.pdf

- Valverde, J. y Arias, D. (2020). Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. *Colombia Forestal*, 23(1), 20-34.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/14786/15438>
- Velandia, N. y Cuervo, L. (2014). “Diagnóstico Para La Creación De Nuevas Estrategias De Distribución Y Comercialización De La Papa Proveniente Del Municipio De Pasca” [Universidad Piloto De Colombia]. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001998.pdf>
- Vera D., Cárdenas M. y Espinosa L. (2011). *Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión para 50 ha. De cultivo de palma aceitera (elaeis guineensis) en la provincia del Guayas*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14874>
- Villegas, Y., y Sepúlveda, Y. (2019, diciembre 9). *Implementación de sensores en los sistemas de riego automatizado Implementation of sensors in automated irrigation systems*.
<https://doi.org/10.22490/ECAPMA.3417>
- Zhang, M., Li, M., Wang, W., Liu, C., y Gao, H. (2013). Temporal and spatial variability of soil moisture based on WSN. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3-4), 826-833.
<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.12.019>
- Zotarelli, L., Dukes, M., y Morgan, K. (2019). *Interpretation of Soil Moisture Content to Determine Soil Field Capacity and Avoid Over-Irrigating Sandy Soils Using Soil Moisture Sensors*. 4.

ANEXOS

Anexo A

		MINISTERIO DEL INTERIOR DIRECCIÓN NACIONAL DE DERECHO DE AUTOR UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL OFICINA DE REGISTRO		Libro - Tomo - Partida 13-84-346 Fecha Registro 06-jun.-2023
CERTIFICADO DE REGISTRO DE SOPORTE LOGICO - SOFTWARE				
Page 1 of 2				
1. DATOS DE LAS PERSONAS				
AUTOR				
Nombres y Apellidos	EDGAR ANDRES GUTIERREZ CACERES	No de identificación	1019011806	
Nacional de	COLOMBIA	CC		
Dirección	DIAG. 65B #0 ESTE -93 APTO 201 MUJ	Ciudad:	TUNJA	
AUTOR				
Nombres y Apellidos	IVÁN GUSTAVO PIRAZAN CUERVO	No de identificación	104907386	
Nacional de	COLOMBIA	CC		
Dirección	CARRERA 17# 10-33	Ciudad:	TUNJA	
AUTOR				
Nombres y Apellidos	CAMILO ERNESTO PARDO BEANY	No de identificación	718268	
Nacional de	COLOMBIA	CC		
Dirección	CRA 10 # 64B-79	Ciudad:	TUNJA	
AUTOR				
Nombres y Apellidos	JULIAN DAVID AVILA CUBIDES	No de identificación	104905070	
Nacional de	COLOMBIA	CC		
Dirección	-	Ciudad:	TUNJA	
AUTOR				
Nombres y Apellidos	JEMY ALEJANDRA BAYONA ESPITIA	No de identificación	104904855	
Nacional de	COLOMBIA	CC		
Dirección	-	Ciudad:	TUNJA	
TITULAR DERECHO PATRIMONIAL				
Razón Social	UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS	Nit	8600123576	
Dirección	KR 9 51 - 11	Ciudad:	BOGOTÁ D.C.	
PRODUCTOR				
Razón Social	UNIVERSIDAD SANTO TOMAS - SECCIONAL BUCARAMANGA	Nit	860012357-6	
Dirección	KR 18 9 - 27	Ciudad:	BUCARAMANGA	
2. DATOS DE LA OBRA				
Título Original	ALGORITMO PARA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA ACTIVACIÓN DE BOMBA DE DISPENSACIÓN DE AGUA EN UN CULTIVO			
Año de Creación	2023	País de Origen	COLOMBIA	Año Edición
CLASE DE OBRA	INEDITA			
CARACTER DE LA OBRA	OBRA ORIGINARIA			
CARACTER DE LA OBRA	OBRA EN COLABORACION			
ELEMENTOS APORTADOS DE SOPORTE LOGICO	PROGRAMA DE COMPUTADOR			
ELEMENTOS APORTADOS DE SOPORTE LOGICO	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA			
3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA				
EL SOFTWARE REALIZADO PRESENTA UN ALGORITMO QUE GENERA UNA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA LA ACTIVACIÓN DE MANERA CONTROLADA Y TEMPORIZADA DE UNA BOMBA DE DISPENSACIÓN DE AGUA EN UN CULTIVO DE PAPA ORIOLLA. EL OBJETIVO PRINCIPAL ES GENERAR UN ALGORITMO QUE PERMITA AL USUARIO TENER UN PANEL DE MANIPULACIÓN PARA GENERAR LA ACTIVACIÓN O DESACTIVACIÓN DE UNA BOMBA EN UN SISTEMA DE REGO, BIEN SEA MEDIANTE UN CONTROL MANUAL, COMO A TRAVÉS DE UNA TEMPORIZACIÓN EN LA ACTIVACIÓN DEL SISTEMA.				



MINISTERIO DEL INTERIOR
DIRECCION NACIONAL DE DERECHO DE AUTOR
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL
OFICINA DE REGISTRO

CERTIFICADO DE REGISTRO DE SOPORTE LOGICO - SOFTWARE

Libro - Tomo - Partida
13-94-346
Fecha Registro
06-jun.-2023

Page 2 of 2

4. OBSERVACIONES GENERALES DE LA ORRA

5. DATOS DEL SOLICITANTE

Nombre y Apellidos	CAMILO ERNESTO PARDO BEANY	No de Identificación	7182688
Nacionalidad	COLOMBIA	Medio Radicación	REGISTRO EN LINEA
Dirección	CRA 10 # 648-79	Ciudad	TUNJA
Correo electrónico	CAMILO.PARDO@USANTOTO.EDU.CO	Teléfono	
En representación de	EN NOMBRE PROPIO	Radicación de entrada	1-2023-03273

NATHALIE GRANADOS BERMEO
JEFE OFICINA DE REGISTRO (E)

MZP

Nota: El derecho de autor protege exclusivamente la forma mediante la cual las ideas del autor son descritos, explicadas, ilustradas o incorporadas a las obras. No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias y artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas, ni su aprovechamiento industrial o comercial (artículo 7o. de la Decisión 351 de 1993).

Anexo B



LA DIRECTORA DE LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SECCIONAL TUNJA

INFORMA QUE:

El Software **“algoritmo para interfaz gráfica de usuario para activación de bomba de dispensación de agua en un cultivo”** registrado ante la Dirección Nacional de Derecho de Autor el 06 de junio de 2023, es un producto de investigación del proyecto **“Evaluación de calidad de suelo agrícola mediante la implementación del análisis espacial multicriterio en el municipio de Siachoque Boyacá”**.

El software fue realizado por **EDGAR ANDRÉS GUTIÉRREZ CÁCERES** con cedula N° 1.019.011.806, **CAMILO ERNESTO PARDO BEAINY** con cedula N° 7.182.608, quienes participan como investigadores en el Grupo de Investigación y Desarrollo de Ingeniería en Nuevas Tecnologías (GIDINT); **IVÁN GUSTAVO PIRAZAN CUERVO** con cedula N° 1.049.607.386 quien participa como investigador en Grupo De Investigación En Ciencias Ambientales Y Naturales (GICAN), **JULIAN DAVID AVILA CUBIDES** con cedula N° 1.049.656.970 y **JEIMY ALEJANDRA BAYONA ESPITIA** con cedula N° 1.049.648.565.

Dada en Tunja – Boyacá Colombia, a los quince (15) días del mes de junio del 2023.

Cordialmente,

Heiddy Paola Quiroz Gaitán PhD
Dirección de Investigación e Innovación
Universidad Santo Tomás Seccional Tunja

DIEI.2023-060

USTATUNJA.EDU.CO

NIT: 860.012.357-6 - PBX: (60 8) 744 0404 - Tunja, Boyacá - Colombia

Campus Centro Histórica - Cl. 19 N° 11 - 84
Campus Avenida Universitaria
Edificio Fray Giordano Bruno D.P.; Av. Universitaria - Cl. 48 No. 1-235 este
Edificio Santo Domingo de Guzmán - Av. Universitaria No. 45 - 202
Santoto Store - Centro Comercial Unicentro Tunja, Local 1-106

mas
de los límites
22-25



Anexo C

