



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA**



**Sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de
parámetros ambientales en sembríos de plátano**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Sistemas e Informática

AUTOR:

Jorge Raul Navarro Cabrera

ASESOR:

Ing. Mtro. John Antony Ruíz Cueva

Tarapoto – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA

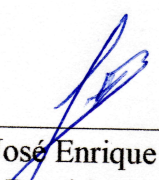


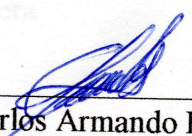
Sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano

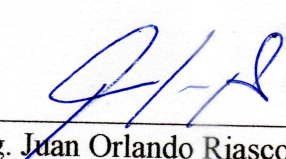
AUTOR:

Jorge Raul Navarro Cabrera

Sustentado y aprobado el 28 de diciembre del 2022 por los siguientes jurados:


Ing. M. Sc. José Enrique Celis Escudero
Presidente


Ing. Carlos Armando Ríos López
Secretario


Ing. Mg. Juan Orlando Riascos Armas
Vocal



ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

En la Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, bajo la Modalidad Virtual, en el Marco de la Emergencia Nacional por el COVID-19; a las 18:00 horas del día miércoles 28 de diciembre del año 2022 mediante ZOOM por <https://usnm-edupe.zoom.us/j>, se reunieron los **miembros del Jurado Calificador**, integrado por:

Presidente : **ING. M.Sc. JOSÉ ENRIQUE CELIS ESCUDERO**
Secretario : **ING. CARLOS ARMANDO RÍOS LÓPEZ**
Vocal : **ING. MG. JUAN ORLANDO RIASCOS ARMAS**

Para evaluar la Tesis "SISTEMA AUTOMATIZADO BASADO EN SENSORES PARA EL CONTROL DE RIEGO Y MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN SEMBRÍOS DE PLÁTANO" presentada por el Bachiller JORGE RAÚL NAVARRO CABRERA, participando en calidad de asesor el Ing. Mtro. John Antony Ruiz Cueva.

Los señores miembros del Jurado, después de haber atendido la sustentación y evaluada las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran **Aprobado**, por **Unanimidad**, con el calificativo de **Muy Bueno**, equivalente a **Diecisiete (17)**, en fe de lo cual firmamos la presente acta, siendo las 19:19 horas del mismo día, con lo que se dio por terminado el Acto de Sustentación.

.....
ING. M.Sc. JOSÉ ENRIQUE CELIS ESCUDERO
Presidente

.....
ING. CARLOS ARMANDO RÍOS LÓPEZ
Secretario

.....
ING. MG. JUAN ORLANDO RIASCOS ARMAS
Vocal

Declaración de autenticidad

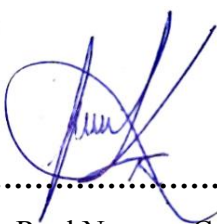
Yo, Jorge Raul Navarro Cabrera, identificado con DNI N° 71483373 de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática, autor de la tesis que lleva como título: “Sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano”

Declaro que:

El tema de tesis es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha sido copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derecho de autor.

En ese sentido, soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, son objeto de sanciones universitarios y/o legales.

Tarapoto, 28 de diciembre del 2022.



.....
Jorge Raul Navarro Cabrera

DNI N° 71483373

Dedicatoria

La presente tesis va dedicada especialmente para mis amados padres Bessy Cabrera y Carlos Navarro que, con todo su amor incondicional, lograron inculcarme buenas costumbres y principios, sobre todo a perseverar para lograr mis metas y objetivos en la vida; por otra parte, a mis hermanos Deysi y Enrique por estar en cada instancia dando ánimos, asimismo a mis abuelitos Raúl y Bessy por inspirarme con sus enseñanzas, consejos y darme la facilidad para desarrollar este proyecto, y a mi compañera incondicional mi amada Gaudy por ser un gran soporte a lo largo de mi vida universitaria.

Agradecimientos

Este trabajo es fruto de los saberes adquiridos en la vida universitaria, y no hubiera sido posible sin el esfuerzo y tiempo de quienes me tendieron una mano de apoyo para expandir mis conocimientos; un agradecimiento a mi asesor, por el apoyo y dedicación durante el desarrollo de la investigación, también agradecer a mi familia y amigos que con su compañía y apoyo fortalecieron mi persona, por último agradecer a la Universidad Nacional de San Martín y a los prestigiosos docentes de la FISI que inculcaron en mí ese compromiso de seguir desarrollando mis competencias de formación profesional durante mi instancia en sus aulas.

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Índice general	viii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Resumen	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
1.1. Antecedentes de la investigación.....	5
1.2. Bases teóricas.....	7
1.3. Definición de términos básicos.....	15
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1. Tipo y nivel de investigación.....	16
2.2. Diseño de investigación	16
2.3. Población y muestra.....	18
2.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos	19
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	23
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS.....	56

Índice de tablas

Tabla 1. Instrumentos de recolección de datos	19
Tabla 2. Escala de valores del sensor de lluvia	22
Tabla 3. Requerimientos funcionales del sistema de control y monitoreo	33
Tabla 4. Diagrama de Caso de Uso - Panel de visualización	34
Tabla 5. Diagrama de Caso de Uso - Panel de visualización	35
Tabla 6. Resumen del control y la distribución del agua en los grupos experimentales	39
Tabla 7. Control del crecimiento de la altura Grupo experimental (GE)	41
Tabla 8. Control del crecimiento de la altura Grupo de control (GC)	42
Tabla 9. Prueba de normalidad de los datos	43
Tabla 10. Prueba de T-Student para muestras independientes	44

Índice de figuras

Figura 1. Arquitectura del sistema de riego automatizado por goteros.....	10
Figura 2. Arreglos de siembra	14
Figura 3. Imagen satelital del terreno experimental	17
Figura 4. Distribución de los sembríos.....	18
Figura 5. Esquema de la base de datos del sistema	20
Figura 6. Rango de valores de humedad del sensor FC-28	21
Figura 7. Uso del sensor de nivel de agua en el sistema	23
Figura 8. Bosquejo de la distribución de los componentes del sistema de riego	24
Figura 9. Dispositivos vinculados al microcontrolador.....	25
Figura 10. Esquema eléctrico del sistema de riego automatizado.....	26
Figura 11. Fotografías del microcontrolador, componente principal del sistema	26
Figura 12. Diagrama de flujo de procesos del sistema de riego automatizado	27
Figura 13. Instalación del tanque de agua y sensor de nivel de agua.....	28
Figura 14. Instalación de la electrobomba.....	28
Figura 15. Instalación sensores FC-37 y DHT22 (AM2302)	29
Figura 16. Instalación del sensor de flujo de agua (YF-S201).....	29
Figura 17. Instalación y testeo de las válvulas solenoide.....	30
Figura 18. Instalación de la manguera de riego y goteros	30
Figura 19. Instalación del sensor de humedad de suelo (FC-28)	31
Figura 20. Red LAN del sistema de riego automatizado.....	32
Figura 21. Diagrama de caso de uso.....	34
Figura 22. Interfaz de inicio de sesión.....	35
Figura 23. Interfaz del panel de visualización del sistema.....	36
Figura 24. Interfaz del reporte general en forma tabla	37
Figura 25. Interfaz reporte forma gráfica – flujo de agua anual.....	37
Figura 26. Interfaz reporte forma gráfica – temperatura mensual.....	37

Resumen

La región San Martín es una de las principales regiones productoras de plátano en el Perú, sin embargo, los cultivos carecen de tecnificación, lo cual repercute en el uso óptimo de los recursos hídricos, es por ello, que la tecnología se ha convertido en la principal herramienta para generar métodos sistematizados que contribuyan a la adecuada gestión hídrica agrícola. El objetivo del estudio fue determinar en qué medida el uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales influye en el crecimiento de sembríos de plátano. Para ello, realizamos un estudio aplicado de enfoque cuantitativo, bajo un diseño cuasi-experimental; la población muestral estuvo conformado por 60 plantas de plátano macho (*Musa balbisiana*) divididas en dos grupos, control y experimental con 30 plantas cada uno; se evaluó el consumo y distribución del agua en los sembríos, y la influencia del sistema en el crecimiento de la altura de las plantas. Como resultado se implementó exitosamente un sistema automatizado basado en Arduino Mega y una red de sensores para el proceso de riego, además se diseñó un sistema web para el control de indicadores ambientales, consumo y frecuencia de riego en los sembríos; el sistema automatizado ahorró 53,6% de agua con respecto al grupo de control; finalmente, se obtuvo que la Sig. (bilateral) fue igual a 0,697 mayor al P-valor 0,05 mediante la prueba de T-Student, de modo que, concluimos el sistema no aportó alguna diferencia significativa con respecto al crecimiento de los sembríos de plátano, pero si contribuyó a mejorar el monitoreo de los parámetros ambientales y controlar la distribución del agua de forma adecuada.

Palabras clave: Agricultura de precisión, microcontrolador, riego inteligente, sensores, uso óptimo del agua

Abstract

The San Martin region is one of the main banana-producing regions in Peru, however, the crops lack technification, which affects the optimal use of water resources. For this reason, technology has become the main tool to generate systematized methods that contribute to the proper agricultural water management. The objective of the study was to determine to what extent the use of an automated system based on sensors for irrigation control and monitoring of environmental parameters influences the growth of banana plantations. The sample population consisted of 60 male banana plants (*Musa balbisiana*) divided into two groups, control and experimental with 30 plants each; water consumption and distribution in the plantation were evaluated, as well as the influence of the system on the height growth of the plants. As a result, an automated system based on Arduino Mega and a network of sensors for the irrigation process was successfully implemented, in addition, a web system was designed to control environmental indicators, consumption and frequency of irrigation in the fields. The automated system saved 53.6% of water with respect to the control group. Through the application of the Student's t-test, the Sig. (bilateral) was 0.697 greater than the P-value 0.05, so it was concluded that the system did not contribute any significant difference with respect to the growth of the banana plantations, but it did contribute to improve the monitoring of environmental parameters and to control the distribution of water in an adequate manner.

Keywords: precision agriculture, microcontroller, smart irrigation, sensors, optimal water use



Introducción

En el mundo la agricultura es una de las principales actividades económicas por los altos índices de producción y exportación de productos (Stojanovic, 2019), por otro lado, asegura el escenario de preservación de la seguridad alimentaria (Lesmo Duarte et al., 2018). Para Servín Palestina et al. (2017) la actividad agrícola es uno de los mayores consumidores de recursos hídricos del planeta, aproximadamente el 70% del agua consumible. Bajo ese panorama, Zinkernagel et al. (2020) mencionan que, gracias a los avances tecnológicos, surgieron técnicas y herramientas para la programación de riegos de cultivos, optimizando el uso racional del agua y contribuyendo a reducir la huella hídrica de la agricultura.

En la agricultura uno de los cultivos más producidos es el plátano (*Musa paradisiaca*) una de las frutas más populares y alimento básico de las personas especialmente en las regiones tropicales (Donato et al., 2020; Gehring et al., 2020). Las principales razones de su producción es valor nutricional rico en minerales, fibra, vitaminas y niveles bajos de grasas y azúcares (Wang et al., 2020). Según la FAO (2020) hasta el 2019 las exportaciones de plátano alcanzaron máximos históricos de 21 millones t, siendo Latinoamérica y el Caribe los principales exportadores. Vásquez et al. (2019) afirman que en el mundo existen cerca de 6 719 720 ha de cultivos de plátano y se cosechan 93 390 721 t, además señalan que para producir un kilo de plátano aproximadamente se necesita de 0,7 a 1,2 m³ de consumo agua.

En Latinoamérica el Ecuador es el exponente de exportación del plátano, con 196 673 ha de superficie plantada con producción de 317 437 040 cajas (18,14 kg caja⁻¹), generando 2,5 millones de empleos directos e indirectos, aportando el 2% del PIB nacional (Vásquez et al., 2019). En Colombia la industria platanera se utiliza como estrategia de desarrollo rural, donde la producción total de plátano asciende a 3 684 344 t (Carvajal-García et al., 2019). Según Salmoral et al. (2018) mantener las regiones agrícolas productivas implica asegurar el adecuado uso del agua desde la fuente (captación) hasta los usuarios finales (agricultores), entonces es necesario trabajar con mecanismos que ayuden a gestionar el uso del agua.

El en Perú según el ANA (2020) el sector agrario usa el 73,7% de capacidad hídrica del país, esto debido a la gran diversidad agrícola productiva existente, donde el plátano se encuentra entre los cultivos líderes (Mostacero León et al., 2017), El Instituto Nacional de Innovación

Agraria (2020) reporta que existen 160 000 ha de plátano y banano en producción donde el 70% de las áreas de cultivo se ubica en la amazonia, además informa que desde inicios de década el país se ha situado entre los principales exportadores del plátano en Sudamérica, contribuyendo en la mejora de la calidad de vida de los productores.

En la región San Martín el cultivo del plátano cuenta con 40 751 ha instaladas con producción de 285 786 toneladas (DRASAM, 2019), lo cual mantiene a la región como el principal productor de plátano del Perú, generando retribuciones económicas y desarrollo a los productores (Chujutalli Carballo & Muñoz Jiménez, 2019). Sin embargo, en el ámbito local en el distrito de Cacatachi existen productores de plátano que aplican procesos de riego manual, consumiendo m³ de agua de manera innecesaria, afectando la sostenibilidad de los recursos hídricos de la región (Li et al., 2020).

Asimismo, se identificó que no existen medición de parámetros (humedad del suelo, control de lluvias, temperatura y humedad del ambiente) para controlar el riego. González-Briones et al. (2019) mencionan la importancia de controlar los parámetros ambientales de los cultivos, ya que la recolección de información ayuda al proceso agrícola de precisión, mejorando la producción resultante. Además, Yang et al. (2020) hacen hincapié en la necesidad de controlar diferentes indicadores de los cultivos de plátano a medida que las plantaciones se expanden, de caso contrario estas se verán afectadas por patrones no controlados.

Entonces el no poseer indicadores y parámetros para efectuar el adecuado riego de las plantaciones de plátano, podría afectar el desarrollo normal del cultivo, para Stevens et al. (2020) en condiciones de sequía del suelo el plátano llega a tener déficit de agua generando alteraciones en el crecimiento de la planta, donde el estrés hídrico genera hasta un 65% de pérdida de peso del racimo y la presencia enfermedades en la planta (Panigrahi et al., 2021).

En relación con la problemática expuesta el ineficiente proceso de distribución y control del agua en los sembríos de plátano afecta el crecimiento normal de los cultivos, ya sea por falta o exceso de agua (He et al., 2020), Asimismo, el uso desmesurado afecta la sostenibilidad del recursos como también la degradación de los suelos problema común relacionado a las malas prácticas ejecutadas en los terrenos agrícolas, relacionado directamente al contenido de humedad del suelo y la capacidad de retención (Pan et al., 2020; Zubaidi et al., 2020).

Por todo lo mencionado la problemática se basa en el uso no controlado del agua que afecta los cultivos de plátano y la calidad del suelo, a todo esto, se suma que existen agricultores prefieren seguir empleando métodos tradicionales de riego, donde no se aplica la sostenibilidad del uso de los recursos, de esa manera colaborando indirectamente con los principales problemas de escasez del agua (Sudharshan et al., 2019). Es por ello, que la implantación de un sistema de riego automatizado puede resultar beneficioso, ya que promueve el ahorro de agua y la agricultura sostenible (Domínguez-Niño et al., 2020).

En cuanto a la importancia del estudio en el ámbito social, existía la necesidad de ejecutar un proyecto que sea capaz de solucionar problemas en cuanto a las necesidades del sector agrícola relacionado a las actividades de riego. Según Komal Kumar et al. (2019) la agricultura necesita infraestructuras de riego, para aumentar la producción de los distintos cultivos y ser menos dependientes de otras formas de riego alternas convencionales.

En el contexto económico, se implantó un sistema de riego automatizado usando tecnología Arduino en conjunto con una red de sensores, que permitió mejorar la distribución y control del agua en el sembrío de plátano. Divya Dhatri et al. (2019) la implantación de un sistema de riego basado en Arduino presenta bajos costos en la adquisición de materiales y la puesta en marcha del sistema, destacando la prioridad económica para mejorar el desarrollo agrícola.

En el ámbito cultural, la agricultura es la actividad de mayor práctica, donde la comunidad de agricultores relacionado al cultivo de plátano en la región San Martín representa uno de los mayores bloques de producción a nivel nacional. En tal sentido, la propuesta del sistema de riego automatizado busca cambiar los mecanismos tradicionales, transformando el modelo productivo de la región en uno competente en tema de riegos y el fortalecimiento de producción agraria.

La presente investigación fue realizada en un terreno agrícola del distrito de Cacatachi, donde el proceso de riego en los sembríos de plátano se realiza de manera manual, generando uso excesivo del agua. De tal manera, la investigación validó el contexto teórico donde Vij et al. (2020) afirman que en la actualidad los mercados se encuentran inmersos por una alta competencia y los avances tecnológicos contribuyen a un desarrollo tanto como de crecimiento y sostenibilidad. La misma que es aplicada al sector agrícola, por lo tanto, una solución

tecnológica en el campo de agrario permite que los procesos a mejorar se desarrollen de manera eficiente y los recursos empleados en este caso el agua se emplee de manera sostenible.

En el desarrollo del marco de la investigación se buscó optimizar la distribución y el control del agua en los sembríos de plátano, por lo tanto, la implementación del sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales, redujo el uso de agua innecesaria y monitoreó el proceso de riego que se realizaba de forma manual, siendo éste el principal problema que afectaba al rendimiento del plátano, donde no se suministraba de manera eficiente el agua a los sembríos. Es por ello, que este estudio contribuyó con los agricultores y productores de plátano que deseen evitar el bajo rendimiento de la productividad en los sembríos de plátano.

El objetivo general planteado fue determinar en qué medida el uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales influye en el crecimiento de sembríos de plátano. Mientras que los objetivos específicos fueron: 1) Implantar un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano; 2) Controlar y monitorear de forma automatizada el proceso de riego y los parámetros ambientales de los sembríos plátano; 3) Comparar las características físicas de los sembríos de plátano del grupo experimental con el grupo de control.

El estudio se estructura en tres capítulos principales: I) Se muestra los antecedentes de la investigación, fundamentos teóricos de las variables y definición de términos básicos; II) Se describe el tipo, nivel y diseño de la investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, y los métodos de procesamiento y análisis de datos; III) Se presentan los resultados y discusión del estudio en relación con los objetivos planteados. Finalmente, se exponen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos derivados.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

En el proceso de revisión del estado del arte se ha logrado identificar cinco antecedentes de investigación que más se asemejan al presente estudio y que sus resultados puedan ser discutidos con los hallazgos de la misma. Estos se detallan a continuación de acuerdo a su ámbito geográfico:

Internacional

En la India Panigrahi et al. (2019) en su investigación titulada “Efectos de la programación automática del riego por goteo en el rendimiento y la productividad del agua del banano” señalan que el riego por goteo automatizado utilizando sensores es una técnica de aplicación de agua inteligente que podrá ser usada en tiempo real y podría aumentar el ahorro de agua y mejorar el rendimiento de los cultivos de banana. Bajo dicha hipótesis se realizó la experimentación con cinco programas de riego por goteo automatizados comparando los resultados con el riego por goteo de manera manual. La investigación concluye que el riego por goteo basado en sensores de agua del suelo tuvo impacto significativo de rendimiento en los cultivos mejorando en un 15% la calidad de los bananos utilizando 20% menos de agua en comparación con el riego por goteo manual.

Por otra parte, Sudharshan et al. (2019) en su investigación titulada “Sistema de riego inteligente basado en energía renovable”, hablan acerca que casi el 20% de tierra en la agricultura se desperdicia debido a los problemas del agua generando esterilidad de los campos. El objetivo de la investigación fue implantar un sistema de riego inteligente. El sistema utilizó tres sensores (temperatura, humedad y humedad del suelo) y se usó la lógica difusa para operar la válvula solenoide, así como el uso del microcontrolador Arduino alimentado por un panel solar que usa LDR (Resistencia dependiente de la luz). Los resultados mostraron que la cantidad de agua usada por el método de riego inteligente representa el 51,7% del agua que emplea el método normal, de tal manera que a largo plazo el riego inteligente utiliza un 48,3% de agua menos que el método normal. Se concluye que el sistema de riego inteligente responde a las inquietudes de los sistemas de riego tradicionales, introduciendo funciones automatizadas como comprobar el

estado del suelo y la necesidad de agua que este requieren, además, la utilización del microcontrolador Arduino le da mayor versatilidad al diseño propuesto, también la propuesta representa una opción rentable.

Nacional

En el departamento de Lima, Perú. Phellan et al. (2018) en su investigación titulada “Un método de monitoreo del bulbo de plantaciones de quinua orientado a la dosificación del volumen de agua para sistemas de riego por goteo” tuvo por objetivo dosificar correctamente el volumen de agua necesario para el riego por goteo sistemas, de tal manera se mantendría el nivel óptimo en cuanto a la humedad del campo de cultivo. Para ello, utilizaron sensores uno para el seguimiento del porcentaje de humedad del suelo y otro para medir la conductividad eléctrica de este mismo. Se recalca la importancia de la calibración de los sensores para la confiabilidad de los datos mostrados. El resultado final del método propuesto fue aproximadamente 14% menos de consumo de agua. Concluyendo que el método permitió disminuir significativamente el consumo del volumen, además el método permite la focalización del riego en un área de 30 cm de diámetro, lo cual pretende ser aplicable para otros tipos de cultivos.

De la misma manera en Lima, Ascencios et al. (2020) en su investigación titulada “Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino”, hablan que existe la necesidad de ahorrar y hacer el uso eficiente del agua, donde se deben desarrollar prácticas de gestión efectiva del recurso hídrico, de tal manera realizaron la automatización de un sistema de riego usando microcontrolador Arduino y sensores, lo cual trajo consigo una solución económica, reducción en la mano de obra humana en el proceso de riego y permitió el uso eficiente de la energía, indicaron que el sistema de riego automatizado pudo ahorrar el 90% del uso de agua y energía. El estudio concluye que la validación y calibración de los sensores aplicados a la experimentación permitió el desarrollo de la automatización de forma integrada, segura y confiable para el control y monitoreo del sistema de riego.

Local

En la región San Martín, Soplín Escalante (2019) en su investigación titulada “Mejoramiento del cultivo del tomate por medio de un sistema electrónico automático (S.E.A), para el control

de riego por goteo en el distrito de Lamas”, implementó un sistema de riego en base de la tecnología Arduino con la finalidad de recolectar datos de los cultivos de tomate, logrando obtener los porcentajes de mejora y reducción de imperfecciones en el grupo experimental (cultivo de tomate con la implementación del riego automatizado por goteo), frente al grupo de cultivo regado de forma tradicional. Los resultados obtenidos se reflejaron en las características de la fruta (forma, coloración y diámetro) y la planta (cantidad de frutos, tamaño y presencia de enfermedades). Concluye que la dosificación correcta del agua contribuye con mejorar la calidad del cultivo de tomate y reducción del consumo de agua.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Sistema de riego automatizado

Sistema de riego automatizado es un mecanismo que contribuye eficazmente a la reducción de pérdida de agua, generando resultados sostenibles en cuanto a la productividad de los cultivos y el aprovechamiento óptimo del recurso hídrico (Jaiswal & Ballal, 2020), dicho sistema incluye una base de datos para analizar los valores predefinidos de la humedad del suelo y otros parámetros más para controlar la necesidad de agua en la planta (Rama Chidambaram & Upadhyaya, 2018).

En la actualidad la programación de riego adecuada genera resultados significativos en el ahorro del agua, de tal manera aporta a la agricultura sostenible, pero se debe tener en cuenta que la precisión del riego varía de acuerdo a la temperatura climática, suelo, tipo de cultivo y escenario topográfico (Domínguez-Niño et al., 2020). Los sistemas automatizados superan las limitantes que poseen los procedimientos agrícolas tradicionales y reduce los costes laborales (Mohanraj et al., 2018).

1.2.2. Tipos de riego

- **Riego por gravedad o superficial:** Se introduce agua a la plantación y se corta cuando esté completamente anegada; posee desventajas porque existe un gran desperdicio de agua y nutrientes, porque el fertilizante aplicado puede ser arrastrado a capas profundas, donde las raíces no tengan alcance. La eficacia de este tipo de riego suele bordear el 60% (Zataráin et al., 2017).

- **Riego por microaspersión y riego por goteo:** Representa el uso óptimo del agua y los fertilizantes, las variaciones de humedad del suelo son menores y mantiene la aireación del suelo en forma adecuada, de tal manera se crean mejores condiciones que favorecen al desarrollo de la planta con resultados como una floración más rápida, mayor rendimiento de la planta y aumento considerable del fruto (Ascencios et al., 2020).

1.2.3. Selección del sistema de riego

Varía de acuerdo a la disponibilidad de agua en el terreno, el clima, la topografía, la energía eléctrica, mano de obra y la suma del costo de todos los recursos. Siempre se debe considerar que el costo del sistema y la conservación del agua. Se debe prever que la cantidad de agua no sea insuficiente, de tal manera al momento del riego solamente se humedecería la parte superficial del suelo y no existiría filtración hacia las raíces de la planta, en el caso del cultivo del plátano los riegos deben ser frecuentes y abundantes (Panigrahi et al., 2019; Zataráin et al., 2017).

1.2.4. Riego automatizado por goteo

El riego por goteo es una técnica de ahorro de agua sumamente eficaz, de tal manera dicha técnica automatizada basada por sensores, se convierte en un mecanismo de aplicación de agua inteligente y en tiempo real. El riego por goteo automatizado haciendo uso de sensores obtiene resultados positivos en el rendimiento de la productividad de los cultivos de plátano (Panigrahi et al., 2019). El uso de esta tecnología es importante en los lugares remotos, además ayuda con el monitoreo continuo de la planta y reduce la mano de obra (Venugopal et al., 2019). El riego por goteo automatizado representa una de las mejores opciones para los cultivos en regiones donde se exista escasez hídrica (Panigrahi et al., 2019).

1.2.5. Ventajas del riego por goteo automatizado

El riego por goteo presenta atributos positivos, la gran mayoría presenta ventaja sobre otros sistemas de riego (Hochmuth, 2017).

- Reducción del uso de agua, ya que la aplicación se realiza cerca a la raíz de la planta.

- Este tipo de sistema de riego presenta mayor porcentaje de automatización, lo cual reduce la mano de obra agrícola, mediante este proceso se puede controlar que áreas de los sembríos están recibiendo agua, así mismo ayuda con aplicación eficiente de fertilizantes.
- No se produce erosión en el suelo ni pérdida de macro y micronutrientes de la tierra debido a la lixiviación o la escorrentía superficial.
- Uso ininterrumpido, se pueden realizar otras actividades mientras el proceso de riego está activo.
- Adaptación, este tipo de sistema posee una gran versatilidad y capacidad de adaptación a las distintas variables topográficas que se presentan.
- Reducción de enfermedades foliares, el riego por goteo aplica directamente a las raíces de la planta, y no moja al tallo o las hojas del cultivo, en tal sentido al mantener las hojas secas se reduce el desarrollo de enfermedades.
- Reducción de las malas hierbas, los problemas de malezas se reducen, ya que el riego por goteo no moja los espacios entre filas manteniéndolos secos y reduciendo la germinación de malas hierbas.

1.2.6. Componentes del sistema de riego automatizado por goteo

El sistema de riego usa tres sensores principalmente, sensor de temperatura, sensor de humedad y sensor de humedad del suelo, que llevarán la información al microcontrolador Arduino (Sudharshan et al., 2019). Los sensores respectivos se usan para controlar el nivel de humedad del suelo, la temperatura del ambiente, todos estos datos transmitidos al microcontrolador, determinan si se activa el pase de agua y la cantidad exacta según los parámetros predeterminados (Padalalu et al., 2017).

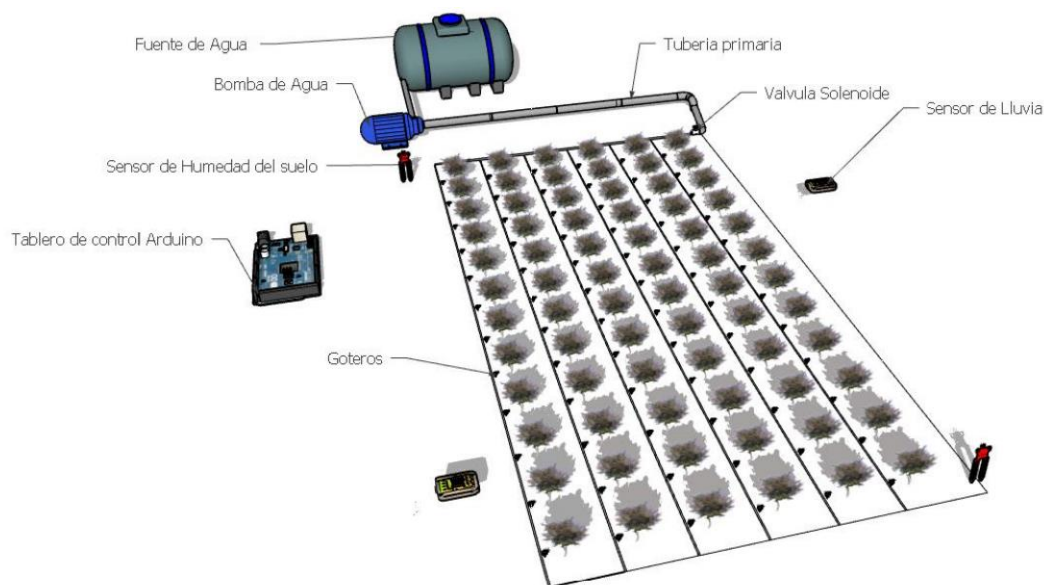


Figura 1. Arquitectura del sistema de riego automatizado por góteros

Fuente: (Escobar Manzaba & Farfán Orellana, 2018)

- **Arduino:** La tecnología Arduino es un sistema de computación con una integración directa de hardware y software para el diseño e implementación de soluciones. Este controlador es de código abierto y hardware, de tal manera está abierto al acceso y uso conjunto en el campo de la electrónica y la computación para desarrollo de sistemas. Arduino representa un sin número de funciones, por poseer diferentes tipos de placas, tales como Arduino Uno, Arduino Mega entre otros. Para la programación de las placas Arduino, se basa en el lenguaje de programación Processing, desarrollado en Java con una semántica y sintaxis parecidas a C y C++ (Vidal-Silva et al., 2019).

González & Calderón (2019) definen Arduino como un hardware de código abierto, que posee gran versatilidad y diversidad por las numerosas aplicaciones reportadas. Los ejemplos más recientes están ligados al campo de la ingeniería, las aplicaciones robóticas, la adquisición de datos, como instrumento de control agrícola, el escenario industrial y progresivamente al mundo de la cibernética. Arduino ofrece varias opciones de comunicación por medio de sus llamados escudos. Estos escudos tienen varias tareas (sensores conexión, almacenamiento de datos, controladores, etc.), sobre la conectividad, los escudos soportan los medios de comunicación inalámbricos y alámbricos. También posee la Conexión de bus serie (USB), y enlaces por cable RS232, RS485 o Ethernet. Así

mismo enlace inalámbrico, Wifi, Bluetooth, ZigBee, radiofrecuencia (RFID) y Comunicaciones móviles (GSM), etc.

- **Sensor de humedad del suelo:** El sensor de humedad se utiliza para encontrar la humedad del suelo, según los datos que toma el sensor tomara una decisión de regar o no las plantas, normalmente tiene una acción directa con la válvula solenoide del sistema de riego (Sudharshan et al., 2019). Algunos sensores poseen la función de calibración que relacionan la humedad del suelo con la permitividad aparente, esto con el fin de mejorar la precisión de la lectura de los datos, pero lo más recomendable es realizar una calibración específica del suelo (Ascencios et al., 2020).
- **Sensor de temperatura:** Conocido como sensor de temperatura LM35, tiene un valor económico en el mercado, este es un sensor de circuito integrado análogo con un voltaje de salida proporcional a la temperatura. Proporciona una señal de salida de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ para la medición de -55 a 150°C , posee una de 0.5°C . El rango de voltaje de entrada se encuentra en el intervalo de $4 - 30\text{V CC}$, así que no es necesario la conexión de circuitos adicionales Arduino. La tensión del sensor es alimentada por la salida de 5V del puerto de la placa Arduino. La señal emitida por la salida del sensor se conecta de manera directa al puerto de entrada análogo de la placa (González & Calderón, 2019).

1.2.7. Cultivo del plátano

Es una actividad de gran valor económico y social. La producción mundial representa alrededor de 107 millones de toneladas, siendo el cuarto alimento más producido a nivel mundial (Borges et al., 2019). Se produce en África, América Latina y Asia, cada uno contribuyendo 14,09%, 32,97% y 50,82%, respectivamente al total de la producción mundial, en el caso de Europa y Oceanía también contribuyen, pero con cantidades que no superan al 2% (Kumar et al., 2020).

1.2.8. Taxonomía del plátano

Según Robinson & Galán Saúco, (2012), el plátano fue clasificado originalmente por como *Musa paradisiaca* en 1753, detallando la siguiente clasificación taxonómica: reino: *Plantae*; división: *Magnoliophyta*; clase: *Liliopsida*; orden: Zingiberales; familia: *Musaceae*; género: *Musa*; especie: *paradisiaca*.

1.2.9. Botánica de la planta de plátano

- **Planta:** El plátano es una planta herbácea, perenne y tropical, el tallo verdadero llamado rizoma o corno, es un órgano de reserva subterráneo, y el tallo aparente es un pseudotallo, resultado de la unión de vainas foliares. La planta mide de 3 a 6 metros de altura (Robinson & Galán Saúco, 2012).
- **Rizoma o bulbo:** tallo subterráneo con numerosos puntos de crecimiento (meristemos) que dan origen a pseudotallos, raíces y yemas vegetativas (Robinson & Galán Saúco, 2012).
- **Sistema radicular:** Posee las raíces de forma superficial en una capa de 30-40 cm, son de color blanco y tiernas al momento de emerger, después se hacen duras, de un color amarillento. Normalmente alcanzan los 3 m de crecimiento lateral y 1,5 de profundidad, estas raíces poseen un poder de penetración débil (Robinson & Galán Saúco, 2012).
- **Tallo:** El tallo verdadero es subterráneo, además es un rizoma grande y almidonoso, que se encuentra coronado con yemas; estas alcanzan el punto máximo de desarrollo cuando la planta ha florecido. Una vez que cada chupón del rizoma alcance la madurez, la yema terminal se convierte en una inflorescencia, siendo empujada hacia arriba por el alargamiento del tallo, finalmente emergiendo arriba del pseudotallo (Robinson & Galán Saúco, 2012).
- **Hojas:** Nacen del punto central del meristemo terminal, ubicado en la parte superior del rizoma. Las hojas son grandes, de color verde y poseen una forma espiralada de 2-4 metros de largo y aproximadamente 1,5 metros de ancho, con un peciolo de 1 metro o más de longitud, el limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro. De las axilas de estas brácteas nacen las flores de la planta (Robinson & Galán Saúco, 2012).
- **Flores:** Tienen un color amarillento, poseen una forma irregular y con cinco estambres, de los cuales uno es estéril, reducido a estaminodio petaloideo. El gineceo tiene tres pistilos, con ovario ínfero. Cada conjunto de flores reunidas en cada bráctea forma una reunión de frutos llamada “mano”, que contiene de 3 a 20 frutos (Robinson & Galán Saúco, 2012).
- **Fruto:** Es una valla de forma alargada de tres o seis lados, posee un grado de encorvamiento, esto a su vez varía según la variedad, éste se forma a partir de una flor pistilada en el ovario (Robinson & Galán Saúco, 2012).

1.2.9.1. Factores ambientales

Todos los puntos a considerar en el manejo de los factores ambientales del cultivo del plátano se recopilaron de la guía buenas prácticas agrícolas (BPA) del Ministerio de Agricultura y Riego (2020).

- **Clima:** el cultivo de plátano las condiciones agroclimáticas que posee son propias de regiones tropicales y subtropicales, normalmente los cultivos se desarrollan en una altitud no mayor a los 600 m.s.n.m., pero también existen cultivos que se han adaptado a altitudes de hasta 2 300 m.s.n.m. La temperatura de 27°C en promedio es óptima para la floración de la planta, por otra parte, si las temperaturas sobrepasan los 37°C las hojas aparecen con quemaduras y existen una alta probabilidad de deformación del fruto, además si las temperaturas son inferiores a los 16°C el crecimiento de la planta es lento, y si la temperatura es menor a los 10°C la planta deja de crecer por completo, sufriendo un aborto de los frutos.
- **Suelos:** Al cultivo, le favorece la materia orgánica que está presente en los suelos profundos, debido a que las raíces no son fuertes, para ello la distribución y la profundidad alcanzada dependerá de las condiciones de texturas del suelo; la planta se desarrolla mejor en los suelos ligeramente alcalinos (pH de 6 a 7,5), pero también tolera suelos con pH de 5. Los suelos arenosos no favorecen al desarrollo del cultivo por la limitada capacidad de retención de agua y los suelos pesados dificultan el desarrollo de las raíces.
- **Agua:** La planta está constituida por un 85-90% de agua, la tasa de pérdida de esta por media de la transpiración es alta, siendo este uno de los cultivos con mayor dependencia de agua, para obtener un buen desarrollo. Generalmente se recomienda la siembra en zonas donde los niveles de precipitación estén entre 1 500 a 2 500 mm, distribuidas en todo el año y aproximadamente la necesidad de agua mensual de la planta rodea los 152 a 180 mm.
- **Volumen de agua que se debe aplicar:** Este varía dependiendo de los factores, como la capacidad de retención del suelo, los suelos arcillosos son los que tienen mayor poder de absorción, mientras que arenosos su capacidad es mucho menor. Otro factor a tener en cuenta es la profundidad hasta donde se encuentran el mayor porcentaje de raíces, por lo general en el plátano la concentración de raíces está en los primeros 20 cm de profundidad y 60 cm verticalmente, existen casos en suelos ligeros que tienen hasta 2 metros. El último factor es el momento más favorable para el riego, esto ya varía de acuerdo a la capacidad tecnológica que se pueda contar, para el control de los cultivos.

- **Riego:** El agua es uno de los factores principales, para una buena cosecha del plátano y para el desarrollo de la planta obteniendo pseudotallos de buen grosor y hojas grandes. El requerimiento anual de agua al año varia, 1 800 mm en los trópicos húmedos y 3 000 mm trópico seco.

1.2.9.2.Particularidades de la siembra

- **Selección y preparación del terreno:** Se debe considerar los requerimientos del cultivo como el tipo de suelo, clima, agua y accesibilidad al lugar de selección. Posteriormente se puede realizar un control de malezas y finalmente preparar el suelo, para efectuar el estaquillado (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020).
- **Siembra:** Según Galan et al. (2018), después de haber marcado el terreno con estacas, dependiente de la densidad de la siembra. Las dimensiones de los agujeros en el suelo son: 0,60 x 0,60 x 0,60 metros en suelos francos arcillosos y 0,40 x 0,40 x 0,40 en suelos francos. La siembra varía de acuerdo a los factores como el terreno, la pendiente y el sistema de riego.
- **Época de siembra:** El plátano tiene la ventaja de poder ser sembrado en cualquier época del año, teniendo en cuenta que exista la suficiente humedad, ya sea por medio se riego o precipitaciones pluviales (Galan et al., 2018).
- **Tipos de siembra:** Según Robinson & Galán Saúco (2012), los tipos de siembra fueron resumidos en la figura 2.

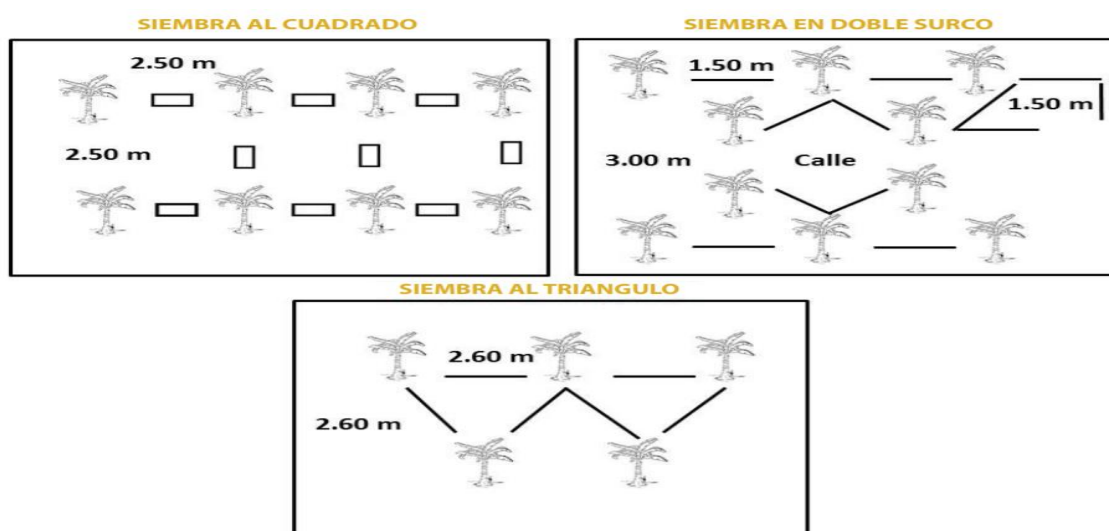


Figura 2. Arreglos de siembra

Fuente: (Robinson & Galán Saúco, 2012)

1.3. Definición de términos básicos

Agricultura: La agricultura es una de las actividades económicas más importantes del mundo, está relacionada de manera directa con técnicas de tratamiento de las tierras con el fin para producción alimentaria. Su principal misión preservar la seguridad alimentaria del planeta (Talaviya et al., 2020).

Automatización: La automatización es la utilización de las tecnologías de información y sistemas de control, para simplificar y reducir las operaciones que se realizan del trabajo humano (Alphonsus & Abdullah, 2016).

Control: Es la actividad destinada a identificar la calidad del desempeño de un proceso, con el fin de evaluar sus resultados y sus efectos. Así mismo elimina los obstáculos para lograr los objetivos planteados (Barkunan et al., 2020).

Placa Arduino: Arduino es un sistema de computación con una integración directa de hardware y software para el diseño e implementación de soluciones. Es un controlador de código abierto (Vidal-Silva et al., 2019).

Riego Automático: Es un sistema para la distribución de agua y fertilizantes a los cultivos de manera tecnificada, sistematizada y controlada, por medio del tipo de riego de elección (Martinez et al., 2019).

Riego por goteo: Es un sistema de suministro de agua utilizado en el campo de la agricultura para el riego de los cultivos, consta de tubos de plásticos colocados sobre o en el suelo sobre caminos de las hileras de los cultivos para suministrar agua y fertilizantes a las plantas durante su desarrollo (Hochmuth, 2017).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que se enfocó en emplear conocimientos básicos de la teoría de control y automatización de procesos, con la finalidad de proponer una solución del problema identificado con respecto al tipo de riego empleado en cultivos de plátano a partir del tercer mes de su siembra. El enfoque fue cuantitativo debido a los tipos de datos manipulados sobre la variable independiente, a fin de responder la hipótesis planteada (Hernández Sampieri et al., 2014).

2.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue cuasi-experimental, debido a que se operó con la variable sistema automatizado basado en sensores para ver su influencia sobre la variable dependiente el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales influye en el crecimiento de sembríos de plátano.

El diseño que se utilizara es el siguiente:

G₁-----X-----O₁

G₂-----O₂

Donde:

G₁: Grupo experimental.

G₂: Grupo de control.

X: Aplicación de variable independiente, implementación sistema automatizado basado en sensores.

O₁: Observación del grupo experimental después de la implementación del sistema automatizado basado en sensores.

O₂: Observación del grupo de control.

2.2.1. Ubicación del experimento y preparación del terreno

La investigación se realizó en el área de un terrero agrícola en el caserío de Rosanaico, distrito de Cacatachi, San Martín, Perú, ubicado a $6^{\circ}28'12.8''S$ $76^{\circ}26'28.2''W$, 295 m.s.n.m., en una zona con tierras aptas para cultivo en limpio de calidad agrológica media con limitaciones en el suelo y clima (Castillo-Díaz et al., 2021). Para la realización del experimento se emplearon 400 m² del terreno.

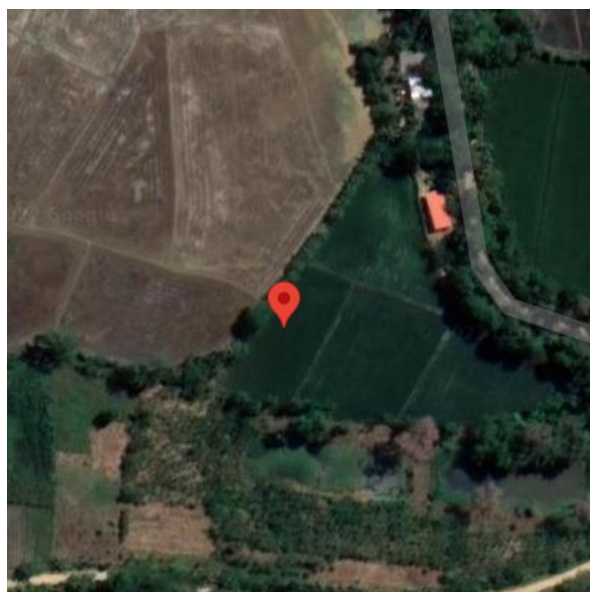


Figura 3. Imagen satelital del terreno experimental

Para la preparación del terreno se realizó la medición y el trazado del área a emplear. La distribución de los plántones en el terreno fue en dos (2) parcelas con tres (3) hileras cada una, donde cada hilera tenía 10 plántones sembrados en arreglos de 4 x 3 (recomendación de los agricultores por el tipo de trabajo realizado), la distancia de división entre parcelas fue de 8m. En la figura 4 se bosqueja la distribución de los sembríos que fue empleada en el desarrollo del estudio.

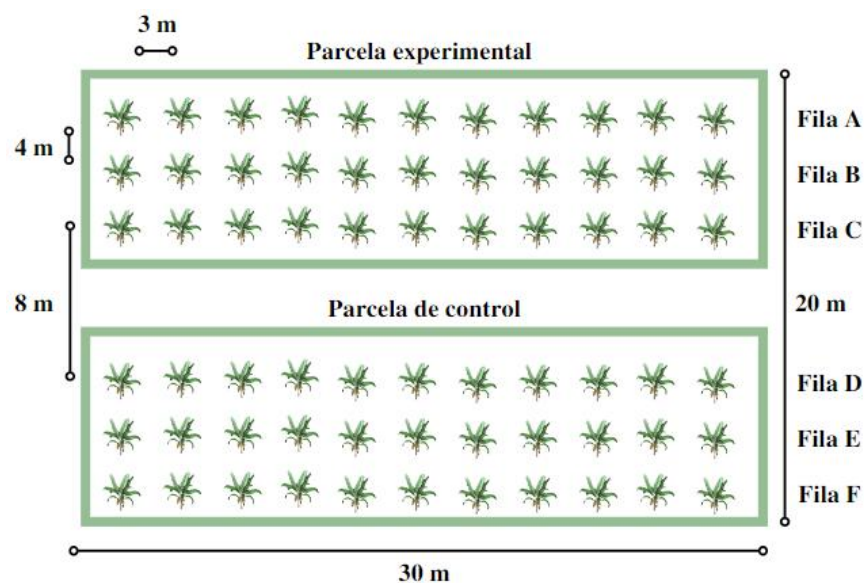


Figura 4. Distribución de los sembríos

2.3. Población y muestra

La población muestral estuvo conformada por 60 plantones de plátano macho (*Musa balbisiana*) ubicadas en dos (2) grupos: el primer grupo de 30 plantones en condiciones controladas, es decir, volumen de agua suministrada, número de veces regadas, indicadores de presencia de lluvias, temperatura del ambiente, humedad del ambiente, humedad del suelo; y el segundo grupo de 30 plantones con método de riego manual que no tendrán ningún tipo de control (excepto el volumen de agua suministrada y el número de veces regadas, las cuales fueron calculadas de forma manual, ya que estos parámetros permitieron realizar las comparaciones respectivas de estadística descriptiva e inferencial para evaluar la influencia del sistema de riego automatizado, correspondientes al objetivo 3 del estudio). Asimismo, se precisa que durante los primeros tres (3) meses desde haber realizado el plante de los cultivos de plátano, ambos grupos fueron tratados en condiciones iguales (regados, abonamiento y manejo de malezas), esto con la finalidad de asegurar lo experimentado por Martínez Varona (2013), quien afirma que los primeros (3) meses de la siembra del plátano se caracterizan por el inicio de la emisión foliar y la intensa formación de raíces, lo cual le dan mayor robustez a la planta, asegurando así el adecuado desarrollo del experimento.

2.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos

Se emplearon dos tipos de técnicas para la recolección de los datos, una fue mediante la observación directa en campo que permitió recolectar las características físicas (altura) de los sembríos de plátano, el instrumento empleado para dicho proceso fue un registro de control de crecimiento, donde se anotaron los datos de forma manual. La segunda técnica empleada para la recolección de datos fue el uso del sistema automatizado basado en sensores que utilizó como instrumento de recolección de datos la lectura de los sensores.

Tabla 1.

Instrumentos de recolección de datos

Instrumento	Función
Arduino Mega 2560	Encargado de recibir, almacenar y procesar todos los datos (señales digitales y analógicas de los sensores), así como también de emitir señales digitales a los relés para el funcionamiento de la bomba de agua y las válvulas solenoide.
Sensor de flujo de agua 1/2" (YF-S201)	Función de medir el flujo del agua que pasa por la tubería, mediante pulsos digitales, expresados en litros/hora en el sistema.
Sensor de lluvia y nieve (FC-37)	Función de detectar la presencia de lluvia, bajo el principio de variación de conductividad/resistencia.
Sensor de humedad de suelo (FC-28)	Función de monitorear el nivel de humedad del suelo, basado en la resistencia entre dos electrodos que hacen contacto con el suelo.
Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)	Función de monitorear la temperatura y humedad relativa en un rango de -40 °C a 80 °C con una precisión de ± 0.5 °C.
Sensor de nivel de agua	Función de detectar el nivel de agua tope del llenado del tanque de almacenamiento, posee un área de detección: 40 x 16 mm.
Shield Ethernet	Encargado de realizar la comunicación LAN de los dispositivos para el funcionamiento del sistema.

En cuanto a las especificaciones técnicas para el caso del microcontrolador Arduino Mega 2560 funcionaba con un voltaje de alimentación de 12V y uno de operación de 5V. Para el caso de los sensores todos trabajaron con 5V de alimentación, la diferencia fue que los sensores YF-S201 y AM2302 trabajaron con los pines digitales del Arduino, y los sensores FC-37, FC-28 y el sensor de nivel de agua trabajaron con los pines analógicos. Además, se trabajó con válvulas solenoide de 1/2" con alimentación de 12V, para controlar el paso del flujo del agua en las tuberías. También se empleó una bomba de agua de 1/2" con alimentación de 12V, potencia de 19W para succionar una columna de agua máxima de 5m y caudal máximo de 800L/h, estos dos últimos instrumentos se conectaban al Arduino por medio de relés de 5V que hacían

conexión con los pines digitales. El Shield Ethernet funcionó con un voltaje de operación de 5V.

Asimismo, para el almacenamiento de los datos recolectados se empleó el sistema de gestión de bases de datos MariaDB, el cual estuvo incorporado al paquete de software libre XAMPP empleado para el desarrollo web del sistema. Para la visualización del esquema de la base de datos se ejecutó la herramienta visual de MySQL Workbench 8.0 CE.

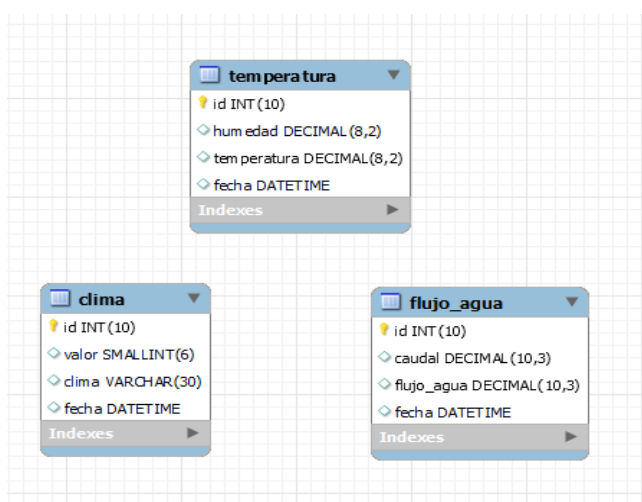


Figura 5. Esquema de la base de datos del sistema

2.4.1. Calibración y validación de los sensores

Antes de realizar las instalaciones de los componentes del sistema de riego automatizado se tuvo que calibrar los sensores de flujo de agua 1/2" (YF-S201) y de humedad de suelo (FC-28) a fin de obtener los datos más exactos posibles para el desarrollo de la investigación. Para el caso de los sensores de lluvia y nieve (FC-37) y nivel de agua se realizó el proceso de validación, para corroborar la funcionalidad de los parámetros que ya tienen establecidos de fábrica y no necesitan algún tipo de calibración, solo se verificó su funcionalidad.

2.4.1.1. Proceso de calibración del sensor de flujo de agua 1/2" (YF-S201)

Para realizar la conexión del sensor en el Arduino, se tuvo en cuenta que la conexión se realice en el pin digital 2, ya que este pin posee la capacidad de interrupción externa, la cual sirve para detectar el estado lógico o cambio de estado en las terminales de entrada del microcontrolador Arduino Mega 2560.

El proceso de calibración del sensor buscó obtener el valor del “factor_conversion” que sirvió para convertir la frecuencia de los pulsos que emite el sensor a caudal, para obtener el valor se empleó la siguiente formula:

$$K = \frac{n^{\circ}Pulsos}{Volumen * 60}$$

Donde K es el “factor_conversion”, $n^{\circ}Pulsos$ son las pulsaciones realizadas por el sensor que representan el volumen de agua que pasan por el mismo. Para la calibración se realizó la prueba ocho (8) veces, con tres (3) diferentes volúmenes de agua expresados en litros, obteniendo finalmente el promedio final del “factor_conversion” = 9,125, el cual fue utilizado para el desarrollo del trabajo (insertado en el código final programa).

2.4.1.2. Proceso de calibración del sensor de humedad de suelo (FC-28)

Se realizó el mapeo del rango de humedad del sensor para definir el valor de humedad óptimo del suelo, el cual se tenía que emplear en el código del sistema, para ello, se tuvo en cuenta el intervalo de valores del sensor que se muestran en la figura 6.

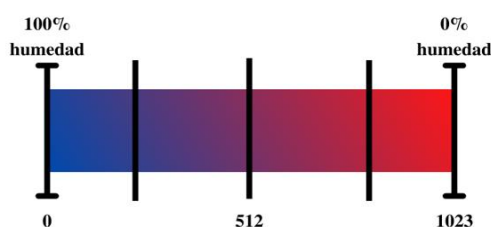


Figura 6. Rango de valores de humedad del sensor FC-28

Para considerar el valor de humedad apropiado se realizaron pruebas con diferentes valores cercanos al punto medio mostrado en la figura 6. En las pruebas se tuvo en cuenta el nivel de retención de agua del suelo del terreno, con la finalidad que una vez realizado el proceso de riego, los valores de humedad del suelo se mantengan óptimos por un periodo prolongado de tiempo. Finalmente, el valor resultante de las pruebas fue 400, el cual fue añadido al código final del sistema.

2.4.1.3. Validación sensor de lluvia y nieve (FC-37) y nivel de agua

Para el caso del sensor de lluvia y nieve (FC-37), se tuvo en cuenta que la salida analógica del sensor que muestra 5V (valor 1023 en consola) si no hay presencia de lluvia y cuando el valor se reduce existe la posibilidad de que haya presencia de lluvias hasta el valor mínimo que es 0V (valor 0 en consola), entonces 5V = No hay presencia de lluvia y 0V = lluvias muy intensadas. Para obtener el parámetro apropiado para el estudio se realizó una escala entre el valor del voltaje y el valor mostrado en la consola los cuales guardan relación entre sí. Para ello, 1023 se dividió entre 5 dando como resultado 204,6 que es el valor de cada voltio en la consola del programa de Arduino, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 2.

Escala de valores del sensor de lluvia

Voltaje	Valor consola	Escala de lluvia
0V	$X = 0$	torrencial
1V	$X \leq 204,6$	muy fuerte
2V	$X \leq 409,2$	fuerte
3V	$X \leq 613,8$	moderada
4V	$X \leq 818,4$	débil
5V	$X = 1023$	sin lluvia

X= variable valor_lluvia

De lo cual e 1 023 se dividió entre cuatro para sacar el valor de la cuarta parte de la escala, dando como resultado 255,75 valor que fue restado con 1 023 dando igual 767,25 que se optó por redondear a 700 como punto medio ubicado entre la escala de lluvia débil y moderada, para formar parte del código del sistema. Finalmente, aplicando regla de tres simple el valor de 700 de consola equivale a una señal analógica de 3,42V que detecta la presencia de lluvia para el sistema.

Para el caso del sensor del nivel del agua se aplicó la misma lógica ya que en consola de tiene el rango de los valores que van desde 0 = sin presencia de agua a valores > 0 y $< 1 023$ que representan la presencia de agua, para el caso del estudio la variable nivel_agua que se le asignó el valor < 300 , donde si es no la bomba de agua se encuentra apagada o se apaga, y si es si la bomba se enciende o se mantienen encendida hasta cumplir la condición, que representaría el tanque de agua lleno. El valor de la variable asignada al sensor guarda relación con el contacto del agua el pin del sensor como se representa en la figura 7.

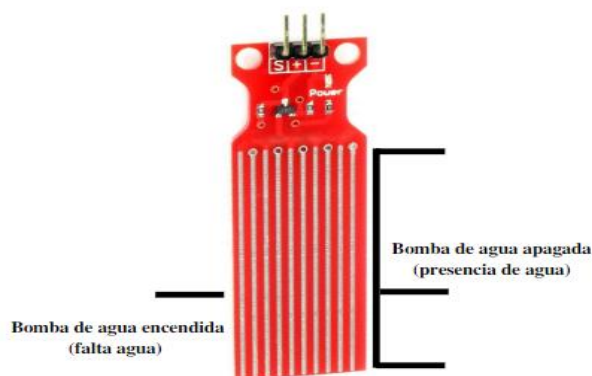


Figura 7. Uso del sensor de nivel de agua en el sistema

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos resultantes de la lectura de los sensores fueron procesados y transformados en reportes gráficos, para tener una interfaz de análisis que permita el control de los indicadores ambientales del cultivo, asimismo, gracias a la funcionalidad del sistema la información podía ser exportada a un archivo tipo Excel (.xlsx) para su mejor manejo y ordenamiento.

Para el caso de la prueba de hipótesis, se recolectaron datos de la altura de planta de forma manual de ambos grupos, posteriormente los datos fueron tabulados y se empleó el software estadístico SPSS 26.0, para aplicar la estadística descriptiva e inferencial (prueba T de Student), finalmente respondiendo la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio guardan relación con los objetivos específicos planteados. Estos fueron analizados, comparados e interpretados para dar respuesta al problema de la investigación.

3.1. Implantar un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano

Una vez determinado el tipo de microcontrolador, sensores y módulo de comunicación a emplearse en el proceso de implantación del sistema de riego automatizado, primero se realizó el bosquejo de la distribución de los componentes del sistema en la parcela del grupo experimental.

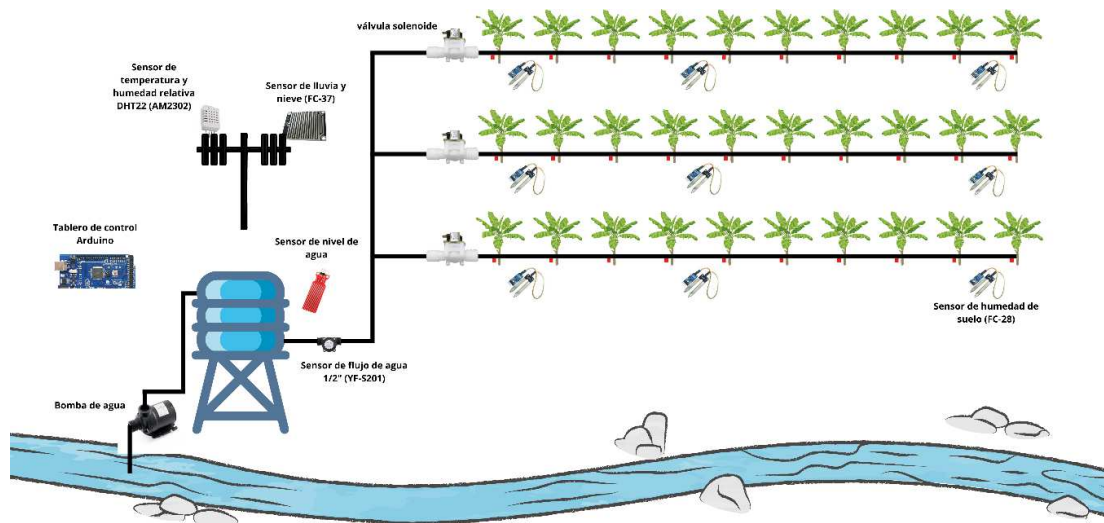


Figura 8. Bosquejo de la distribución de los componentes del sistema de riego

Ejecutada la distribución se realizó el diagramado de los dispositivos vinculados al microcontrolador (Figura 9). Como base para el diseño de la figura 9, se tuvo en cuenta el estudio de Ascencios et al. (2020) quienes diseñaron el gráfico de componentes enlazados al microcontrolador Arduino con la finalidad de calibrar, validar y automatizar un sistema de riego por goteo subterráneo.

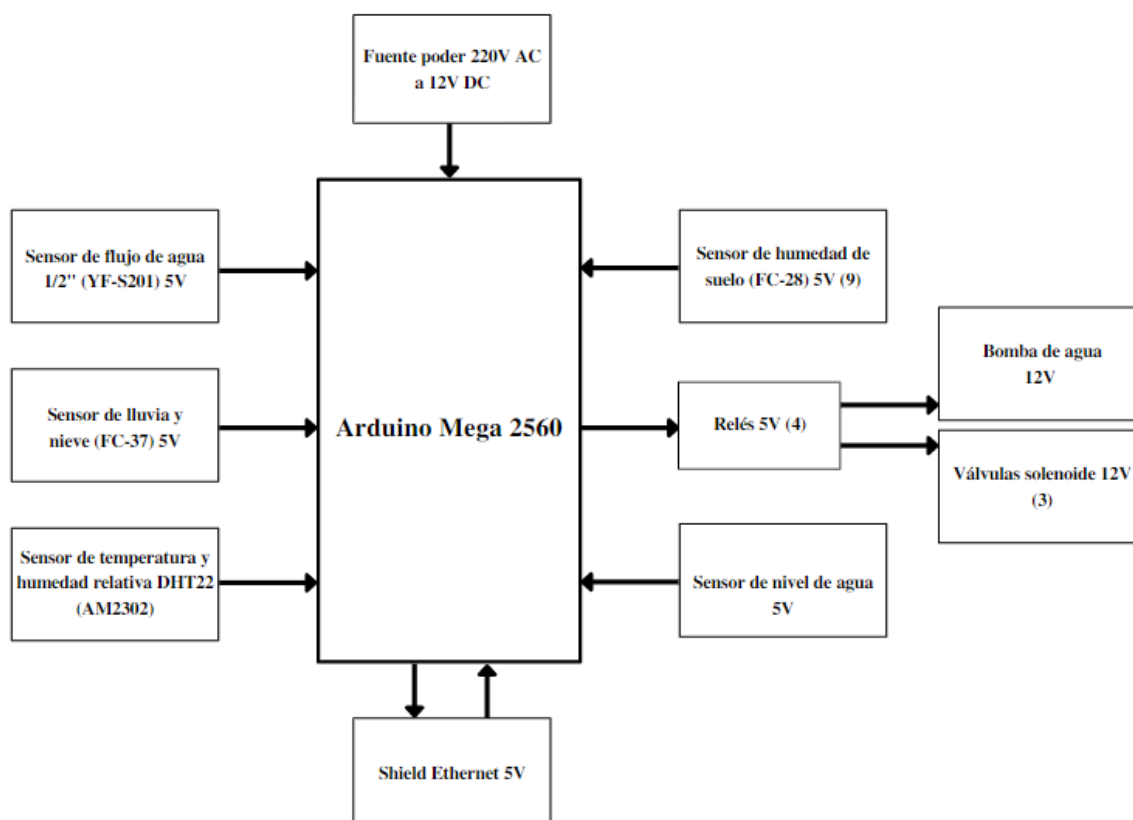


Figura 9. Dispositivos vinculados al microcontrolador

Posteriormente, se realizó el esquema eléctrico del sistema de riego automatizado, el diseño fue desarrollado en el software *Fritzing*, el cual fue elegido por la facilidad de poder construir y/o simular prototipos de sistemas electrónicos o informáticos, además el software tuvo la capacidad de poder importar series de librerías con distintos dispositivos electrónicos que se ajustaron a los requerimientos del estudio. Los dispositivos empleados en el esquema electrónico de la figura 10 se encuentran detallados según sus características principales en la tabla 1 y el esquema de vinculación de la figura 9.

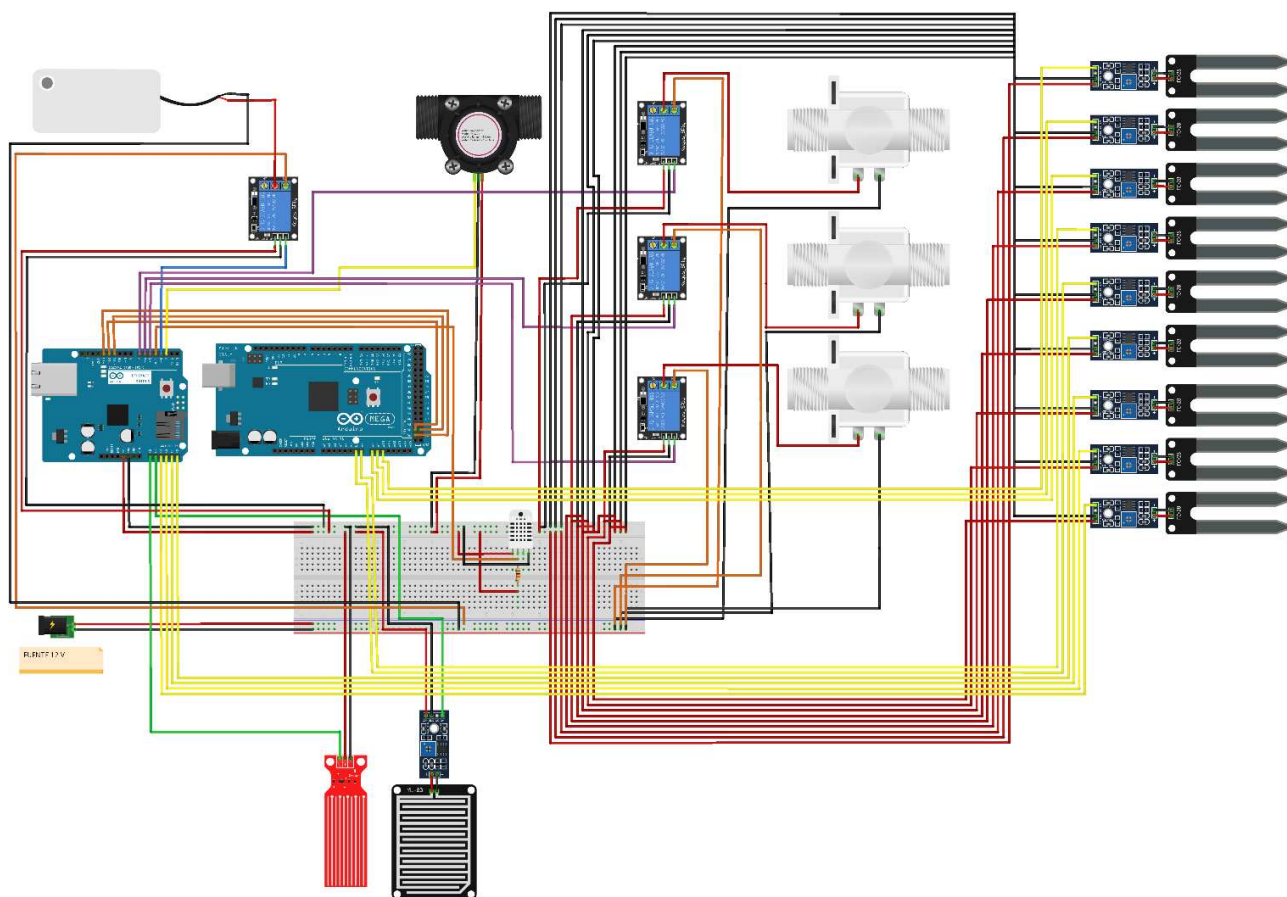


Figura 10. Esquema eléctrico del sistema de riego automatizado

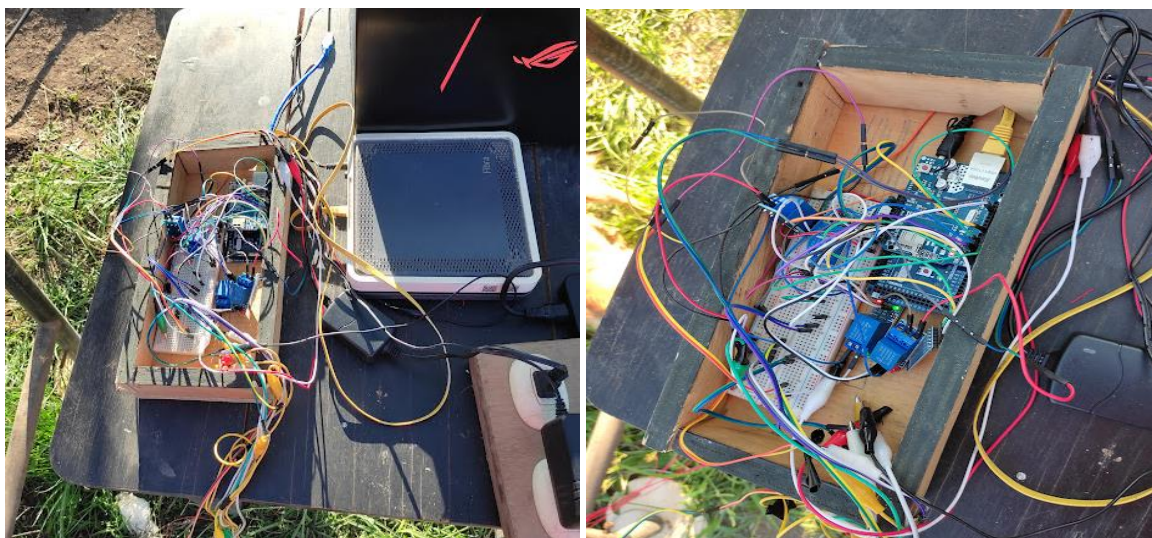


Figura 11. Fotografías del microcontrolador, componente principal del sistema

Una vez definido la distribución, vinculación y esquematización electrónica de los dispositivos del sistema de riego automatizado, se procedió a realizar el diagrama de flujo de procesos del sistema (figura 12), esto permitió tener claro cuáles fueron las variables de entrada y salida de información por medio de señales digitales o analógicas de los sensores, para finalmente efectuar la programación del sistema en base a las reglas establecidas en el flujograma. Cabe mencionar que los parámetros establecidos como condiciones dentro del proceso son producto de la calibración y validación de los sensores, proceso mencionado en la sección de materiales y métodos.

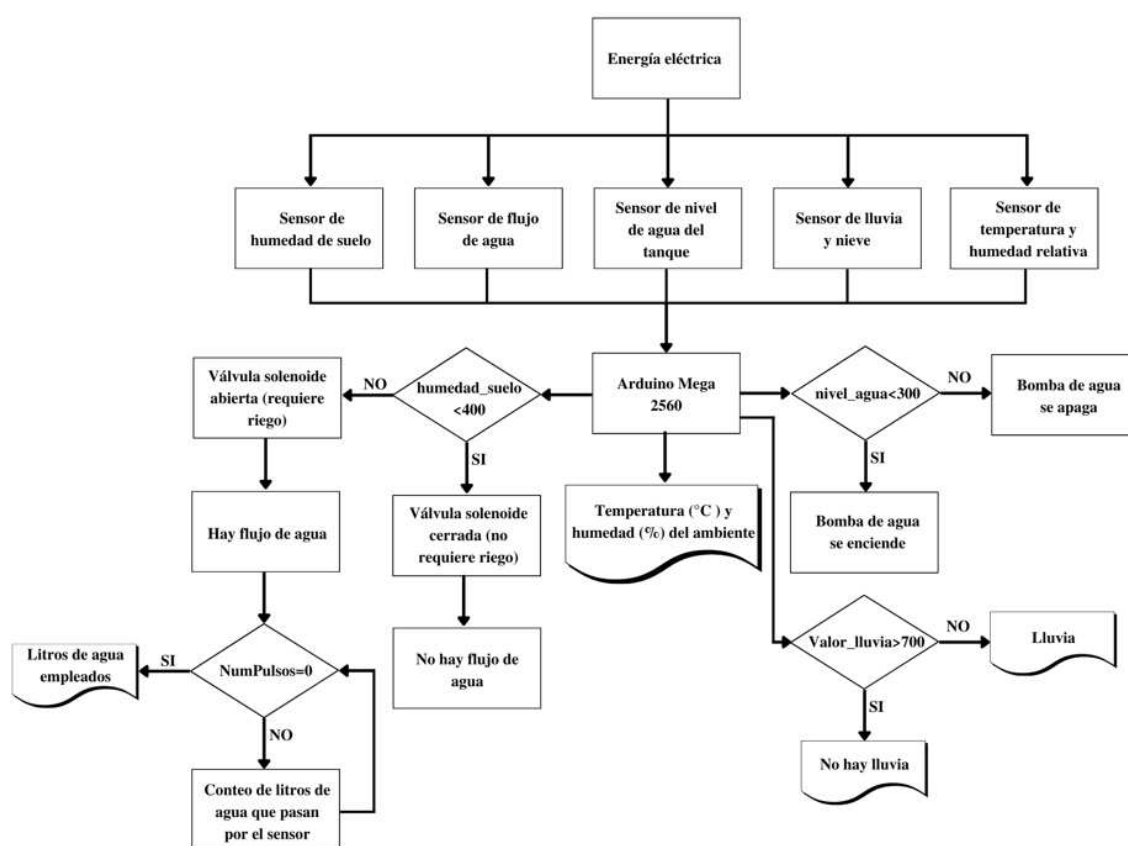


Figura 12. Diagrama de flujo de procesos del sistema de riego automatizado

Ya lista la parte lógica del sistema de riego automatizado, se procedió a realizar el ensamblado de todo el sistema basado en la distribución de los componentes de la figura 8. Primero se inició con la instalación del tanque de agua, para ello, se preparó una estructura metálica con soporte de madera con altura de 1,10 m, largo de 2 m y ancho de 1 m, finalmente colocando el tanque de agua de 600 L con altura de 1,12 m, largo de 0,97 m y peso de 10 kg en la parte superior de

la estructura. Una vez instalado el tanque se procedió a realizar el cableado para la conexión del sensor de nivel de agua.



Figura 13. Instalación del tanque de agua y sensor de nivel de agua

Posterior se realizó la instalación de la tubería que hizo conexión con la bomba de agua de 1/2" con potencia de 19W. Considerando que la altura del tanque sumada la altura de la estructura dio 2,22 m, sumados los 0,5 m de profundidad del canal de riego donde estaría la bomba para la toma de agua, donde no hubo ningún tipo de inconveniente con respecto a la capacidad de succión de la bomba (5 m máximo). Asimismo, se tuvo en cuenta que la electrobomba era sumergible, y fue asegurada para evitar que la fuerza de la corriente la arrastre. Por otra parte, también se realizaron pruebas del llenado del tanque con una bomba de agua de 1,5 HP de 220 V y capacidad de succión de 40-150 L/min, pero sin conexión al microcontrolador



Figura 14. Instalación de la electrobomba

Completada la instalación para la toma de agua, se procedió a instalar sensor de lluvia y nieve (FC-37) y el sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302), los cuales fueron sujetos en una vara de 2 m para la toma de datos del ambiente (presencia de lluvias, temperatura y humedad del ambiente).



Figura 15. Instalación sensores FC-37 y DHT22 (AM2302)

Después se prosiguió a instalar el sensor de flujo de agua 1/2" (YF-S201) el cual fue instalado a la salida de agua del tanque, pero primero se corroboró que la presión del agua sea la suficiente para que pueda alimentar toda la tubería del sistema de riego, se aprovechó la altura del tanque y estructura, para la caída por gravedad para el aumento de la presión de salida del flujo de agua.



Figura 16. Instalación del sensor de flujo de agua (YF-S201)

Una vez instalado el sensor de flujo del agua, se instalaron tres (3) válvulas solenoide correspondiente a cada línea de la parcela del grupo experimental, esto en conjunto con las

tuberías. Asimismo, para verificar el correcto flujo de corriente 12V necesarios para el adecuado funcionamiento de las válvulas se realizó el testeo con multímetro a las conexiones.



Figura 17. Instalación y testeo de las válvulas solenoide

Como último procedimiento de la instalación de las tuberías, por cada línea se extendió una manguera de polietileno de 1/2" las cuales fueron sostenidas por estacas de plástico, y por cada planta de plátano se insertó un gotero. Se consideró que la distancia entre el gotero y el pseudotallo de la planta sea a una distancia de 20 cm de radio.



Figura 18. Instalación de la manguera de riego y goteros

Finalmente se instalaron nueve (9) sensores de humedad de suelo (FC-28) ubicados en la parte inicial, media y final de cada línea de la parcela experimental (figura 8). Los sensores fueron instalados a 10 cm de distancia del radio del pseudotallo de la planta plátano, insertados en el

suelo al lado contrario por donde el gotero irrigaba el agua, con la finalidad de que la mayor parte posible del radio de la planta se riegue y penetre lo suficiente para mantener el estado de humedad del suelo óptimo, como también reducir la presencia de maleza.



Figura 19. Instalación del sensor de humedad de suelo (FC-28)

La construcción del sistema de riego automatizado usando tecnología Arduino para el control de la distribución del agua en sembríos de plátano en un terreno agrícola del distrito de Cacatachi, se asemeja al estudio de Karpagam et al. (2020) quienes desarrollaron un sistema basado en el uso de un microcontrolador para regar las plantas automáticamente, para ello, emplearon un microcontrolador Arduino UNO, sensor de nivel de agua, sensor de temperatura y humedad del ambiente, sensor humedad del suelo, bomba de agua y módulo GSM (módulo de comunicación serial). El funcionamiento del sistema posee la lógica parecida al presente estudio, donde los sensores emiten señales analógicas y digitales que son enviadas al microcontrolador y según los parámetros establecidos el motor de la bomba de agua se enciende para realizar el proceso de riego.

Asimismo, los resultados guardan relación con lo logrado en el estudio de Jain et al. (2017) quienes presentaron un esquema de riego optimizado, que emplea el control automático para realizar actividades de riego, donde el nivel de riego depende de la humedad del suelo y las especificaciones del tipo de cultivo a regar. Básicamente el riego funciona en base a las señales emitidas por el sensor de humedad del suelo y el nivel de humedad de la temperatura atmosférica que hacen conexión con el microcontrolador Arduino y activan la bomba de agua.

Entonces en base a las semejanzas encontradas con otros estudios se coincide con lo afirmado por Berrú-Ayala et al. (2020) que mencionan, la construcción de sistemas de riego automatizados, guarda relación con la agricultura de precisión y la aplicación del conjunto de tecnologías emergentes para el manejo óptimo de los parámetros del suelo y la mejora de la productividad en cultivos como el plátano. Es necesario destacar que las nuevas técnicas de riego que aplican el uso del componente tecnológico recopilan con mayor facilidad los parámetros ambientales de los cultivos en tiempo real y de manera eficiente, en base a ello, surgen los requerimientos de riego, además sobre todo estos tipos de sistemas representan soluciones de bajo costo y son escalables según los requerimientos.

3.2. Controlar y monitorear de forma automatizada el proceso de riego y los parámetros ambientales de los sembríos plátano

Para el cumplimiento del objetivo número 2, controlar y monitorear el proceso de riego automatizado del sembrío de plátano se trabajó en una red a nivel LAN, donde la recopilación de datos inicia a través de los sensores colocados en la parcela del grupo experimental los cuales emiten señales para el accionar de los componentes del sistema y el microcontrolador Arduino Mega 2560 se encarga de imprimir las variables (volumen de agua suministrada (L), número de veces que se efectuó el riego, temperatura ambiente (C°), humedad del ambiente (%), presencia de lluvias), las cuales por medio del Shield Ethernet conectado al Arduino son transmitidos a un modem que se encarga de mostrar los registros en tiempo real y almacenarlos en una base de datos, para ser disponibilizado a los usuarios en un sistema web.

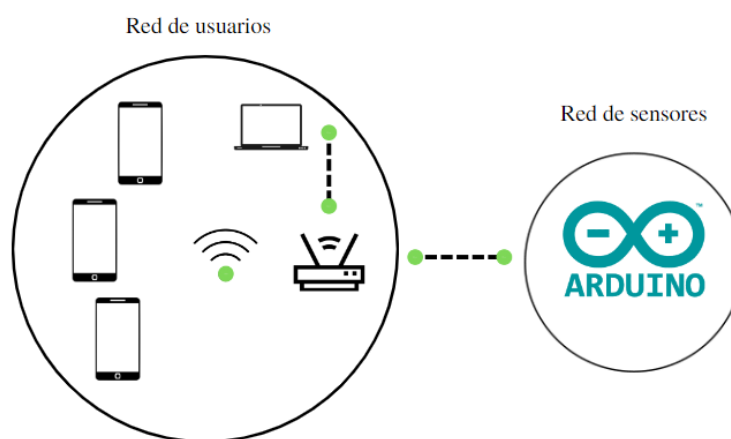


Figura 20. Red LAN del sistema de riego automatizado

3.2.1. Implementación de un sistema web para controlar y monitorear el proceso de riego en los sembríos plátano

Para realizar el desarrollo de la implementación del sistema web primero se seleccionó la metodología ágil de desarrollo de proyectos de software *Extreme Programming (XP)*, la cual se acomodó de forma práctica a los requerimientos del proyecto, aprovechando sus principios de simplicidad, comunicación y retroalimentación constante.

En base a lo mencionado las etapas de construcción del sistema fueron las siguientes:

3.2.1.1. Etapa 1: Análisis de requerimientos

En esta etapa se realizó la comunicación directa y continua con el usuario, para obtener información sobre los principales requerimientos que posee y en base a ello, se planificó las funcionalidades del sistema.

- **Levantamiento de requerimientos:** Los principales requerimientos que tenía cumplir el sistema era almacenar y mostrar los datos recopilados por medio del microcontrolador basado en la lectura de los sensores, con la finalidad de tener un control a través de una interfaz gráfica de un panel de control que permita la visualización de la información en tiempo real, además permita la impresión de reportes.
- **Requerimientos funcionales:** Los requerimientos funcionales del sistema web fueron los siguientes mostrados en la tabla 3.

Tabla 3.

Requerimientos funcionales del sistema de control y monitoreo

Nº	Requerimiento
1	El sistema tiene que ser dinámico y entendible de forma rápida, para el acceso al sistema deben haber un interfaz de inicio de sesión para los usuarios.
2	El sistema debe tener un panel gráfico que muestre las principales variables de control como el volumen de agua empleado, la frecuencia de riego, la temperatura, la humedad.
3	El sistema debe tener un módulo de reportes, donde se pueda mostrar los registros de forma diaria, mensual y anual, además se deben generar gráficos de los reportes.

- **Actores del sistema.** Por tratarse de estudio realizado a mediana escala solo se identificó un solo actor del sistema.
- Encargado del terreno agrícola, tiene la función de controlar y monitorear la información brindada por los sensores, además visualiza e imprime los reportes del sistema.

3.2.1.2. Etapa 2: Diseño del sistema

Para el diseño de un sistema web entendible que cumpla todas las funcionalidades solicitadas, se realizó un diseño práctico que permita mostrar la información principal que emitían los sensores y que permita la disponibilidad de los reportes.

- **Desarrollo lógico del negocio.** El sistema de control y monitoreo del proceso de riego automatizado.
 - Módulo de control y monitoreo, el sistema de sensores se conecta con el software web a través de la red LAN, y envían los datos que imprime el sistema, esto permite visualizar los recursos empleados y tener mejor control de los parámetros.
 - Módulo de reportes, donde se almacena la información del sistema de riego y esta puede exportarse al formato Excel (.xls), asimismo tener las funciones de generar gráficos para una mejor visualización.
- **Arquitectura física del sistema web.** El sistema se desarrolló en una red LAN mostrada en la figura 20 y trabajo con la base de datos MariaDB.
- **Casos de uso del sistema.** Los casos de uso representan la funcionalidad del sistema web, en la figura 21 se muestra el caso de uso registrado para el desarrollo del sistema.

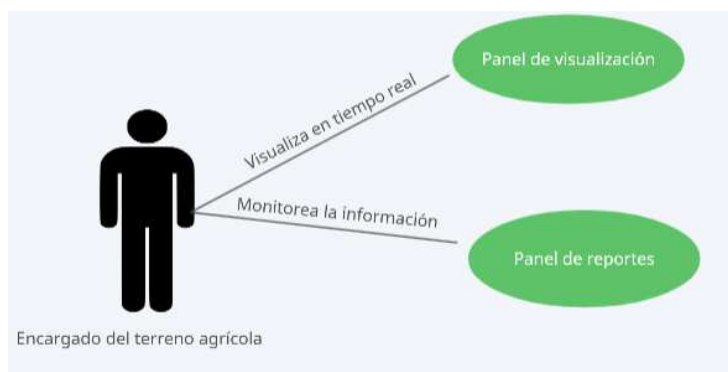


Figura 21. Diagrama de caso de uso

Tabla 4.

Diagrama de Caso de Uso - Panel de visualización

Caso de Uso: Panel de visualización

Actor: Encargado del terreno agrícola

Pre-condición: Es necesario que los sensores impriman información.

Descripción: El encargado del terreno agrícola podrá visualizar toda la información solicitada en el panel de visualización en tiempo real, lo que le permitirá tener control del monitoreo del sistema.

Escenario principal:
Monitoreo del proceso de riego
- El actor visualiza en tiempo real las variables impresas por el sistema de riego automatizado
Término caso de uso.

Frecuencia de uso del sistema: El actor ingresa al sistema cuando lo requiera.

Tabla 5. Diagrama de Caso de Uso - Panel de visualización

Caso de Uso: Módulo reportes

Actor: Encargado del terreno agrícola

Pre-condición: Para la generación de reportes es necesario que la base de datos del sistema guarde la información emitida por los sensores

Descripción: El encargado del terreno agrícola podrá generar reportes del proceso de riego, principalmente del consumo de agua y los parámetros ambientales registrados.

Escenario principal:
Monitoreo del proceso de riego
- El actor ingresa al módulo de reportes, selecciona el tipo de reporte que desea, este puede ser generado en tablas que tiene la opción de importar en formato de Excel (.xls) o también puede generar reportes gráficos que pueden ser importado como imagen.

Frecuencia de uso del sistema: El actor ingresa al sistema cuando lo requiera.

- **Modelo de datos.** El modelo de datos aplicado en el sistema se muestra en la figura 5 y contiene tres tablas que no se encuentran relacionadas, la función básica es almacenar los datos emitidos por los sensores seleccionados.

3.2.1.3. Etapa 3: Codificación del sistema

- Interfaz N°1 “Inicio de sesión”: Para el ingreso al sistema.



Figura 22. Interfaz de inicio de sesión

- Interfaz N°2 “Panel de visualización”: En el panel se muestra en tiempo real la información que brinda el sistema de riego, dicha información para los datos de volumen de agua suministrada y veces de riego es el acumulado del día, esta información se reinicia una vez culminado el día.



Figura 23. Interfaz del panel de visualización del sistema

- Interfaz N°3 “Módulo reportes”: Donde se visualizan los reportes en forma de tablas y gráficas, según el requerimiento del usuario, se pueden mostrar tres distintos tipos de reportes:
 - 1- Reporte de volumen de agua: se muestra en litros (L) el volumen de agua consumido y el número de veces que se realizó el riego, así como el caudal registrado por el sensor, la información puede ser seleccionada por día, mes y año.
 - 2- Reporte de temperatura: muestra la información de la temperatura y humedad registrada, solo para el reporte de forma anual se muestran las temperaturas y humedad relativa del ambiente mayores registradas.
 - 3- Reporte general: contiene información de los litros (L) de agua empleados, las veces que se realizó el riego, la temperatura y las lluvias que se registraron, este tipo de reporte solo está disponible en forma de tabla.

Todos los reportes pueden ser exportados en formato Excel (.xls) y para los que tienen la opción gráfica, puede ser exportado en formato imagen.

Navegación Principal

- Inicio

Reportes

- Generar Reporte
- Salir

← Atras Tabla Resumen Flujo de Agua

Reporte de Flujo de Agua del Año 2022
Reporte de riego del Año 2022

Buscar en todas las columnas:

Nº	Mes	Flujo de Agua	Veces Regadas	Temperatura	Lluvia
1	Abril	577.424 Litros	8 veces	27.90 °C	1 veces
2	Mayo	5378.857 Litros	112 veces	31.80 °C	7 veces
3	Junio	5380.460 Litros	98 veces	31.70 °C	7 veces
4	Julio	732.182 Litros	9 veces	31.60 °C	0 veces

Showing 1 to 4 of 4 entries

© 2022 - Proyecto Arduino

Figura 24. Interfaz del reporte general en forma tabla



Figura 25. Interfaz reporte forma gráfica – flujo de agua anual

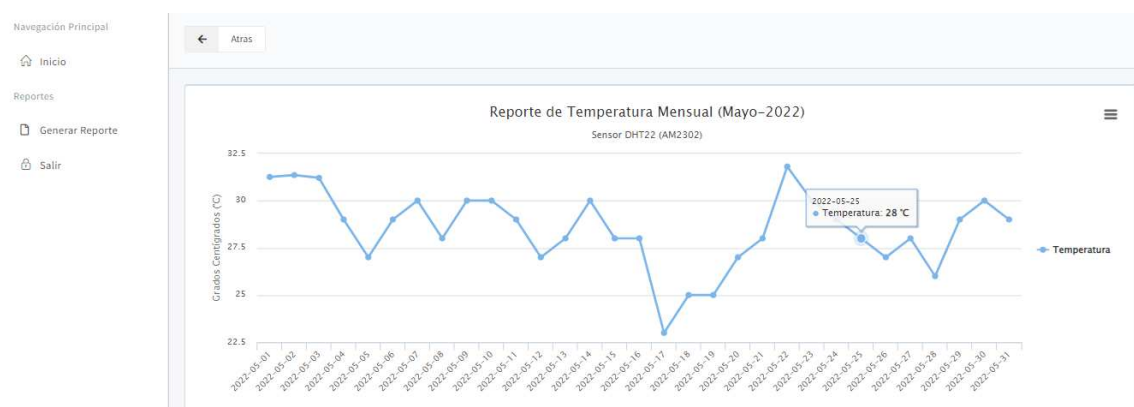


Figura 26. Interfaz reporte forma gráfica – temperatura mensual

3.2.1.4. Etapa 4: Pruebas

Se realizaron pruebas para comprobar la funcionalidad del sistema, esto en conjunto con el usuario del sistema. Finalmente se corroboró el correcto funcionamiento del sistema con la aplicación del Test de valoración del sistema de control y monitoreo web, que fue aplicado a dos (2) agricultores encargados de los cultivos, donde las respuestas de los dos cuestionarios fueron “cumplió óptimamente” para las 5 preguntas.

3.3. Comparar las características físicas de los sembríos de plátano del grupo experimental con el grupo de control

La primera evaluación de la influencia del uso del sistema fue respecto a la distribución y control del agua que se empleó en el desarrollo del experimento, para ello, se tuvo en cuenta la información mostrada en el reporte general del sistema para obtener el número de veces que se realizó el riego y los litros de agua empleados, dando un total de 227 veces (suma de las veces regadas: abril = 8; mayo = 112; junio = 98; y julio = 9) y con un consumo de 12 068,923 L (litros obtenidos de la suma de 67 días de registros: abril tres días = 577,424 L; mayo 31 días = 5 378,857 L; junio 30 días = 5 380,460; y julio tres días 732,182 litros) . Para el caso del grupo de control se tuvo que aplicar un cálculo manual para determinar cuántos litros de agua fueron empleados, en ese sentido se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para el riego manual se empleó una bomba centrífuga de 1,5 HP con capacidad de 150 LPM (litros por minutos).
- El tiempo empleado para el riego era un promedio de 10,2 minutos.
- El riego solo se realizaba una vez por día, 3 días a la semana, y si el día que tocaba riego llovía no se efectuaba.

Se tuvo que el experimento se realizó en 67 días (28/04/2022 – 03/07/2022), de lo cual se puede afirmar que los sembríos de plátano del grupo de control fueron regados 22 veces desde el inicio hasta el fin del experimento, sin embargo, hubo el caso donde los días que tocaba riego fueron días lluviosos (mayo: 04 y 07; junio: 03, 09 y 24) y según las consideraciones, no se efectuó el riego, quedando finalmente 17 días las veces que se realizó el riego para el grupo de control. Asimismo, se obtuvo como dato que el promedio de demora para realizar el riego en el grupo de control fue de 10,2 minutos, donde aplicando el promedio de los minutos de riego realizados de forma manual por las veces regadas ($10,2 * 17$) dio un total de 173,4 minutos de riego

manual, a esto multiplicado por los LPM de la bomba de agua empleada ($173,4 * 150$) dio un total de 26 010 L de agua empleados en el riego manual, correspondiente al grupo de control. De lo cual se resumen la siguiente tabla 6.

Tabla 6.

Resumen del control y la distribución del agua en los grupos experimentales

Grupos	Grupo experimental	Grupo de control
Agua suministrada (L)	12 068,923	26 010
Veces regadas	227	17

En base al resumen del control y distribución del agua, se aplicó estadística descriptiva para obtener las diferencias de agua suministrada en litros entre ambos grupos. Donde el grupo experimental empleó 13 941,077 L de agua menos que el grupo de control, expresado en porcentaje el grupo experimental solo empleó el 46,4% de agua empleado por el grupo de control. Finalmente, durante el desarrollo del experimento el sistema de riego automatizado utilizando Arduino se ahorró un 53,6% del consumo de agua aplicado a los sembríos con respecto al grupo de control.

Entonces, los resultados demostraron que el riego automatizado reduce el consumo de agua aplicada a los sembríos de plátano, dicho resultado también fue afirmado en la investigación de Panigrahi et al. (2019) quienes mediante la implementación de un sistema de riego asistido por Arduino en cultivos de plátano emplearon 20% menos de agua con respecto al riego manual, además indican que el mecanismo de riego automatizado podría ser una alternativa para el cultivo de plátano en áreas con escasez de agua. De la misma manera la investigación realizada por Sudharshan et al. (2019) indican que un sistema que emplea sensores de temperatura, humedad ambiente y humedad del suelo en conjunto con un microcontrolador Arduino, apoya a los agricultores a regar los campos agrícolas de forma más eficiente, automatizando tareas de monitoreo y control de los parámetros ambientales, dichas afirmaciones fueron efectuada en base a los resultados de la experimentación que realizaron, donde el riego automatizado empleó 48,3% de agua menos que el método no tecnificado. Asimismo, Phellan et al. (2018) señalan que los sistemas automatizados que emplean sensores y riegan por goteo, dosifican mejor el volumen de agua suministrado, como resultado de su método propuesto, consumieron aproximadamente 14% de agua menos con respecto a las técnicas manuales.

Una vez culminada la etapa de evaluación del control y distribución del agua, se procedió a analizar los parámetros de crecimiento vegetativo del cultivo (altura de la planta), cabe precisar que solo se tomó en cuenta un indicador de crecimiento debido al tiempo de la experimentación (67 días), que inicializaron a partir del día 90 del sembrío. Los 67 días del experimento se encuentran dentro del parámetro donde en base al riego se definen el número de manos y dedos de los racimos de la planta, entonces cualquier déficit de agua la planta tiene altas probabilidades de no responder bien en su fase de desarrollo. Fue necesario la evaluación física de los sembríos, ya que no podemos afirmar la hipótesis sin antes haber hecho el análisis y comparaciones de los dos grupos en cuanto a influido la distribución y control del agua suministrada en los sembríos. Para responder la hipótesis se recolecto la información de los reportes que fueron realizados de manera manual, y tras el procesamiento estadístico se obtuvo la respuesta a la hipótesis planteada.

Tabla 7.
Control del crecimiento de la altura Grupo experimental (GE)

Grupo experimental (GE)				
Fila	Número de planta	Tamaño inicial (cm)*	Tamaño final (cm)**	Aumento del crecimiento (cm)***
A	1	85,8	139,4	53,6
A	2	90,6	150,9	60,3
A	3	77,6	140,5	62,9
A	4	78,9	146,8	67,9
A	5	80,1	145,4	65,3
A	6	75,6	135,6	60,0
A	7	67,1	135,8	68,7
A	8	75,9	138,9	63,0
A	9	79,9	142,0	62,1
A	10	86,6	137,5	50,9
B	1	71,7	139,2	67,5
B	2	63,8	132,9	69,1
B	3	80,3	141,2	60,9
B	4	78,3	140,6	62,3
B	5	68,4	131,1	62,7
B	6	80,3	139,7	59,4
B	7	88,9	147,9	59,0
B	8	83,3	139,4	56,1
B	9	69,5	128,6	59,1
B	10	81,8	144,5	62,7
C	1	83,0	146,0	63,0
C	2	76,7	134,6	57,9
C	3	82,4	135,2	52,8
C	4	83,3	127,7	44,4
C	5	68,6	121,4	52,8
C	6	80,5	136,9	56,4
C	7	77,9	128,4	50,5
C	8	90,1	147,9	57,8
C	9	84,8	141,8	57,0
C	10	85,5	136,2	50,7

* Medición de la altura de la planta tomado el día 91 del experimento.

** Medición de la altura de la planta tomado el día 157 del experimento.

*** Valor en cm del aumento de la altura de la planta del día 91 al 157.

Del análisis de la tabla 7 podemos encontrar que el promedio del tamaño inicial de altura de las plantas fue 79,24 cm, mientras que el promedio final fue 138,47 cm, lo cual refleja el crecimiento promedio de altura de 59,23 cm, representando un 74,74% de crecimiento de altura en todo el desarrollo del experimento.

Tabla 8.
Control del crecimiento de la altura Grupo de control (GC)

Grupo de control (GC)				
Fila	Número de planta	Tamaño inicial (cm)*	Tamaño final (cm)**	Aumento del crecimiento (cm)***
D	1	84,4	145,2	60,8
D	2	72,5	131,1	58,6
D	3	86,0	130,6	44,6
D	4	92,1	158,6	66,5
D	5	88,0	148,7	60,7
D	6	79,6	137,7	58,1
D	7	82,2	142,6	60,4
D	8	84,3	134,0	49,7
D	9	66,2	125,9	59,7
D	10	83,8	135,3	51,5
E	1	89,7	136,8	47,1
E	2	85,4	143,2	57,8
E	3	78,1	139,7	61,6
E	4	65,0	133,3	68,3
E	5	83,7	140,4	56,7
E	6	73,5	137,8	64,3
E	7	91,7	155,4	63,7
E	8	88,8	141,2	52,4
E	9	79,4	138,6	59,2
E	10	82,7	142,3	59,6
F	1	65,4	131,6	66,2
F	2	70,5	137,4	66,9
F	3	87,7	149,2	61,5
F	4	75,6	142,9	67,3
F	5	76,9	144,7	67,8
F	6	74,1	141,6	67,5
F	7	69,9	131,4	61,5
F	8	85,7	138,8	53,1
F	9	83,7	143,0	59,3
F	10	65,2	128,1	62,9

* Medición de la altura de la planta tomado el día 91 del experimento.

** Medición de la altura de la planta tomado el día 157 del experimento.

*** Valor en cm del aumento de la altura de la planta del día 91 al 157.

Del análisis de la tabla 8 podemos encontrar que el promedio del tamaño inicial de altura de las plantas fue 79,73 cm, mientras que el promedio final fue 139,57 cm, lo cual refleja el crecimiento promedio de altura de 59,84 cm, representando un 75,06% de crecimiento de altura en todo el desarrollo del experimento.

El resultado evaluado con respecto al crecimiento de la altura de la planta se encuentran dentro la fenología del desarrollo de la planta de plátano, la afirmación se realizó en base a los

parámetros establecidos en la Guía técnica para el cultivo del plátano del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (1983) y el Manual técnico para el cultivo de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en Panamá (Marcelino et al., 2009).

Entonces para evaluar en qué medida el uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales influye significativamente en el crecimiento de sembríos de plátano, se realizó el contraste de la hipótesis en base a la prueba de estadística inferencial.

Hipótesis:

H₁: El uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales si influye crecimiento de sembríos de plátano.

H₀: El uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales no influye crecimiento de sembríos de plátano.

Para ello, se consideró el nivel α (% error) 5% = 0,05, donde:

- P-valor $\Rightarrow \alpha$, los datos provienen de una distribución normal.
- P-valor $< \alpha$, los datos no provienen de una distribución normal.

Primero se tuvo que realizar la prueba de normalidad de los datos, para el caso del estudio fue la prueba Shapiro-Wilk (muestras ≤ 30).

Tabla 9.
Prueba de normalidad de los datos

	Grupo	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Crecimiento	Experimental	,969	30	,525
	Control	,933	30	,060

En base a la información mostrada por la Tabla 8, los datos tuvieron una distribución normal, ya que, P-valor (Sig.) $> \alpha$, por ende, se procedió a seleccionar la prueba T-Student para validar las hipótesis planteadas.

Igualdad de varianzas

P-valor $\Rightarrow \alpha$ Aceptar H₀. Las varianzas son iguales.

P-valor $< \alpha$ Aceptar H_1 . Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Entonces: Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, se rechaza H_0 (Se acepta H_1).

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechaza H_0 (Se acepta H_0).

Tabla 10.

Prueba de T-Student para muestras independientes

		Prueba de muestras independientes						
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia
Crecimiento	Se han asumido varianzas iguales	,000	,987	-,391	58	,697	-,61667	1,57596
	No se han asumido varianzas iguales			-,391	57,898	,697	-,61667	1,57596

En cuanto a la prueba T-Student para muestras independientes, se obtiene, según la prueba de Levene para igualdad de varianzas: P-valor (Sig.) = 0,697; corroborando con los criterios de igualdad de varianzas se tiene: $0,697 > \alpha$; por lo cual no se rechaza H_0 (Se acepta H_0).

Tomando la decisión de no rechazar H_0 ; se concluye que el uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales no influye crecimiento de sembríos de plátano.

En base a los resultados de los tres objetivos trabajados se puede hacer las siguientes afirmaciones. Concordando con lo mencionado por Jain et al. (2017) el control del riego y los parámetros ambientales en los cultivos ayudan a optimizar el uso de los recursos hídricos, por otra parte, coincidimos con lo afirmado por Devapal (2020) que menciona que el uso de sensores ambientales que monitorean los cultivos, no involucran grandes costos para su instalación, esto lo convierte en una herramienta accesible para los agricultores de bajos recursos puedan adoptar prácticas inteligentes.

Asimismo, nos fundamentamos en lo establecido por Karpagam et al. (2020) consideran que la automatización implica mejorar la velocidad de producción, esto debido al control de los parámetros de los cultivos que por lo general siempre se encuentra disponibilizado en tiempo real para el adecuado monitoreo. Para finalizar se coincide con lo expuesto por Sarpal et al. (2022) quienes mencionan que la incorporación tecnológica a las actividades agrícola mejora la experiencia de los agricultores y sobre todo genera nuevos mecanismos de producción.

CONCLUSIONES

Se concluye que la implementación del sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano se realizó de forma exitosa, se destaca que para lograr dicho resultado se siguió un orden lógico lineal en el proceso de implementación que inicio con la elaboración del bosquejo del sistema, el diagramado de dispositivos vinculados al microcontrolador, la esquematización electrónica completa del sistema, el desarrollo del diagrama de flujo de procesos, y finalmente la construcción e implementación completa del sistema, que tienen como complementos la calibración de los sensores y el testeo de cada componente del sistema para el correcto funcionamiento.

El sistema automatizado basado en sensores ayudó a mejorar el control de la distribución del agua en los sembríos, así como a monitorear los parámetros ambientales (humedad del suelo, presencia de lluvias, temperatura y humedad del ambiente). En cuanto al empleo de agua para el proceso de riego el sistema utilizó 12 068,923 L, mientras que el método de riego tradicional se usó 26 010 L, lo que indica que el sistema empleó 13 941,077 L de agua menos, equivalente a un 53,6% de ahorro de agua, demostrando así el mejor manejo en la gestión del recurso hídrico por parte del sistema con respecto al método manual.

En cuanto a la comparación de las características físicas (altura), no se encontraron diferencias significativas en el desarrollo del crecimiento de la planta, por lo cual el sistema de riego automatizado no tuvo significancia en el crecimiento de la planta. Sin embargo, tenemos que destacar que el sistema se presenta como una opción sólida para los procesos de automatización de riego y control adecuado de los parámetros ambientales intervinientes en los sembríos, además los costos adquisición de los componentes y la implementación del sistema son relativamente económicos, lo cual facilita la adquisición de este tipo de tecnologías que apoyan a la agricultura de precisión.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que antes de instalar los sensores del sistema de riego, específicamente el sensor de humedad del suelo FC-28 y el sensor de flujo de agua YF-S201, estos deben ser calibrados, ya que los valores de fábrica no se ajustan a las realidades y/o necesidades de cada estudio.

Existe la necesidad de supervisar de manera constante las conexiones de los sensores instalados, principalmente si hay temporales de lluvias. Asimismo, por seguridad de los equipos y las personas, los sensores deben estar correctamente aislados para evitar el contacto con el agua y/o alguna descarga eléctrica.

Si existe la necesidad de amplificar y/o aumentar la velocidad del llenado del tanque de agua para el riego, es necesario trabajar con un relay que se ajuste al voltaje de operación de la bomba de agua (por ejemplo, para bombas de un 1 HP, el relay debe soportar la operación de 220V). Asimismo, si existe la disponibilidad de conexión directa al recurso hídrico por medio de tuberías, se anularía la función de la bomba y solo se trabajaría con una válvula solenoide.

Como proyección para futuros trabajos relacionados al tema, estos deberían incluir un sensor de pH el cual mostraría los parámetros de acidez o alcalinidad del suelo de los cultivos, generando información e indicadores más detallados de los requerimientos de la planta. En base ello, si pudiera haber variaciones en cuanto a la influencia del sistema sobre el crecimiento de los sembríos de plátano, ya que teniendo en cuenta el pH del suelo se pudiera ir añadiendo algún tipo de nutriente que requiera la planta por medio del riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alphonsus, E. R., & Abdullah, M. O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 60, pp. 1185–1205). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>
- ANA. (2020). *Minagri modernizará gestión del agua en beneficio de los usuarios en el ámbito nacional*. <http://www.ana.gob.pe/noticia/minagri-modernizara-gestion-del-agua-en-beneficio-de-los-usuarios-en-el-ambito-nacional>
- Ascencios, D., Meza, K., Lluen, J., & Simon, G. (2020). Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 95–105. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.540>
- Barkunan, S. R., Bhanumathi, V., & Balakrishnan, V. (2020). Automatic irrigation system with rain fall detection in agricultural field. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 156, 107552. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107552>
- Berrú-Ayala, J., Hernandez-Rojas, D., Morocho-Díaz, P., Novillo-Vicuña, J., Mazon-Olivo, B., & Pan, A. (2020). SCADA System Based on IoT for Intelligent Control of Banana Crop Irrigation. *Communications in Computer and Information Science*, 1193 CCIS, 243–256. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42517-3_19/COVER
- Borges, C. V., Amorim, E. P., Leonel, M., Gomez, H. A. G., Santos, T. P. R. dos, Ledo, C. A. da S., Belin, M. A. F., Almeida, S. L. de, Minatel, I. O., & Lima, G. P. P. (2019). Post-harvest physicochemical profile and bioactive compounds of 19 bananas and plantains genotypes. *Bragantia*, 78(2), 284–296. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180252>
- Carvajal-García, M., Zuluaga-Arango, P., Ocampo-López, O. L., & Duque-Gómez, D. (2019). Las exportaciones de plátano como una estrategia de desarrollo rural en Colombia. *Apuntes Del Cenés*, 38(68), 113–148. <https://doi.org/10.19053/01203053.V38.N68.2019.8383>
- Castillo-Díaz, T., Lopez-Fulca, R., & Ramirez-Navarro, W. (2021). Aplicación del GIS en la caracterización edafoclimática, del distrito de Cacatachi – provincia de San Martín, con

- fin de producción agrícola rentable y sostenible. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 1(2), 53–67. <https://doi.org/10.51252/RAA.V1I2.192>
- Chujutalli Carballo, N. C., & Muñoz Jiménez, J. A. (2019). *Nivel de tecnología agrícola y su influencia en la productividad de los pequeños productores de plátano en la provincia de Lamas, región San Martín, 2017* [Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3189>
- Devapal, D. (2020). Smart Agro Farm Solar Powered Soil and Weather Monitoring System for Farmers. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1843–1854. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.03.609>
- Divya Dhatri, P. V. S., Pachiyannan, M., Jyothi Swaroopa Rani, K., & Pravallika, G. (2019). A Low-Cost Arduino based Automatic Irrigation System using Soil Moisture Sensor: Design and Analysis. *2nd International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2019 - Proceedings*, 104–108. <https://doi.org/10.1109/ICSPC46172.2019.8976483>
- Domínguez-Niño, J. M., Oliver-Manera, J., Girona, J., & Casadesús, J. (2020). Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 228, 105880. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105880>
- Donato, S. L. R., Santos, M. R. dos, Arantes, A. de M., & Ramos, A. V. (2020). ‘Prata-Anã’ banana under irrigation levels, planting densities and bunch trimming. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(5). <https://doi.org/10.1590/0100-29452020044>
- DRASAM. (2019). *Región San Martín: Serie histórica de la superficie sembrada campañas agrícolas: 2010-2011 al 2019-2020*.
- Escobar Manzaba, C. D., & Farfán Orellana, K. J. (2018). *Diseño de un sistema de riego para la implementación de cultivos automatizados en el recinto playa seca del cantón el triunfo*. Universidad de Guayaquil.
- FAO. (2020). *Análisis del mercado Banano 2019*. <https://www.fao.org/3/cb0168es/CB0168ES.pdf>
- Galan, V., Rangel, A., Lopez, J., Perez Hernandez, J. B., Sandoval, J., & Souza Rocha, H.

- (2018). Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018574>
- Gehring, N., Dorneanu, B., Manrique Silupú, J. J., Ipanaqué Alama, W., & Arellano-García, H. (2020). Circular Economy in Banana Cultivation. *Computer Aided Chemical Engineering*, 48, 1567–1572. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823377-1.50262-7>
- González-Briones, A., Mezquita, Y., Castellanos-Garzón, J. A., Prieto, J., & Corchado, J. M. (2019). Intelligent multi-agent system for water reduction in automotive irrigation processes. *Procedia Computer Science*, 151, 971–976. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.136>
- González, I., & Calderón, A. J. (2019). Integration of open source hardware Arduino platform in automation systems applied to Smart Grids/Micro-Grids. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36, 100557. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100557>
- He, H., Jin, X., Ma, H., Deng, Y., Huang, J., & Yin, L. (2020). Changes of plant biomass partitioning, tissue nutrients and carbohydrates status in magnesium-deficient banana seedlings and remedy potential by foliar application of magnesium. *Scientia Horticulturae*, 268, 109377. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109377>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta). McGraw-Hill.
- Hochmuth, G. (2017). Drip Irrigation. In *A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture* (pp. 79–105). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102170-5.00005-1>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (1983). *Guía técnica para el cultivo del plátano*. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/14360/CDNI21030073e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2020, March 12). *MINAGRI desarrollará tecnología que proteja al banano orgánico de letal hongo Fusarium Oxysporium*. <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-040/>

- Jain, P., Kumar, P., & Palwalia, D. K. (2017). Irrigation management system with micro-controller application. *2017 1st International Conference on Electronics, Materials Engineering and Nano-Technology, IEMENTech 2017*.
<https://doi.org/10.1109/IEMENTECH.2017.8076969>
- Jaiswal, S., & Ballal, M. S. (2020). Fuzzy inference based irrigation controller for agricultural demand side management. *Computers and Electronics in Agriculture, 175*, 105537.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105537>
- Karpagam, J., Merlin, I. I., Bavithra, P., & Kousalya, J. (2020). Smart Irrigation System Using IoT. *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2020*, 1292–1295.
<https://doi.org/10.1109/ICACCS48705.2020.9074201>
- Komal Kumar, N., Vigneswari, D., & Rogith, C. (2019). An Effective Moisture Control based Modern Irrigation System (MIS) with Arduino Nano. *2019 5th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2019*, 70–72.
<https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728446>
- Kumar, M., Shukla, S. K., Upadhyay, S. N., & Mishra, P. K. (2020). Analysis of thermal degradation of banana (*Musa balbisiana*) trunk biomass waste using iso-conversional models. *Bioresource Technology, 310*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123393>
- Lesmo Duarte, N. D., Ferreira da Silva, A., Schlindwein, M. M., & Solis Mendoza, B. A. (2018). Family Farming: an analysis of the production of traditional crops in the Department of Concepción - Paraguay. *Investigación Agraria, 20(2)*, 136–142.
<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.diciembre.136-142>
- Li, J., Fei, L., Li, S., Xue, C., Shi, Z., & Hinkelmann, R. (2020). Development of “water-suitable” agriculture based on a statistical analysis of factors affecting irrigation water demand. *Science of the Total Environment, 744*, 140986.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140986>
- Marcelino, L., González, V., & Ríos, D. (2009). *Cultivo de plátano (Musa paradisiaca L.) en Panamá*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

- Martinez, O., Arguello, C., León, J., Cherres Carguacundo, P. D., & Cujilema Daga, G. E. (2019). Prototype of automated irrigation system improves the yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in Riobamba-Ecuador using wireless network sensors-WSN and 6LoWPAN. *MASKAY*, 9(2), 25. <https://doi.org/10.24133/maskay.v9i2.1058>
- Martínez Varona, R. (2013). Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 51–55. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de plátano*. <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2020/07/Guia-BPA-PLATANO.pdf>
- Mohanraj, I., Gokul, V., Ezhilarasie, R., & Umamakeswari, A. (2018). Intelligent drip irrigation and fertigation using wireless sensor networks. *Proceedings - 2017 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development, TIAR 2017, 2018-January*, 36–41. <https://doi.org/10.1109/TIAR.2017.8273682>
- Mostacero León, J., Mejía Coico, F., Gastañadui Rosas, D., & De La Cruz Castillo, J. (2017). Inventario taxonómico, fitogeográfico y etnobotánico de frutales nativos del norte del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 215–224. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2017.03.04>
- Padalalu, P., Mahajan, S., Dabir, K., Mitkar, S., & Javale, D. (2017). Smart water dripping system for agriculture/farming. *2017 2nd International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2017, 2017-January*, 659–662. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2017.8226212>
- Pan, T., Hou, S., Liu, Y., Tan, Q., Liu, Y., & Gao, X. (2020). Influence of degradation on soil water availability in an alpine swamp meadow on the eastern edge of the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 722, 137677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137677>
- Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., & Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities

- to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae*, 276, 109735. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109735>
- Panigrahi, P., Raychaudhuri, S., Thakur, A. K., Nayak, A. K., Sahu, P., & Ambast, S. K. (2019). Automatic drip irrigation scheduling effects on yield and water productivity of banana. *Scientia Horticulturae*, 257, 108677. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108677>
- Phellan, E., Gutierrez, J., Soto, J., Capunay, S., Lopez, J., & Del Carpio, C. (2018). A Method of Monitoring of the Bulb of Quinoa Plantations Orientated to the Dosing of the Water Volume for Drip Irrigation Systems. *2018 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias En Ingenieria, CONIITI 2018 - Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI.2018.8587086>
- Rama Chidambaram, R. M., & Upadhyaya, V. (2018). Automation in drip irrigation using IOT devices. *2017 4th International Conference on Image Information Processing, ICIIP 2017, 2018-January*, 323–327. <https://doi.org/10.1109/ICIIP.2017.8313733>
- Robinson, J. C., & Galán Saúco, V. (2012). *Plátanos y bananas*. Editorial Paraninfo. <https://books.google.com.pe/books?id=mAv3EQAcgZ8C&printsec=frontcover&dq=taxonomia+del+platano&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj5ycDRhbz4AhXWGbkGHVSRcnAQ6wF6BAgJEA#v=onepage&q&f=false>
- Salmoral, G., Khatun, K., Llive, F., & Lopez, C. M. (2018). Agricultural development in Ecuador: A compromise between water and food security? *Journal of Cleaner Production*, 202, 779–791. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.308>
- Sarpal, D., Sinha, R., Jha, M., & TN, P. (2022). AgriWealth: IoT based farming system. *Microprocessors and Microsystems*, 89, 104447. <https://doi.org/10.1016/J.MICPRO.2022.104447>
- Servín Palestina, M., Tijerina Chávez, L., Medina García, G., Palacios Velez, O., & Flores Magdaleno, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 423–430. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.61>

- Soplín Escalante, J. L. T. (2019). *Mejoramiento del cultivo del tomate por medio de un sistema electrónico automático (S.E.A.), para el control de riego por goteo en el distrito de Lamas*. [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3420/FISI - Juan Luis Tercero Soplín Escalante.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3420/FISI%20-%20Juan%20Luis%20Tercero%20Sopl%C3%ADn%20Escalante.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Stevens, B., Diels, J., Vanuytrecht, E., Brown, A., Bayo, S., Rujweka, A., Richard, E., Ndakidemi, P. A., & Swennen, R. (2020). Canopy cover evolution, diurnal patterns and leaf area index relationships in a Mchare and Cavendish banana cultivar under different soil moisture regimes. *Scientia Horticulturae*, 272, 109328. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109328>
- Stojanovic, M. (2019). Biomimicry in Agriculture: Is the Ecological System-Design Model the Future Agricultural Paradigm? *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(5–6), 789–804. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9702-7>
- Sudharshan, N., Karthik, A. V. S. K., Kiran, J. S. S., & Geetha, S. (2019). Renewable Energy Based Smart Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 165, 615–623. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.055>
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>
- Vásquez-Castillo, W., Racines-Oliva, M., Moncayo, P., Viera, W., & Seraquive, M. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 57–66. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.545>
- Venugopal, P., Prasad, M. P. R., & Dhanamjayulu, C. (2019). Low Cost Automation for Smart Farming. *2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, i-PACT 2019*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/i-PACT44901.2019.8960239>
- Vidal-Silva, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., & Olmos, C. J. (2019). Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software. *Informacion Tecnologica*, 30(6), 377–386. <https://doi.org/10.4067/S0718->

07642019000600377

- Vij, A., Vijendra, S., Jain, A., Bajaj, S., Bassi, A., & Sharma, A. (2020). IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 167, 1250–1257. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.440>
- Wang, Z., Erasmus, S. W., Dekker, P., Guo, B., Stoorvogel, J. J., & van Ruth, S. M. (2020). Linking growing conditions to stable isotope ratios and elemental compositions of Costa Rican bananas (*Musa spp.*). *Food Research International*, 129, 108882. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108882>
- Yang, B., Zhang, W., Meng, X., Singh, A. K., Zakari, S., Song, L., & Liu, W. (2020). Effects of a funnel-shaped canopy on rainfall redistribution and plant water acquisition in a banana (*Musa spp.*) plantation. *Soil and Tillage Research*, 203, 104686. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104686>
- Zataráin, F., Fuentes, C., & Rendón, L. (2017). Condiciones para modelar el riego por gravedad con propiedades hidrodinámicas equivalentes del suelo. *Agrociencia*, 51(3), 245–264. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1290>
- Zinkernagel, J., Maestre-Valero, J. F., Seresti, S. Y., & Intrigliolo, D. S. (2020). New technologies and practical approaches to improve irrigation management of open field vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 242, 106404. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106404>
- Zubaidi, S. L., Hashim, K., Ethaib, S., Al-Bdairi, N. S. S., Al-Bugharbee, H., & Gharghan, S. K. (2020). A novel methodology to predict monthly municipal water demand based on weather variables scenario. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.09.011>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Técnicas e instrumentos															
<p>¿En qué medida el uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales influye en el crecimiento de sembríos de plátano?</p>	<p>Objetivo general Determinar en qué medida el uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales influye en el crecimiento de sembríos de plátano.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implantar un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano - Controlar y monitorear de forma automatizada el proceso de riego y los parámetros ambientales de los sembríos plátano - Comparar las características físicas de los sembríos de plátano del grupo experimental con el grupo de control. 	<p>Hipótesis general El uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales influye significativamente en el crecimiento de sembríos de plátano.</p> <p>Hipótesis alterna: Hi: El uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales si influye crecimiento de sembríos de plátano.</p> <p>Hipótesis nula: Ho: El uso de un sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales no influye crecimiento de sembríos de plátano.</p>	<p>Técnicas: Análisis documental Observación experimental Encuesta</p> <p>Instrumentos: Lectura de los sensores Cuestionario</p>															
<p>Diseño de investigación</p> <p>Tipo: Aplicada</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Diseño: Cuasi-experimental</p>	<p>Población y muestra</p> <p>La población muestral estuvo conformada por 60 plantones de plátano macho (<i>Musa balbisiana</i>) ubicadas en dos (2) grupos: el primer grupo de 30 plantones en condiciones controladas, es decir, volumen de agua suministrada, número de veces regadas, indicadores de presencia de lluvias, temperatura del ambiente, humedad del ambiente, humedad del suelo; y el segundo grupo de 30 plantones con método de riego manual que no tendrán ningún tipo de control, excepto el volumen de agua suministrada y las veces regadas.</p>	<p>Variables, dimensiones e indicadores</p> <table border="1" data-bbox="534 1030 869 1635"> <tr> <td>Sistema de riego usando tecnología Arduino</td> <td>Funcionalidad</td> <td>Nivel de uso</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Control de la distribución del agua en un sembrío de plátano</td> <td rowspan="2">Indicadores del sistema</td> <td>Temperatura del ambiente</td> </tr> <tr> <td>Humedad del ambiente</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Control de riego</td> <td rowspan="2">Control de riego</td> <td>Presencia de lluvias</td> </tr> <tr> <td>Volumen de agua suministrada</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Control de crecimiento</td> <td rowspan="2">Control de crecimiento</td> <td>Frecuencia de distribución</td> </tr> <tr> <td>Altura de la planta</td> </tr> </table>	Sistema de riego usando tecnología Arduino	Funcionalidad	Nivel de uso	Control de la distribución del agua en un sembrío de plátano	Indicadores del sistema	Temperatura del ambiente	Humedad del ambiente	Control de riego	Control de riego	Presencia de lluvias	Volumen de agua suministrada	Control de crecimiento	Control de crecimiento	Frecuencia de distribución	Altura de la planta	
Sistema de riego usando tecnología Arduino	Funcionalidad	Nivel de uso																
Control de la distribución del agua en un sembrío de plátano	Indicadores del sistema	Temperatura del ambiente																
		Humedad del ambiente																
Control de riego	Control de riego	Presencia de lluvias																
		Volumen de agua suministrada																
Control de crecimiento	Control de crecimiento	Frecuencia de distribución																
		Altura de la planta																

Anexo 2. Código del sistema de riego automatizado

```

#define PinSensor 2 //Sensor de flujo de agua
int relay_bomba = 3; //Pin de la electroválvula
int relay_valvula = 4; //Pin de la válvula 1
int relay_valvula_2 = 8; //Pin de la válvula 2
//int relay_valvula_3 = 7; //Pin de la válvula 3
int SENSOR_nivel_agua; // variable para almacenar valor leído
const int sensor_suelo = A1; //Pin del sensor de suelo (Sensor 1, 1era fila)
const int sensor_suelo_12 = A2; //Pin del sensor de suelo (Sensor 2, 1era fila)
const int sensor_suelo_13 = A3; //Pin del sensor de suelo (Sensor 3, 1era fila)
const int sensor_suelo_21 = A4; //Pin del sensor de suelo (Sensor 1, 2da fila)
const int sensor_suelo_22 = A7; //Pin del sensor de suelo (Sensor 2, 2da fila)
const int sensor_suelo_23 = A8; //Pin del sensor de suelo (Sensor 3, 2da fila)
const int sensor_suelo_31 = A8; //Pin del sensor de suelo (Sensor 1, 3era fila)
const int sensor_suelo_32 = A9; //Pin del sensor de suelo (Sensor 2, 3era fila)
const int sensor_suelo_33 = A10; //Pin del sensor de suelo (Sensor 3, 3era fila)

//Declaración de valores iniciales para el sensor de lluvia
int sensor_lluvia=A5;
int valor_lluvia=0;
char* texto_lluvia = "No%20llueve";
bool cambio_lluvia = false;

#include <Ethernet.h>//libreria ethernet
#include <SPI.h>//libreria ethernet
#include <DHT.h>//libreria sensor de temperatura y humedad

//Sensor de Temperatura
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT22

// Configuracion del Ethernet Shield
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFF, 0xEE}; // Direccion MAC
byte ip[] = { 192,168,100,240 }; // Direccion IP del Arduino
byte server[] = { 192,168,1,37 }; // Direccion IP del servidor 192,168,0,14

long tiempoUltimaLectura=0;

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
EthernetClient cliente;

//Flujo de Agua
volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos
//int PinSensor = 3; //Sensor conectado en el pin 3
float factor_conversion=9.125; //para convertir de frecuencia a caudal
float volumen=0;

```

```

float caudal_L_m=0;
long dt=0; //variación de tiempo por cada bucle
long t0=0; //millis() del bucle anterior
//Fin de Flujo de Agua

//---Función que se ejecuta en interrupción-----
void ContarPulsos (){
  NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}

//---Función para obtener frecuencia de los pulsos-----
int ObtenerFrecuecia(){
  int frecuencia;
  NumPulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
  interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
  delay(1000); //muestra de 1 segundo
  noInterrupts(); //Deshabilitamos las interrupciones
  frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia;
}

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Abrir el puerto serie a la velocidad de 9600bps para transmiccion de datos.
  // Configuración
  Serial.println("Iniciando...");
  delay(3000);
  pinMode(relay_bomba, OUTPUT); // Configurar relay como salida o OUTPUT
  pinMode(relay_valvula, OUTPUT);
  pinMode(relay_valvula_2, OUTPUT);
  pinMode(PinSensor, INPUT);
  attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING);//(Interrupción 0(Pin2),función,Flanco de subida)
  t0=millis();
  Ethernet.begin(mac, ip);
  dht.begin();
  float h = dht.readHumidity(); //Leemos la Humedad
  float t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius
  float f = dht.readTemperature(true); //Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
  h = dht.readHumidity(); //Leemos la Humedad
  t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius
  f = dht.readTemperature(true); //Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
  //-----Enviamos las lecturas por el puerto serial-----
  tiempoUltimaLectura=millis(); //actualizamos el tiempo de la última lectura
  if (cliente.connect(server, 80)>0) { // Conexión con el servidor(client.connect(server, 80)>0
    cliente.print("GET /arduino/control/temperatura.php?hum="); // Enviamos los datos por GET
    cliente.print(h);
    cliente.print("&temp=");
    cliente.print(t);
  }
}

```

```

cliente.println(" HTTP/1.0");
cliente.println("User-Agent: Arduino 1.0");
cliente.println();
Serial.println("Envio con exito (al archivo controller/index y models/herramienta)");
delay(1000);
} else {
  Serial.println("Fallo en la conexion");
  delay(1000);
}
if (!cliente.connected()) {
  Serial.println("Desconectando");
  delay(1000);
}
cliente.stop();
cliente.flush();
}

void loop() {
  //-----Sensor de Lluvia-----
  int valor_lluvia = analogRead(sensor_lluvia);
  if (valor_lluvia > 700){
    //Serial.println("No hay lluvia");
    if (texto_lluvia != "No%20llueve"){
      texto_lluvia = "No%20llueve";
      cambio_lluvia=true;
    }
  }
  else
  {
    //Serial.println("Llueve");
    if (texto_lluvia != "Llueve"){
      texto_lluvia = "Llueve";
      cambio_lluvia=true;
    }
  }
}

if(cambio_lluvia){
  if (cliente.connect(server, 80)>0) { // Conexion con el servidor(client.connect(server, 80)>0
    cliente.print("GET /arduino/control/clima.php?valor="); // Enviamos los datos por GET
    cliente.print(valor_lluvia);
    cliente.print("&texto=");
    cliente.print(texto_lluvia);
    cliente.println(" HTTP/1.0");
    cliente.println("User-Agent: Arduino 1.0");
    cliente.println();
    Serial.println("Envio con exito (al archivo controller/index y models/herramienta)");
    delay(1000);
  }
}

```



```

    } else {
      Serial.println("Fallo en la conexion");
      delay(2000);
    }
    if (!cliente.connected()) {
      Serial.println("Desconectando");
      delay(1000);
    }
    cliente.stop();
    cliente.flush();
    cambio_lluvia=false;
  }
  //-----FIN SENSOR de Lluvia-----

  //-----Sensor de Temperatura-----
  float h = dht.readHumidity(); //Leemos la Humedad
  float t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius
  float f = dht.readTemperature(true); //Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
  //-----Enviamos las lecturas por el puerto serial-----
  /*Serial.print("Humedad ");
  Serial.print(h);
  Serial.print(" %t");
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(t);
  Serial.print(" *C ");
  Serial.print(f);
  Serial.println(" *F");*/

  //-----GUARDAR DATOS DEL Sensor de Temperatura cada hora-----
  if(millis()-tiempoUltimaLectura>3600000)
  {
    h = dht.readHumidity(); //Leemos la Humedad
    t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius
    f = dht.readTemperature(true); //Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
    //-----Enviamos las lecturas por el puerto serial-----
    tiempoUltimaLectura=millis(); //actualizamos el tiempo de la última lectura
    if (cliente.connect(server, 80)>0) { // Conexion con el servidor(client.connect(server, 80)>0
      cliente.print("GET /arduino/control/temperatura.php?hum="); // Enviamos los datos por GET
      cliente.print(h);
      cliente.print("&temp=");
      cliente.print(t);
      cliente.println(" HTTP/1.0");
      cliente.println("User-Agent: Arduino 1.0");
      cliente.println();
      Serial.println("Envio con exito (al archivo controller/index y models/herramienta)");
      delay(1000);
    } else {

```

```

    Serial.println("Fallo en la conexion");
    delay(2000);
  }
  if (!cliente.connected()) {
    Serial.println("Desconectando");
    delay(1000);
  }
  cliente.stop();
  cliente.flush();
}
//-----FIN SENSOR de Temperatura-----

SENSOR_nivel_agua = analogRead(A0); // Sensor de nivel
int humedad = analogRead(sensor_suelo);
int humedad_12 = analogRead(sensor_suelo_12);
int humedad_13 = analogRead(sensor_suelo_13);
int humedad_21 = analogRead(sensor_suelo_21);
int humedad_22 = analogRead(sensor_suelo_22);
int humedad_23 = analogRead(sensor_suelo_23);
int humedad_31 = analogRead(sensor_suelo_31);
int humedad_32 = analogRead(sensor_suelo_32);
int humedad_33 = analogRead(sensor_suelo_33);

Serial.print("humedad 11: ");
Serial.println(humedad);
Serial.print("humedad 12: ");
Serial.println(humedad_12);
Serial.print("humedad 13: ");
Serial.println(humedad_13);
Serial.print("humedad 21: ");
Serial.println(humedad_21);
Serial.print("humedad 22: ");
Serial.println(humedad_22);
Serial.print("humedad 23: ");
Serial.println(humedad_23);

if(SENSOR_nivel_agua<300){
  digitalWrite(relay_bomba, LOW); // envia señal baja al relay
}else{
  digitalWrite(relay_bomba, HIGH); // envia señal baja al relay
}

/*Riego linea 1*/
if(humedad < 400 && humedad_12 < 400 && humedad_13 < 400){
  digitalWrite(relay_valvula, HIGH);
  registro_agua();
}

```

```

    }else{
        digitalWrite(relay_valvula, LOW);
        calcular_volumen();
    }
/*Riego linea 2*/
if(humedad_21 < 400 && humedad_22 < 400 && humedad_23 < 400){
    digitalWrite(relay_valvula_2, HIGH);
    registro_agua();
}else{
    digitalWrite(relay_valvula_2, LOW);
    calcular_volumen();
}
/*Riego linea 3*/
if(humedad_31 < 400 || humedad_32 < 400 || humedad_33 < 400){
    digitalWrite(relay_valvula_3, HIGH);
    registro_agua();
}else{
    digitalWrite(relay_valvula_3, LOW);
    calcular_volumen();
}
}

void registro_agua (){
//-----REGISTRAR LITROS DE AGUA-----
    if(volumen!=0){
        if (cliente.connect(server, 80)>0) { // Conexion con el servidor(cliente.connect(server, 80)>0
            cliente.print("GET /arduino/control/flujo_agua.php?caudal="); // Enviamos los datos por GET
            cliente.print(caudal_L_m,3);
            cliente.print("&volumen=");
            cliente.print(volumen,3);
            cliente.println(" HTTP/1.0");
            cliente.println("User-Agent: Arduino 1.0");
            cliente.println();
            Serial.println("Envio con exito (al archivo controller/index y models/herramienta)");
            //delay(1000);
            volumen=0;
        } else {
            Serial.println("Fallo en la conexion");
            //delay(2000);
        }
        if (!cliente.connected()) {
            Serial.println("Desconectando");
            //delay(1000);
        }
        cliente.stop();
        cliente.flush();
//-----FIN REGISTRAR LITROS DE AGUA-----

```

```
    }  
  }  
  
void calcular_volumen(){  
  float frecuencia=ObtenerFrecuecia(); //obtenemos la frecuencia de los pulsos en Hz  
  caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m  
  dt=millis()-t0; //calculamos la variación de tiempo  
  t0=millis();  
  volumen=volumen+(caudal_L_m/60)*(dt/1000); // volumen(L)=caudal(L/s)*tiempo(s)  
  
  //-----Enviamos por el puerto serie-----  
  Serial.print ("Caudal: ");  
  Serial.print (caudal_L_m,3);  
  Serial.print ("L/min\tVolumen: ");  
  Serial.print (volumen,3);  
  Serial.println (" L");  
}
```

Anexo 3. Test de nivel de uso del sistema

Test de valoración del sistema de control y monitoreo web		
En el marco de ejecución del proyecto de investigación “Sistema de riego automatizado usando tecnología Arduino para el control de la distribución del agua en un sembrío de plátano en un terreno agrícola, Cacatachi”, se formuló el siguiente test para valorar las funcionalidades del sistema producto de la investigación, elaborado en base a los requerimientos solicitados.		
Marca con una (X) la respuesta seleccionada.		
- La interfaz gráfica del sistema, específicamente el panel principal muestra la información necesaria, para el control y monitoreo del cultivo de plátano.	<input type="checkbox"/> cumple óptimamente	<input type="checkbox"/> cumple medianamente <input type="checkbox"/> no cumple
- Los reportes tipo tabla y en forma gráfica muestran la información requerida.	<input type="checkbox"/> cumple óptimamente	<input type="checkbox"/> cumple medianamente <input type="checkbox"/> no cumple
- Los formatos de los reportes exportados por el sistema satisfacen sus necesidades.	<input type="checkbox"/> cumple óptimamente	<input type="checkbox"/> cumple medianamente <input type="checkbox"/> no cumple
- El sistema es intuitivo y fácil de utilizar.	<input type="checkbox"/> cumple óptimamente	<input type="checkbox"/> cumple medianamente <input type="checkbox"/> no cumple
- El sistema web cumple con sus expectativas requeridas, y las funcionalidades necesarias.	<input type="checkbox"/> cumple óptimamente	<input type="checkbox"/> cumple medianamente <input type="checkbox"/> no cumple

Anexo 4. Costo de los materiales electrónicos del sistema de riego automatizado

Material	Cantidad	Precio unitario S/	Precio total
Arduino Mega 2560	1	110	110
Válvula solenoide 1/2" 12VDC	3	25	75
Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201	1	20	20
Sensor de lluvia y nieve	1	10	20
Módulo Relay 1CH 5VDC	4	6	24
Sensor de Humedad de Suelo FC-28	9	8	72
Sensor de nivel de agua	1	3	3
Cable Dupont	10	5	50
Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)	1	20	20
Bomba de agua D1/2" 12VDC 5m 800L/h	1	110	110
SHIELD ETHERNET W5100	1	70	70
Fuente de alimentación DC 12V 1A	1	10	10
Protoboard 830	1	12	12
Total S/			596

Sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano

por Jorge Raul Navarro Cabrera

Fecha de entrega: 20-mar-2023 08:41 a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2041685089

Nombre del archivo: Plantilla_Informe_de_Tesis.pdf (2.79M)

Total de palabras: 18983

Total de caracteres: 103051

Sistema automatizado basado en sensores para el control de riego y monitoreo de parámetros ambientales en sembríos de plátano

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1%