

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO
AUTOMATIZADO PARA CULTIVO DE PLÁTANO, FILA ALTA
- JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autores : Bach. Anderson Del Piero Farfán Ruiz

Egre. Miguel Angel Julca Ñiquen

Asesor : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon

Línea de investigación: Automatización y control industrial

JAÉN – PERÚ

2026

Anderson Del P. Farfán Ruiz - Miguel A. Julca Ñiquen

MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA CULTIVO DE PLÁTANO, FILA ALTA - JAÉN

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaén

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::1:3608190923

64 páginas

Fecha de entrega

8 jul 2026, 11:01 a.m. GMT-5

11.513 palabras

Fecha de descarga

8 jul 2026, 11:05 a.m. GMT-5

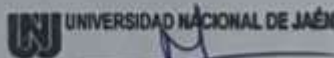
66.717 caracteres

Nombre del archivo

Tesis_Final_Farfa_n-Julca.pdf

Tamaño del archivo

974.3 KB



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

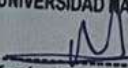
N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día Jueves 16 de Julio del 2026, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Secretario : Mg. Marco Luis Pérez Silva
Vocal : Mg. Frans Fuentes Maza

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE PLÁTANO, FILA ALTA- JAÉN"**.

Presentado por el Egresado: **Miguel Angel Julca Ñiquen** y el Bachiller: **Anderson Del Piero Farfán Ruiz**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

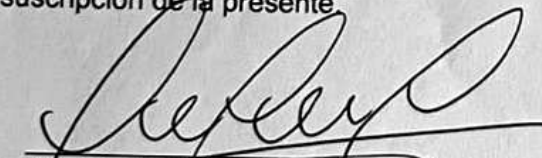
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

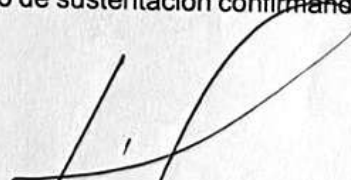
(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

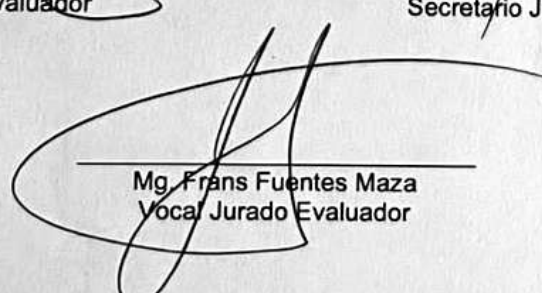
Con la siguiente mención:

a) Excelente	18, 19 20	()
b) Muy bueno	16, 17	(16)
c) Bueno	14, 15	()
d) Regular	13	()
e) Desaprobado	12 ó menos	()

Siendo las 17:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente


Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Presidente Jurado Evaluador


Mg. Marco Luis Pérez Silva
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Frans Fuentes Maza
Vocal Jurado Evaluador

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Miguel Angel Julca Ñiquen y Anderson Del Piero Farfán Ruiz, egresados de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 74455492 y 73699004.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

"MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA CULTIVO DE PLÁTANO, FILA ALTA - JAÉN".

Asesorado por el Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon

El mismo que presentamos bajo la modalidad de bachiller para optar; el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de nuestro trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de nuestro trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presentamos no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaramos que nuestro trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Somos consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 10 de agosto del 2026



Miguel Angel Julca Ñiquen



Anderson Del Piero Farfán Ruiz

ÍNDICE

ÍNDICE	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Planteamiento del problema	9
1.2. Justificación	10
1.3. Antecedentes.....	12
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
2.1. Tipo de investigación: Descriptiva	14
2.2. Técnica para la recolección de datos: Observación	14
2.3. Procedimiento para la recolección de datos.....	14
2.4. Diagrama de flujo	15
III. RESULTADOS	16
3.1 Determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de plátano para el sistema de riego automatizado	16
3.1.1. Caracterización de la parcela y densidad de plantación.....	17
3.1.2 Determinación del requerimiento hídrico	17
3.2 Diseño del dimensionamiento del sistema de riego automatizado.....	20
3.2.1 Dimensionamiento del almacenamiento y red hidráulica	20
3.2.2 Cálculo de pérdidas por accesorios y selección de la electrobomba.....	23
3.3 Simulación del sistema de riego automatizado mediante software especializado	29
3.3.1 Diseño del control con LOGO! V8.....	29
3.3.2 Ensamble del sistema de riego automatizado	37
3.4 Evaluación técnica y económica del sistema de riego automatizado.....	40
3.4.1 Evaluación técnica del sistema automatizado de riego	40
3.4.2 Evaluación económica del sistema automatizado de riego	42
IV. DISCUSIÓN	46
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

AGRADECIMIENTO	54
DEDICATORIA	55
ANEXOS	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso metodológico	15
Figura 2 Ubicación de sembrío de planta de plátano	16
Figura 3 Tanque cisterna seleccionada	21
Figura 4 Microaspersor seleccionado	22
Figura 5 Filtro tipo Y seleccionado	23
Figura 6 Accesorios y tubería PVC seleccionados para el sistema de riego.....	25
Figura 7 Electrobomba seleccionada	29
Figura 8 Diagrama de fuerza del sistema.....	32
Figura 9 Diagrama de control y programación	34
Figura 10 Vista 3D del sembrío de plátano	37
Figura 11 Sistema de abastecimiento de agua y distribución de microaspersores en el sembrío de plátano	40
Figura 12 Distribución de las plantas de plátano en el sembrío	56
Figura 13 Distancias entre plantas de plátano en el sembrío	57
Figura 14 Cisterna para agua	58
Figura 15 Micro aspersor de 70LH.....	59
Figura 16 Filtro plástico tipo Y.....	60
Figura 17 Electrobomba centrífuga 1HP	61
Figura 18 Sensor de humedad del suelo, 0-10 V de salida impermeable.....	62
Figura 19 Plano de ensamble del sistema de riego	63
Figura 20 Plano de visitas de ensamble del sistema de riego	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de caracterización de la parcela y resultados del requerimiento hídrico	19
Tabla 2 Accesorios hidráulicos considerados en el diseño del sistema de riego automatizado	24
Tabla 3 Componentes eléctricos considerados en el diagrama de control con LOGO! V8	30
Tabla 4 Costo estimado de los componentes del sistema automatizado de riego	42
Tabla 5 Ahorro requerido para la recuperación de la inversión	45
Tabla 6: Instrumento de recolección de dato	65

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el sector Fila Alta, provincia de Jaén, donde la limitada disponibilidad de agua y la dependencia de métodos manuales de riego dificultan el uso eficiente del recurso hídrico en el cultivo de plátano. Ante esta problemática, el objetivo de la investigación fue modelar un sistema de riego automatizado para cultivo de plátano en Fila Alta – Jaén. Para ello, se realizó la caracterización de la parcela, la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo, el dimensionamiento hidráulico de la red de riego y el modelamiento lógico del sistema automatizado mediante Siemens LOGO! V8 haciendo uso de PLC, además de la evaluación técnica y económica de la propuesta.

Los resultados determinaron una demanda hídrica de 3254 L/día para una plantación de 63 plantas distribuidas en un área de 475.02 m². Asimismo, se modeló un sistema conformado por una cisterna de 5000 L, una electrobomba de 1 HP, microaspersores de 70 L/h, sensores de humedad y un controlador lógico programable, cuya simulación permitió verificar su funcionamiento para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo.

Se concluyó que el modelamiento del sistema de riego automatizado constituye una alternativa técnica y económicamente viable para optimizar el uso del agua y reducir la dependencia del riego manual en el cultivo de plátano del sector Fila Alta – Jaén.

Palabras clave: Modelamiento, sistema de riego automatizado, modelamiento hidráulico, cultivo de plátano, PLC.

ABSTRACT

This research was conducted in the Fila Alta sector, Jaén province, where limited water availability and reliance on manual irrigation methods hinder the efficient use of water resources in banana cultivation. In response to this problem, the objective of the study was to model an automated irrigation system for banana crops in Fila Alta – Jaén. To achieve this, the plot was characterized, the crop water requirements were determined, the hydraulic design of the irrigation network was carried out, and the logical model of the automated system was developed using Siemens LOGO! V8 PLC technology, in addition to the technical and economic evaluation of the proposal.

The results indicated a water demand of 3,254 L/day for a plantation of 63 plants distributed over an area of 475.02 m². Likewise, a system was modeled consisting of a 5,000 L cistern, a 1 HP pump, 70 L/h micro-sprinklers, humidity sensors, and a programmable logic controller, whose simulation confirmed its proper operation to meet the crop's water requirements.

It was concluded that the modeling of the automated irrigation system constitutes a technically and economically viable alternative to optimize water use and reduce dependence on manual irrigation in banana cultivation in the Fila Alta sector – Jaén.

Keywords: Modeling, automated irrigation system, hydraulic modeling, banana crop, PLC.

I. INTRODUCCIÓN

El agua constituye uno de los recursos naturales más importantes para el desarrollo de la actividad agrícola, debido a que garantiza el crecimiento y productividad de los cultivos. A nivel mundial, el sector agrícola consume aproximadamente el 70 % del agua dulce disponible, lo que ha generado la necesidad de implementar tecnologías que permitan optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego (UNESCO, 2024). En este contexto, la automatización aplicada a la agricultura representa una alternativa tecnológica orientada a reducir pérdidas de agua y mejorar el control de los procesos de irrigación.

En el Perú, la disponibilidad y acceso al agua continúan siendo limitados en diversas regiones del país. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, un importante porcentaje de la población aún no cuenta con acceso adecuado a agua segura, situación que también afecta a las actividades agrícolas (INEI, 2024). En la región Cajamarca, las restricciones en el abastecimiento hídrico repercuten directamente en la producción agrícola, especialmente en zonas donde el suministro de agua es intermitente.

En el sector Fila Alta, ubicado en la provincia de Jaén, el abastecimiento de agua se encuentra restringido aproximadamente a una hora diaria, dificultando el riego continuo del cultivo de plátano y generando dependencia de métodos manuales de irrigación. Esta problemática ocasiona deficiencias en la distribución del agua, incremento del tiempo de operación y posibles afectaciones en el desarrollo del cultivo.

La limitada disponibilidad de agua y la dependencia de métodos manuales de riego en el sector Fila Alta generan la necesidad de implementar sistemas que permitan administrar el recurso hídrico de manera eficiente y controlada. El riego manual dificulta la distribución uniforme del agua y aumenta el tiempo de operación, mientras que el abastecimiento restringido exige optimizar el aprovechamiento del recurso disponible. En ese sentido, los sistemas de riego automatizado permiten programar y regular el suministro de agua según los requerimientos del cultivo, reduciendo pérdidas por desperdicio y mejorando las condiciones operativas del riego.

Frente a esta problemática, la presente investigación desarrolló el modelamiento de un sistema de riego automatizado para cultivo de plátano en el sector Fila Alta – Jaén, considerando el modelamiento hidráulico de la red de distribución y la simulación del sistema automatizado mediante Siemens LOGO! V8, con la finalidad de optimizar el uso del agua y reducir la dependencia del riego manual. Para ello, se realizó el levantamiento de información del área de estudio, la recopilación de datos hídricos y los cálculos técnicos necesarios para la simulación y evaluación del sistema propuesto.

1.1. Planteamiento del problema

Según la UNESCO (2024), cerca del 70 % de los gastos de agua dulce a nivel mundial se destina al sector agrícola, seguido por la industria con menos del 20 % y el segmento doméstico con aproximado del 12 %. Lo que evidencia que el riego constituye la principal actividad consumidora de este recurso. En ese sentido, resulta prioritario aplicar soluciones tecnológicas que promuevan un uso eficiente y sostenible del agua.

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) publicó el informe sobre la situación de la pobreza en el Perú, donde revela que más del 80% de la población en cuatro regiones no tiene acceso a los servicios básicos, donde el 73,7% de peruanos no tiene acceso a agua de manera segura (INEI, 2024).

Según el INEI (2022), solo el 69 % de la población de la región Cajamarca cuenta con acceso al servicio de agua potable, lo que refleja una brecha significativa en la disponibilidad de este recurso esencial. Esta realidad evidencia la necesidad de implementar tecnologías que optimicen su uso y eviten el desperdicio, especialmente en actividades como el riego en huertos.

En la provincia de Jaén, el sector Fila-Alta enfrenta una clara limitación en el acceso al recurso hídrico. Las familias dependen del agua almacenada en tanques elevados incluso en baldes; sin embargo, según información del Comité de Agua y Alcantarillado en la provincia de Jaén, el sector Fila-Alta enfrenta una clara limitación, el suministro solo está disponible durante una hora al día lo que es importante usar de forma adecuada este recurso. Esta restricción se debe a la limitada capacidad del reservorio, el cual no cuenta con el volumen suficiente para abastecer adecuadamente a los 8 100 habitantes del sector (INEI, 2017) siendo así un problema, ya que la Fila-Alta se rige por etapas, siendo las primeras etapas más beneficiadas con este recurso y las últimas etapas en donde existe este cultivo, el agua llega de manera escasa y con poco caudal. Frente a esta realidad, el presente proyecto propone el modelamiento de un sistema de riego automatizado para el cultivo de plátano en Fila Alta – Jaén, como una alternativa sostenible que optimiza el uso del recurso hídrico teniendo componentes como tanques de agua para almacenar el agua para que luego este sea distribuido a cada cultivo de plátano de manera correcta y

así reducir las pérdidas de agua que se genera al regar los cultivos en baldes de manera manual como también evitar el sobre riego y maximizar este recurso también se busca reducir la mano de obra ya que al ser un sistema automatizado no necesita un operario que este de forma frecuente en el riego. Por ende, este proyecto promueve la adopción de tecnología local en beneficio de la comunidad. Entonces se realizó el planteamiento de la siguiente pregunta: ¿Cómo modelar un sistema de riego automatizado para cultivo de plátano en Fila Alta – Jaén?

1.2. Justificación

La justificación se planteó desde los enfoques social, tecnológico, económico y ambiental.

Aspecto Social

Según el INEI (2022), la provincia de Jaén, en el departamento de Cajamarca, formó parte de una región donde cerca del 64,6 % de la población vivía en zonas rurales y el 52,2 % se dedicaba al trabajo agropecuario. En ese contexto, el modelamiento de un sistema de riego automatizado para el cultivo de plátano permitió plantear una alternativa orientada a reducir el esfuerzo asociado al trabajo manual realizado por medianos y pequeños agricultores de la provincia de Jaén. Asimismo, el uso adecuado de los recursos hídricos benefició a la zona de Fila Alta, ya que, al emplearse únicamente las cantidades de agua necesarias para el cultivo, se favoreció una mejor disponibilidad del recurso para el consumo humano. Dado que el abastecimiento de agua se realizaba por horas, resultó fundamental una adecuada distribución y un uso racional de este recurso.

Aspecto Tecnológico

A nivel nacional, según el Indecopi (2022), la actividad inventiva y tecnológica del sector agropecuario y agroindustrial representó cerca del 16 % de los postulantes al programa de patentes. En ese marco, el modelamiento de un sistema de riego automatizado para el cultivo de plátano en Fila Alta – Jaén permitió incorporar una propuesta innovadora en la agricultura local, al integrar equipos tecnológicos como sensores, electroválvulas y microcontroladores. Esto brindó una perspectiva más amplia para atender situaciones

reales relacionadas con el uso eficiente del recurso hídrico y la disminución del trabajo manual.

Aspecto Económico

Según el INEI (2022), la producción de plátano alcanzó las 191 884 toneladas, lo que evidenció la importancia y el volumen significativo de este cultivo en el Perú. En ese sentido, la reducción de los costos de mano de obra y riego resultó esencial, por lo que la automatización del riego permitió proyectar una optimización de los recursos económicos. Durante la campaña de cosecha, un agricultor recibió una remuneración de 60 a 80 soles por día por cada 10 000 plátanos, sin considerar el riego manual, que se pagó de manera adicional entre 70 y 90 soles diarios, más viáticos. Al considerar una jornada de 5 días a la semana durante un año, el gasto total en mantenimiento ascendió aproximadamente a S/ 21 600. Por ello, el modelamiento de un sistema de riego automatizado para el cultivo de plátano en Fila Alta – Jaén permitió sustentar la reducción significativa de los costos de mantenimiento y mano de obra.

Aspecto Ambiental

Desde la perspectiva ambiental, el proyecto de automatización contribuyó a la sostenibilidad al optimizar el uso del recurso hídrico mediante un sistema de riego eficiente, reduciendo el desperdicio de agua en un contexto donde dicho recurso se presentó cada vez más limitado y su abastecimiento fue gradual y escaso. Además, en lo referente al cultivo de plátano, se determinó que este pudo fijar aproximadamente 232,16 toneladas de CO₂ por hectárea (Cárdenas, 2018), lo que evidenció su alta capacidad de captura de carbono y su contribución a la mitigación del cambio climático.

El objetivo general de la investigación fue: Modelar un sistema de riego automatizado para cultivo de plátano, Fila Alta – Jaén. Asimismo, los objetivos específicos fueron: determinar los requerimientos hídricos del cultivo de plátano para el sistema de riego automatizado, diseñar el dimensionamiento del sistema de riego automatizado, simular el sistema de riego automatizado mediante software especializado y evaluar técnica y económicamente el sistema de riego automatizado.

1.3. Antecedentes

Según García (2019) en el trabajo mencionado; estudio para la optimización del recurso hídrico con un sistema automatizado de riego en los pastos de la hacienda san pablo del cantón guano. La investigación ha usado una metodología de representación cuantitativo y experimental. En los alcances obtenidos muestra que el sistema automatizado de riego consiguió una eficiencia del 85%, alcanzando a reducir un promedio 19.5 m³ de consumo diario de agua contrastando con el sistema de riego convencional. La inversión que obtuvo fue menor en un 2.16% respecto a sistemas mercantiles similares, y la recuperación en 6 meses concluye el autor. Asimismo, el autor ultima que, para mejorar la eficiencia en la gestión del riego, la automatización y monitoreo en tiempo real son fundamentales. Mediante este precedente nos permitió usar alguna opción de monitoreo del sistema modular de riego automatizado.

Por otro lado, Jácome (2015) en la tesis denominada; diseño e implementación de un módulo didáctico, utilizando un autómata programable para el laboratorio de electrónica con sus guías prácticas, aplicada para el control de los motores eléctricos, semaforización, conteo u otras aplicaciones. La metodología que aplica es del tipo experimental. Los autores obtienen como producto la ejecución del módulo didáctico constituido por PLC logo 230 RC de la marca SIEMENS, 03 contactores, 01 motor monofásico de 1/8 HP y 03 luces led piloto, este módulo ha sido acoplado en una base metálica de 60 x 70 cm. De esta manera concluyen que la programación lo realizaron manualmente y con el programa “Logo SoftComfort”, y además para las pruebas en marcha se examinó el funcionamiento conforme de los elementos de control y fuerza que posee este módulo. Este trabajo de tesis aportó sobre posible alternativa de uso de un módulo lógico programable para optimizar el control de un sistema de riego automatizado.

Según Julca y Leyva (2023), en la investigación titulada; prototipo de sistema de riego automático para la conservación de áreas verdes de la Plaza Cívica – J.L.O. Presenta su trabajo como investigación aplicada. Los autores alcanzan una operación secuencial y control eficiente del sistema que ha sido dividida en 7 zonas, con ahorro de agua del 22%; de una cisterna de 10,000 L, uso aproximado 7,800 L. también han logrado un riego

uniforme usando sensores de humedad con 98% de las áreas verdes, con humedad media cercana al 81%. También concluyen que mediante la simulación y las pruebas confirman el funcionamiento continuo y la eficiencia del sistema. Esta indagación asistió como referente para el modelamiento del sistema, simulación del funcionamiento con sensores de humedad y control del consumo de agua.

Por otro lado, Mendoza y Perez (2024) en la tesis titulada; propuesta de un sistema de riego automatizado por microaspersión para las áreas verdes de la Universidad Nacional de Jaén. La investigación es de tipo no experimental. Los autores mencionan que alcanzaron el diseño y simulación, mediante el control con un PLC Siemens S7-1200. Asimismo, han logrado definir parámetros de diseño como el número de microaspersores, electroválvulas, electrobombas y el tiempo necesario de riego por sector. La inversión total estimada es de S/ 25,979.00. Los autores finalizan que la inversión es asequible con elementos disponibles del mercado local, y mediante la simulación obtenida, logran una significativa del consumo de agua, con eficiencia hídrica del 80%. En el desarrollo del proyecto, este trabajo sirvió como referencia para la selección del tipo de PLC más apropiado para el sistema de riego automatizado.

Asimismo, Cieza y Ordoñez (2024) en el trabajo de tesis titulada; diseño de un sistema de control automatizado mediante tecnología Arduino para el riego del vivero de la municipalidad provincial de Jaén – Perú. Usa su trabajo como investigación aplicada. La tesis ha conseguido un modelo hecho en una cama del sector 5 del vivero con funcionamiento correcto y simulación favorable. El estudio discurre una evaluación económica del VAN S/. 5,976.95, y el control del sistema automatizado mediante microcontrolador Arduino Uno, que funciona y reduce significativamente el uso de agua en un 73%. Este trabajo aportó en la evaluación económica mediante el VAN y TIR, y posible alternativa de uso de Arduino o ESP32 para el control del sistema de riego automatizado.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación: Descriptiva

El estudio correspondió a una investigación de tipo descriptiva, debido a que permitió representar y detallar, mediante un lenguaje técnico y preciso, las características, propiedades y particularidades de los elementos que conformaron el sistema de riego automatizado. En ese sentido, se revisaron conceptos previamente estudiados y se describieron las características principales de cada componente del sistema. Este enfoque se sustentó en que la descripción consiste en representar, por medio de palabras, las características de fenómenos, hechos, situaciones, objetos, personas y demás seres vivos, empleando un lenguaje denotativo, preciso y unívoco (Niño, 2019).

2.2. Técnica para la recolección de datos: Observación

La recolección de datos se realizó exclusivamente mediante la técnica de observación directa, aplicada al proceso de riego manual en el sector Fila Alta, con el fin de registrar las condiciones reales de operación y los parámetros hídricos necesarios para el modelamiento del sistema de riego automatizado. El instrumento utilizado fue la ficha de levantamiento de campo (Anexo tabla 6), en la cual se consignaron de manera sistemática los datos técnicos del proceso, tales como la cantidad de agua o baldes suministrados por cada planta de plátano, frecuencia de riego, entre otros registros operativos relevantes para determinar el requerimiento hídrico y el posterior dimensionamiento del diseño. En ese sentido, esta técnica permitió obtener información relevante para el desarrollo del estudio y para la comprensión de los componentes del sistema analizado (Niño Rojas, 2011).

2.3. Procedimiento para la recolección de datos

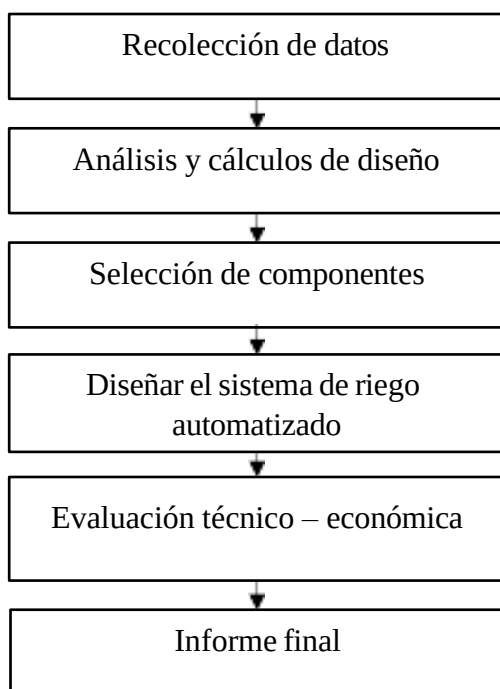
En cuanto al procedimiento para la recolección de datos, en primer lugar, se elaboraron y validaron los instrumentos; posteriormente, se aplicaron las técnicas de recolección mediante medios electrónicos, utilizando la computadora y fuentes documentales como tesis, libros, artículos científicos y normas. Estas fuentes

permitieron recopilar, organizar y sustentar la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

2.4. Diagrama de flujo

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso metodológico



Nota. Elaboración propia

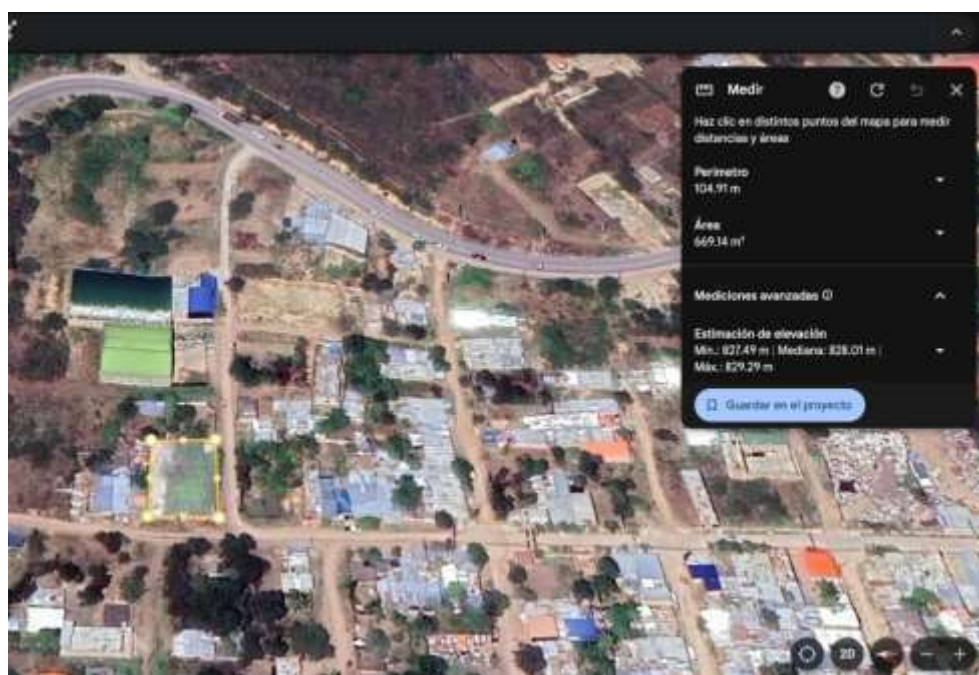
III. RESULTADOS

3.1 Determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de plátano para el sistema de riego automatizado

La figura 2 presentó la ubicación geoespacial del área total que abarca el sembrío de plantas de plátano, identificada mediante una vista satelital del terreno de estudio. El predio fue delimitado con un polígono de referencia, a partir del cual se determinó un área superficial de 669,14 m² y un perímetro de 104,91 m. Esta área correspondió al espacio físico considerado para el diseño del sistema de riego destinado al cultivo de plátano.

Figura 2

Ubicación de sembrío de planta de plátano



Fuente. Elaboración propia

3.1.1. Caracterización de la parcela y densidad de plantación

Se caracterizó la parcela identificándose un total de 9 filas con 7 plantas por fila, la separación entre plantas fue de 2.9 m y la distancia entre filas fue de 2.6 m (Anexos—Figura 12, 13), correspondientes a un cultivo de plátano tipo hartón o bellaco. El número total de plantas fue:

$$N = 9 \times 7 = 63 \text{ plantas}$$

El área ocupada por cada planta se determinó mediante:

$$A_T = 2.6 \times 2.9 = 7.54 \text{ m}^2$$

El área total de la parcela fue:

$$A_p = 63 \times 7.54 = 475.02 \text{ m}^2$$

La densidad de plantación resultó:

$$D = \frac{10000}{7.54} = 1326 \text{ plantas/ha}$$

Con ello, se determinó que el sistema de riego automatizado debía abastecer un total de 63 plantas distribuidas en un área efectiva de 475.02 m², conforme al plano de ensamblaje del sistema propuesto. Dicha área corresponde únicamente a la superficie ocupada por el cultivo, excluyendo espacios laterales y zonas no destinadas al sistema de riego.

3.1.2 Determinación del requerimiento hídrico

Como parte del modelamiento hidráulico del sistema de riego se adoptó un requerimiento hídrico de diseño de 2000 mm/año para el cultivo de plátano. Este valor se consideró técnicamente adecuado debido a que el plátano es una especie de elevada demanda de agua y su desarrollo productivo depende de una disponibilidad hídrica continua y bien distribuida. La guía técnica del SENASA (2020) indicó que, bajo condiciones de riego por gravedad, el cultivo de plátano consumió entre 16 000 y 18 000 m³/ha, equivalentes aproximadamente a 1600 -1800 mm/año, lo que confirmó la alta exigencia hídrica del cultivo. En ese contexto, la adopción de 2000

mm/año se adoptó como criterio de diseño para garantizar el abastecimiento hídrico bajo condiciones de disponibilidad restringida de agua.

A partir de dicho requerimiento anual, se determinó la lámina diaria de diseño (L_d) mediante la conversión de milímetros por año a metros por día:

$$L_a = 2000 \text{ mm/año} = 2.0 \text{ m/año}$$

$$L_d = \frac{2.0}{365} = 0.00548 \text{ m/día}$$

equivalente a:

$$L_d = 5.48 \text{ mm/día}$$

Con base en el área efectiva de la parcela, previamente determinada en 475.02 m², se calculó el volumen neto diario requerido:

$$V_n = A_T \times L_d$$

$$V_n = 475.02 \times 0.00548 = 2.603 \text{ m}^3/\text{día}$$

Posteriormente, considerando una eficiencia de aplicación del sistema del 80 %, se obtuvo el volumen bruto necesario para cubrir la demanda hídrica del cultivo:

$$E_a = 0.80$$

$$V_b = \frac{V_n}{E_a}$$

$$V_b = \frac{2.603}{0.8} = 3.254 \text{ m}^3/\text{día}$$

Por tanto:

$$V_b = 3254 \text{ L/día}$$

El requerimiento por planta fue:

$$V_{\text{planta}} = \frac{3254 \text{ L/día}}{63 \text{ plantas}} = 51.65 \text{ L/planta. día}$$

El requerimiento hídrico obtenido constituyó un parámetro inicial para el modelamiento hidráulico del sistema de riego automatizado, sirviendo como base para el dimensionamiento hidráulico de la red, la selección de la electrobomba y la determinación del caudal operativo del sistema.

Tabla 1*Parámetros de caracterización de la parcela y resultados del requerimiento hídrico*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
Número de filas	-	9	filas	Filas identificadas en la parcela
Número de plantas por fila	-	7	plantas/fila	Distribución de plantas en cada fila
Número total de plantas	N	63	plantas	Total de plantas de plátano en la parcela
Distanciamiento entre plantas	-	2.6×2.9	m	Marco de plantación adoptado
Área por planta	A_p	7.54	m ² /planta	Superficie ocupada por cada planta
Área total efectiva de cultivo	A_r	475.02	m ²	Área calculada para las 63 plantas
Densidad de plantación	D	1326	plantas/ha	Densidad estimada del cultivo
Requerimiento hídrico anual de diseño	L_a	2000	mm/año	Lámina anual adoptada para diseño
Lámina diaria de diseño	L_d	0.00548	m/día	Conversión del requerimiento anual
Lámina diaria de diseño	L_d	5.48	mm/día	Equivalencia de la lámina diaria
Volumen neto requerido	V_n	2.603	m ³ /día	Demanda neta diaria del cultivo
Eficiencia de aplicación del sistema	E_a	0.8	—	Eficiencia considerada en el diseño
Volumen bruto requerido	V_b	3.254	m ³ /día	Volumen diario corregido por eficiencia
Volumen bruto requerido	V_b	3254	L/día	Equivalencia en litros por día
Requerimiento hídrico por planta	V_{planta}	51.65	L/planta.día	Dotación diaria estimada por planta

Fuente. Elaboración propia

3.2 Diseño del dimensionamiento del sistema de riego automatizado

3.2.1 Dimensionamiento del almacenamiento y red hidráulica

Para el dimensionamiento del sistema de almacenamiento se tomó como base el volumen bruto diario requerido, cuyo valor fue de: $V_b = 3254 \text{ L/día}$

Por tanto, se seleccionó una cisterna Rotoplas de 5000 L (Anexos – Figura 14), debido a que esta capacidad correspondió a la alternativa comercial más próxima disponible en el mercado respecto al requerimiento hídrico calculado de 3254 L/día.

La autonomía hidráulica del almacenamiento se calculó mediante:

$$A = \frac{C_t}{V_b}$$

Donde:

A: Autonomía del sistema de almacenamiento (días)

C_t : Capacidad del tanque (L)

V_b : Volumen bruto diario requerido (L/día)

Luego reemplazando los datos se obtuvo:

$$A = \frac{5000}{3254} = 1.54 \text{ días}$$

Este resultado indicó que la cisterna seleccionada permite abastecer el sistema durante 1.54 días, equivalente aproximadamente a 36.9 horas, sin necesidad de recarga inmediata. Asimismo, la capacidad seleccionada proporciona una reserva hídrica superior al consumo diario requerido, contribuyendo a reducir el impacto de las restricciones de abastecimiento de agua presentes en el sector Fila Alta. Por ello, la capacidad de 5000 L se consideró técnicamente adecuada para el sistema de riego automatizado propuesto.

Figura 3

Tanque cisterna seleccionada



Fuente. Elaboración propia

- **Cálculo técnico de la capacidad requerida del microaspersor**

Con fines de diseño, se planteó que el riego se realizara mediante dos eventos diarios, uno en horario matutino y otro en horario vespertino, a fin de reducir pérdidas por evaporación, favorecer una mejor infiltración y mantener una operación automatizada más uniforme.

A partir del requerimiento hídrico por planta, se determinó la capacidad necesaria del microaspersor comercial (Anexos – Figura 15). Para ello, se consideró un emisor por planta y se evaluaron distintas capacidades nominales en función del volumen diario requerido, el tiempo de operación y la demanda hidráulica del sistema. Como resultado, se seleccionó un microaspersor de 70 L/h, debido a que permitió mantener un tiempo de operación adecuado sin incrementar excesivamente el caudal instantáneo requerido por el sistema.

El tiempo de riego por planta se calculó mediante la relación entre el volumen diario requerido por planta y el caudal del microaspersor:

$$t = \frac{V_{planta}}{q_e}$$

Donde

q_e : Caudal requerido del emisor (L/h)

V_{planta} : Volumen diario requerido por planta (L/planta.día)

t : Tiempo total diario de riego por planta (h/día)

Luego reemplazando los datos se obtuvo:

$$t = \frac{51.65}{70} = 0.738h/día$$

$$t = 44.3 \text{ min/día}$$

Este resultado indicó que cada microaspersor de 70 L/h debe operar aproximadamente 44.3 min/día para cubrir el requerimiento hídrico de 51.65 L/planta-día. Considerando dos eventos diarios de riego, el tiempo de operación se distribuyó en aproximadamente 22.15 min por ciclo. En consecuencia, la capacidad del emisor seleccionado se consideró técnicamente adecuada para el modelamiento hidráulico y la programación automatizada del sistema de riego

Figura 4

Microaspersor seleccionado



Fuente. Elaboración propia

Se seleccionó un filtro tipo Y de 1" con elemento filtrante de 80 mesh (200 micras) (Anexos – Figura 16), debido a que el microaspersor de 70 L/h requiere dicho nivel de filtración para evitar el ingreso de partículas que puedan obstruir la boquilla y afectar el caudal, la uniformidad de aplicación y la vida útil del sistema. Asimismo, el grado de filtración seleccionado presentó compatibilidad técnica con la línea de filtros comerciales de 1" empleada en la red de microaspersión.

Figura 5

Filtro tipo Y seleccionado



Fuente. Elaboración propia

3.2.2 Cálculo de pérdidas por accesorios y selección de la electrobomba

La Tabla 2 presenta los principales accesorios hidráulicos considerados en el modelamiento del sistema de riego automatizado, incluyendo elementos de unión, derivación, conducción y cambio de dirección del flujo (Anexos – Figura 20).

En conjunto, estos componentes conformaron la red de distribución hidráulica encargada de conducir el agua desde la unidad de bombeo hacia los puntos de aplicación del riego en el cultivo.

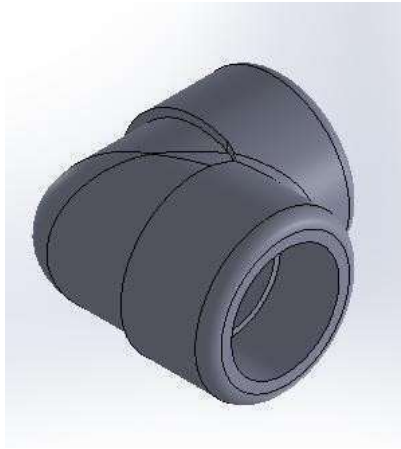
Tabla 2*Accesorios hidráulicos considerados en el diseño del sistema de riego automatizado*

Accesorio	Cantidad	Función dentro del sistema
Conector PVC SAP 3/4"	2 und	Permitió la unión y acoplamiento de los tramos de tubería en los puntos de conexión del sistema hidráulico.
Tee PVC SAP 3/4"	63 und	Se utilizó para derivar el flujo de agua desde la tubería principal hacia los ramales secundarios y puntos de distribución del riego.
Codo roscado PVC SAP 3/4"	10 und	Se empleó para cambiar la dirección del flujo en puntos específicos del sistema, facilitando la adaptación de la red a la geometría del terreno y del conjunto de bombeo.
Codo 90° PVC SAP 3/4"	7 und	Permitió realizar cambios de dirección en la red de tuberías, manteniendo la continuidad hidráulica del sistema.
Tubería PVC SAP 1" y 3/4" de 3m	56 und	Constituyó la red principal de conducción y distribución del agua dentro del sistema de riego, permitiendo el transporte del caudal desde la electrobomba hacia los diferentes puntos de aplicación en el cultivo.

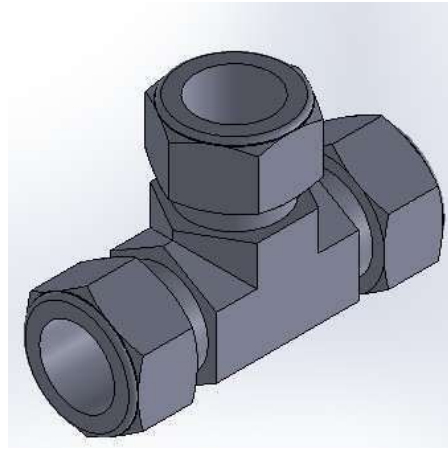
Fuente. Elaboración propia

Figura 6

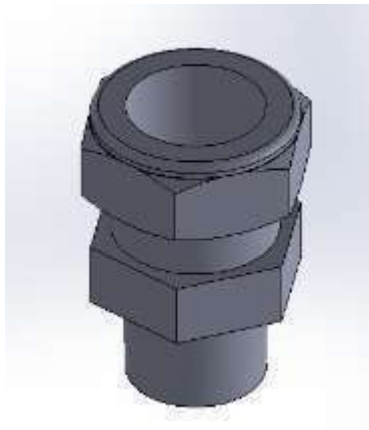
Accesorios y tubería PVC seleccionados para el sistema de riego



a) Codo 90°



b) Tee



c) Conector



d) Tubería PVC

Fuente. Elaboración propia

Coeficiente total de pérdidas menores

En sistemas de tuberías, las pérdidas localizadas o menores se producen en puntos singulares de la red, tales como codos, tees, válvulas y filtros, y su magnitud puede expresarse mediante la relación general:

$$h_m = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

Donde h_m es la pérdida de carga menor, K es el coeficiente de pérdida del accesorio, v es la velocidad media del flujo y g es la aceleración de la gravedad.

Para el desarrollo del cálculo se adoptaron, con fines de diseño preliminar, los siguientes coeficientes de pérdida local: tee $K = 1$, codo $K = 0.9$ y filtro tipo Y $K = 2.0$. Estos valores se asumieron como coeficientes referenciales de diseño, coherentes con la metodología de pérdidas localizadas aplicada en conducciones presurizadas.

Según el plano de ensamble (Anexos – Figura 20): 63 tees, 17 codos, 1 filtro tipo Y, se tiene:

$$K_{total} = 63 \times 1 + 17 \times 0.9 + 1 \times 2.0$$

$$K_{total} = 63 + 15.3 + 2$$

$$K_{total} = 80.3$$

Pérdida de carga por accesorios

Aplicando la ecuación de pérdidas menores:

$$h_m = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

Considerando la velocidad de diseño de $v = 1.2 \text{ m/s}$

Entonces reemplazando valores:

$$h_m = 80.3 \times \frac{(1.2)^2}{2(9.81)}$$

$$h_m = 5.89 \text{ m}$$

Altura dinámica total del sistema

Para estimar la carga total que debería vencer la bomba se consideró, además de las pérdidas menores, una altura estática de 15 m y una pérdida complementaria de 2 m asociada al margen hidráulico de operación del sistema. Entonces, la altura dinámica total fue:

$$H_T = H_e + h_m + h_{ad}$$

Donde:

H_T : Altura dinámica total (m)

H_e : Altura estática (m)

H_m : Pérdidas menores (m)

H_{ad} : Pérdida adicional o margen de seguridad (m)

Sustituyendo valores:

$$H_T = 15 + 5.89 + 2$$

$$H_T = 22.89 \text{ m}$$

Por tanto, la altura total de diseño quedó definida como:

$$H_T = 22.89 \text{ m}$$

Potencia hidráulica requerida

Una vez determinada la altura dinámica total, se procedió al cálculo de la potencia hidráulica requerida para el sistema de bombeo. Para ello, se utilizó la expresión:

$$P_h = \rho g Q H_T$$

Donde:

P_h : Potencia hidráulica (W)

ρ : Densidad del agua (1000 kg/m^3)

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/m^2)

Q : Caudal del sistema (m^3/s)

Cada microaspersor trabaja con 70 L/h, entonces el caudal total del sistema para 63 microaspersores fue:

$$Q_T = n \times q_e$$

Donde:

n : Número de microaspersores

q_e : Caudal por microaspersor

Reemplazando:

$$Q_T = 63 \times 70$$

$$Q_T = 4410 \text{ L/h}$$

Convirtiendo a litros por segundo:

$$Q_T = \frac{4410}{3600}$$

$$Q_T = 1.225 \text{ L/s}$$

Convirtiendo a metros cúbicos por segundo:

$$Q_T = 0.001225 \text{ m}^3/\text{s}$$

H_T : Altura dinámica total (m)

Reemplazando datos se obtuvo:

$$P_h = 1000 \times 9.81 \times 0.001225 \times 22.89$$

$$P_h = 275.07 \text{ W}$$

Convirtiendo a caballos de fuerza:

$$P_h = \frac{275.07}{746}$$

$$P_h = 0.37 \text{ HP}$$

Los manuales técnicos muestran que la eficiencia de una bomba varía con el caudal y que valores alrededor de 60 % (Grunfos, s.f) se encuentran dentro del rango de operación práctico de bombas centrífugas, especialmente en aplicaciones pequeñas o en condiciones de diseño preliminar donde todavía no se ha seleccionado el modelo exacto. Por ello, adoptar una eficiencia de $\eta = 0.60$ constituye un criterio técnico conservador para el cálculo de potencia, evitando subdimensionar la electrobomba requerida

Entonces la potencia real obtenida fue:

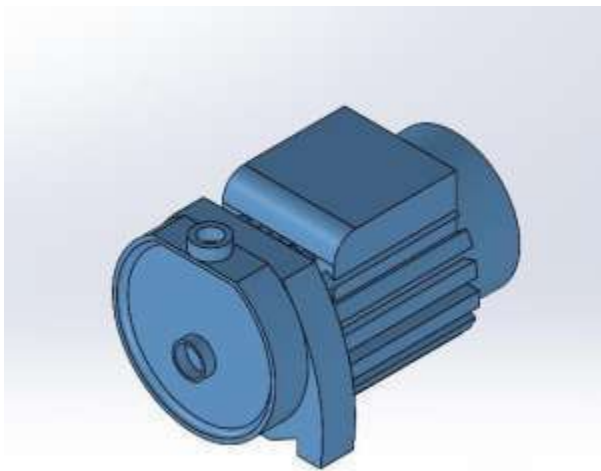
$$P_h = \frac{P_h}{\eta}$$

$$P_h = 0.6HP$$

Luego se justificó técnicamente la selección de una electrobomba comercial de 1 HP para el funcionamiento del sistema de riego automatizado.

Figura 7

Electrobomba seleccionada



Fuente. Elaboración propia

3.3 Simulación del sistema de riego automatizado mediante software especializado

3.3.1 Diseño del control con LOGO! V8

Se diseñó el sistema de control automatizado del riego mediante un controlador lógico programable Siemens LOGO! V8, con el objetivo de accionar la

electrobomba de 1 hp en función de la señal de humedad del suelo y del mando manual del operador.

Componentes eléctricos y de control

Tabla 3

Componentes eléctricos considerados en el diagrama de control con LOGO! V8

N.º	Componente	Identificación en diagrama	Función técnica dentro del sistema
1	Bomba eléctrica de riego de 1 HP	M1	Constituyó la carga principal del sistema y fue la encargada de impulsar el agua desde la cisterna hacia la red de riego.
2	Interruptor termomagnético de fuerza	IT1	Protegió el circuito de potencia de la bomba frente a sobrecargas y cortocircuitos en la línea de alimentación.
3	Contactor de potencia	KM1	Permitió la maniobra eléctrica de encendido y apagado de la bomba, mediante la energización de su bobina desde el circuito de control.
4	Relé térmico de protección	RTF	Protegió el motor de la bomba frente a sobrecargas prolongadas, interrumpiendo la alimentación cuando la corriente superó el valor admisible.
5	Controlador lógico programable Siemens	LOGO! V8	Ejecutó la lógica de control del sistema, procesando las señales de entrada y gobernando las salidas hacia los elementos de maniobra y señalización.
6	Interruptor termomagnético de control	Q1 / Q2	Protegió la alimentación del circuito de control y del LOGO! V8, asegurando la integridad de los dispositivos auxiliares.

7	Pulsador de paro	STOP	Permitió interrumpir manualmente el funcionamiento del sistema de control; trabajó con contacto normalmente cerrado para seguridad operativa.
8	Pulsador de arranque	STAR	Permitió iniciar manualmente la secuencia de control del sistema; trabajó con contacto normalmente abierto.
9	Sensor de humedad del suelo	I1	Detectó la condición de humedad del suelo y entregó la señal de entrada al LOGO! V8 para habilitar o bloquear el accionamiento automático del riego (Anexos – Figura 18)
10	Bobina del contactor	K1 (A1-A2)	Recibió la orden de salida del LOGO! V8 y accionó los contactos principales del contactor de potencia para energizar la bomba.
11	Lámpara piloto de operación	H1	Indicó visualmente la condición de funcionamiento o marcha del sistema.
12	Lámpara piloto de estado / señalización	H2	Señalizó una condición complementaria del sistema, como disponibilidad, espera o condición de control activa.
13	Alimentación eléctrica	L – N – PE	Suministró energía al circuito de fuerza y al circuito de control; el conductor PE fue destinado a la puesta a tierra de protección.

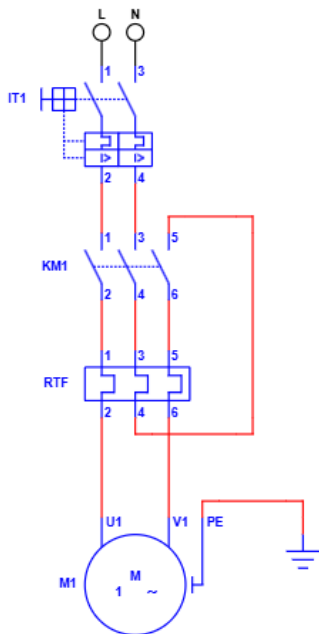
Fuente. Elaboración propia

Esquemático de diagrama de fuerza

Figura 8

Diagrama de fuerza del sistema

DIAGRAMA DE FUERZA



Fuente. Elaboración propia

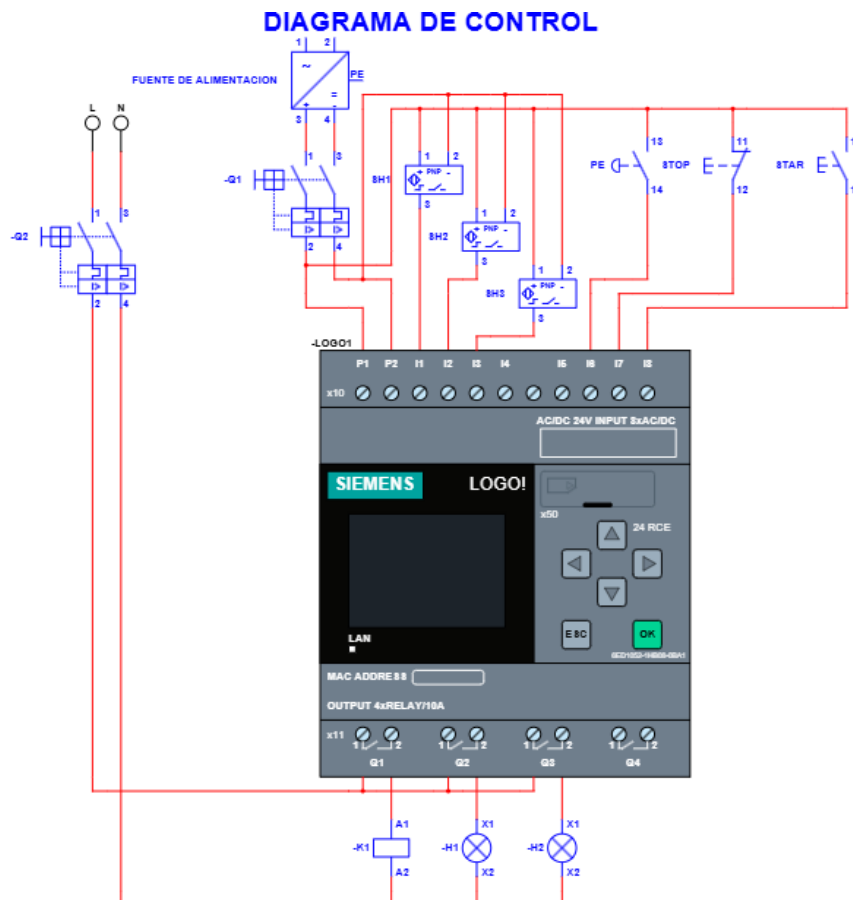
1. El circuito de potencia se diseñó para alimentar y proteger la bomba eléctrica de 1 HP, la cual constituyó la carga principal del sistema de riego automatizado.
2. La alimentación eléctrica ingresó inicialmente a través del interruptor termomagnético de fuerza (IT1), cuya función fue proteger la línea principal ante fallas de cortocircuito o sobrecorriente.
3. Desde el interruptor termomagnético, la energía fue conducida hacia los contactos principales del contactor KM1, encargado de establecer o interrumpir el suministro eléctrico hacia el motor de la bomba.

4. A la salida del contactor, se planteó el relé térmico de protección (RTF), el cual supervisó la corriente absorbida por el motor y actuó ante condiciones de sobrecarga prolongada, evitando el deterioro del equipo.
5. Posteriormente, la alimentación fue conducida hacia los bornes del motor M1, correspondiente a la bomba, permitiendo su puesta en marcha únicamente cuando el contactor hubiera sido energizado desde el circuito de control.
6. El conductor de puesta a tierra (PE) fue conectado a la carcasa del motor, con la finalidad de proporcionar protección eléctrica al sistema y reducir el riesgo ante fallas de aislamiento.
7. La operación del circuito de potencia dependió directamente de la energización de la bobina del contactor; por tanto, cuando el esquema de control emitió la orden de marcha, el contactor cerró sus contactos principales y permitió el funcionamiento de la bomba.
8. En cambio, cuando el sistema recibió una orden de paro o se presentó una condición de falla, la bobina del contactor se desenergizó, sus contactos se abrieron y la alimentación del motor quedó interrumpida, finalizando así el ciclo de bombeo de forma segura.

Esquemático de diagrama de control

Figura 9

Diagrama de control y programación



Fuente. Elaboración propia

1. Se alimentó el circuito de control mediante una fuente monofásica de línea y neutro, protegida por un interruptor termomagnético, con la finalidad de suministrar energía a la fuente de alimentación de 24 VDC, al controlador Siemens LOGO! V8 y a los dispositivos auxiliares de mando y señalización.
2. La fuente de alimentación transformó la tensión alterna del circuito de control en una tensión continua de 24 VDC, necesaria para alimentar el módulo lógico Siemens LOGO! V8 y los sensores de humedad del suelo. El borne positivo de la fuente se conectó al

terminal P1 del LOGO!, mientras que el borne negativo o común se conectó al terminal P2, estableciendo la referencia de 0 V del sistema de control.

3. Se incorporaron tres sensores de humedad del suelo, identificados como SH1, SH2 y SH3, alimentados a 24 VDC. Cada sensor fue conectado mediante tres terminales: El terminal 1 al positivo de 24 VDC, el terminal 2 al común 0 V y el terminal 3 hacia la entrada correspondiente del Siemens LOGO!, permitiendo enviar la señal de condición de humedad del terreno al controlador.
4. Los sensores de humedad fueron distribuidos en diferentes puntos representativos del área de cultivo, con el objetivo de obtener una lectura más confiable del estado hídrico del suelo. Esta configuración permitió evitar que la decisión de riego dependiera de un solo punto de medición, mejorando la respuesta automática del sistema frente a variaciones de humedad en la parcela.
5. Se conectaron al controlador las señales provenientes de los elementos de mando y supervisión, incluyendo el pulsador de arranque, el pulsador de paro, el pulsador de emergencia y los tres sensores de humedad del suelo. Estas señales constituyeron las variables principales de decisión para el funcionamiento automático del sistema de riego.
6. Para el criterio de activación del riego se estableció una banda de humedad con histéresis. El sistema activará la electrobomba cuando al menos dos de los tres sensores registren una humedad igual o menor al 35 %, condición considerada como suelo seco o con necesidad de riego. Asimismo, el sistema desactivará la electrobomba cuando al menos dos sensores registren una humedad igual o mayor al 45 %, condición considerada como humedad suficiente para el cultivo. Este criterio se adoptó tomando como referencia estudios sobre requerimientos hídricos del plátano, en los cuales se evaluó la condición de humedad del suelo mediante capacidad de campo, punto de marchitez permanente y lámina de agua aprovechable para el cultivo de plátano Dominico-Hartón (Castaño et al., 2012).
7. La señal de arranque fue asignada a la entrada Set del bloque SR, de modo que, al activarse dicha condición junto con la demanda de riego, el controlador mantuvo la salida energizada durante el ciclo de operación. Esta configuración permitió establecer una

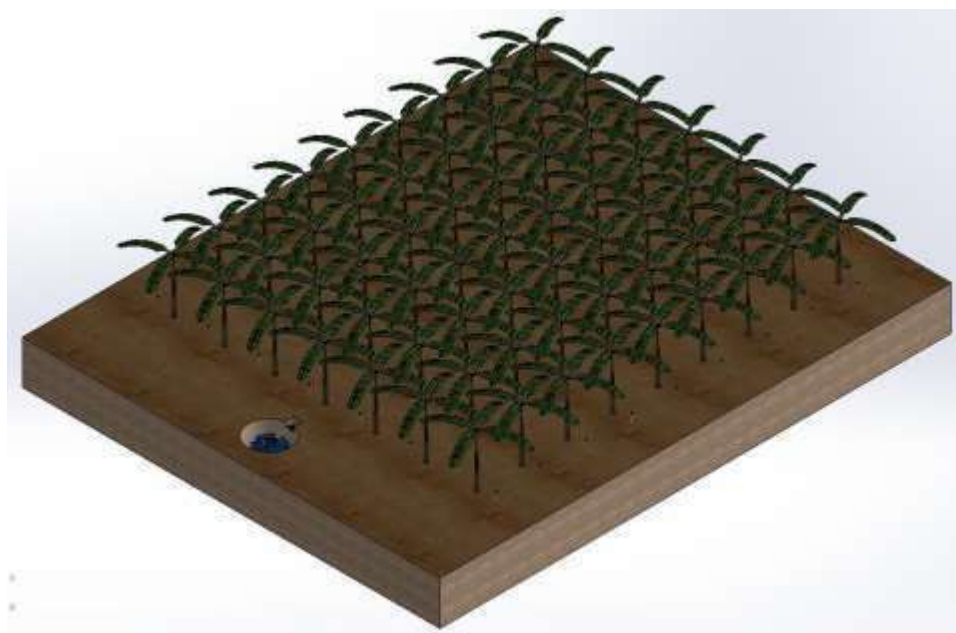
lógica de auto-retención controlada, evitando que la bomba dependiera únicamente de un pulso momentáneo de arranque.

8. Las condiciones de paro, emergencia o humedad suficiente fueron procesadas mediante una lógica combinacional. Cuando se activó el pulsador de paro, el pulsador de emergencia o cuando al menos dos sensores alcanzaron el valor de humedad de apagado, se activará la entrada Reset del bloque SR, anulando el enclavamiento del sistema y deteniendo la electrobomba.
9. La salida principal del bloque SR fue asociada a la salida Q1 del Siemens LOGO!, encargada de energizar la bobina del contactor K1, responsable del accionamiento de la electrobomba de riego. De manera complementaria, las salidas Q2 y Q3 fueron destinadas a la señalización luminosa del estado operativo del sistema, indicando condiciones como bomba en marcha, sistema habilitado o riego activo.
10. En términos funcionales, la lógica programada permitió que el sistema respondiera automáticamente a la condición de humedad del suelo. Cuando el terreno presente humedad baja en al menos dos puntos de medición, el LOGO! activará la electrobomba; posteriormente, cuando la humedad alcanza el nivel superior programado, el sistema desactivará la bomba de manera segura.
11. La incorporación de tres sensores de humedad permitió mejorar la confiabilidad del sistema automatizado, debido a que la decisión de riego se basó en un criterio de comparación entre varias zonas del cultivo. De esta forma, se redujo la posibilidad de activaciones incorrectas por lectura puntual errónea y se favoreció una aplicación más eficiente del agua en el cultivo de plátano.

3.3.2 Ensamble del sistema de riego automatizado

Figura 10

Vista 3D del sembrío de plátano



Fuente. Elaboración propia

En esta actividad se desarrolló el ensamble técnico del sistema de riego automatizado, considerando la disposición de los componentes hidráulicos principales y la secuencia lógica de instalación que se seguiría en una implementación real. El sistema modelado estuvo conformado por una cisterna de 5000 L, una electrobomba de 1 HP, tubería de succión de PVC SAP de 1 pulgada, una línea de impulsión de PVC SAP de 3/4 de pulgada, un filtro tipo Y de 1 pulgada, accesorios de unión y derivación, y una red de distribución compuesta por 63 microaspersores de 70 L/h para el riego de 63 plantas de plátano.

Paso 1. Ubicación y disposición de la cisterna

En primer lugar, se definió la ubicación de la cisterna de almacenamiento de 5000 L en una zona próxima al área de cultivo, de manera que permitiera reducir la

longitud innecesaria de la línea de succión y facilitar la alimentación de la electrobomba. Esta unidad fue considerada como el elemento inicial del sistema hidráulico, al cumplir la función de reserva y abastecimiento de agua hacia la red de riego

Paso 2. Instalación de la línea de ingreso hacia la cisterna

Posteriormente, se planteó la instalación de la tubería de ingreso de agua hacia la cisterna mediante conectores de PVC SAP de 3/4 de pulgada, asegurando la continuidad de alimentación y el acoplamiento adecuado con el depósito. Esta etapa permitió definir el punto de abastecimiento inicial del sistema y garantizar la reposición del volumen de agua almacenado

Paso 3. Montaje de la electrobomba y línea de succión

A continuación, se consideró el montaje de la electrobomba de 1 HP en una posición cercana a la cisterna, con el fin de disminuir pérdidas de carga en la aspiración y mejorar la eficiencia de operación. Desde la salida inferior o punto de toma de la cisterna, se dispuso una tubería de succión de PVC SAP de 1 pulgada que conectó directamente con la entrada de la bomba. Esta configuración permitió establecer el tramo de captación de agua desde el almacenamiento hasta la unidad de impulsión

Paso 4. Incorporación del filtro

Seguidamente, se planteó la instalación del filtro tipo Y de 1 pulgada con discos de 80 mesh en la línea de descarga, aguas abajo de la electrobomba, con el objetivo de retener partículas sólidas y proteger los microaspersores frente a obstrucciones. La incorporación de este componente resultó técnicamente necesaria debido a que los emisores de riego localizado requieren una adecuada filtración para conservar la uniformidad de descarga y evitar fallas en el sistema

Paso 5. Instalación de la tubería de impulsión principal

Luego, se definió la instalación de la tubería de impulsión principal de PVC SAP de 3/4 de pulgada, la cual condujo el caudal impulsado por la bomba hacia la red de distribución del cultivo. Esta tubería principal fue el elemento encargado de transportar el agua filtrada desde la unidad de bombeo hasta las derivaciones que alimentaron a los emisores distribuidos en el área de sembrío

Paso 6. Ensamble de la red de distribución secundaria

Una vez establecida la línea principal, se proyectó el ensamblaje de la red secundaria de distribución mediante tramos de tubería PVC SAP de 3/4 de pulgada, tees de derivación y codos de 90°. En esta etapa se organizó la distribución del caudal a lo largo del sembrío, permitiendo la alimentación de cada punto de riego.

Paso 7. Ubicación e instalación de los microaspersores

Posteriormente, se consideró la instalación de 63 microaspersores de 70 L/h, distribuidos de acuerdo con la ubicación de las 63 plantas de plátano representadas en el plano de ensamblaje. Cada emisor fue conectado a la red de distribución para suministrar el caudal requerido en la zona radicular del cultivo. Asimismo, el microaspersor se ubicó a 75 cm de la planta de plátano (Nelson, s.f), debido a que esta separación permitió humedecer la zona radicular activa, donde la planta absorbe la mayor parte del agua, evitando aplicar el riego directamente sobre el tronco de la planta de plátano.

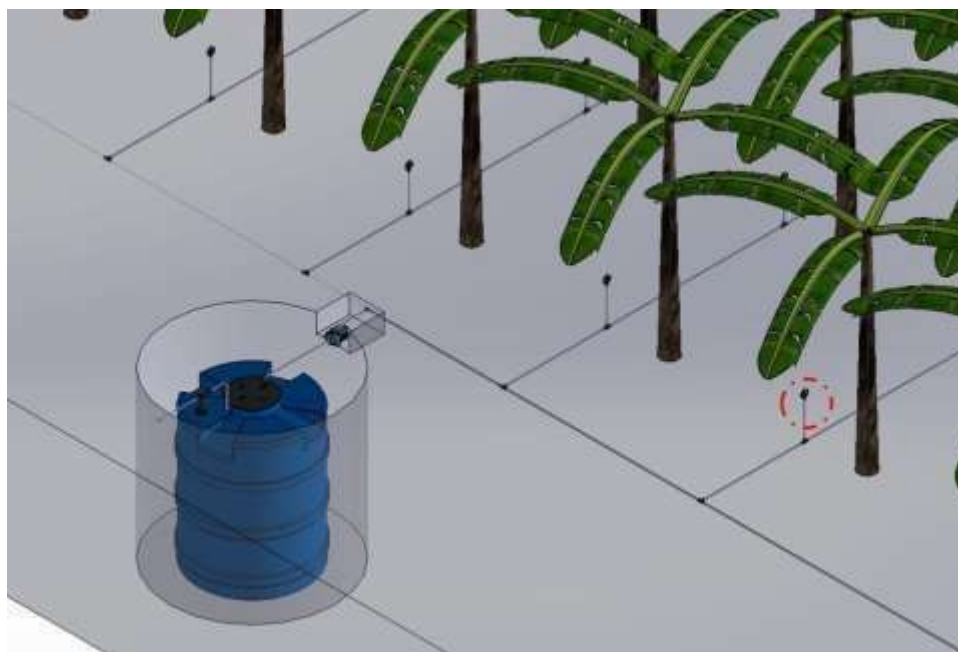
Paso 8. Verificación del ensamble general del sistema

Finalmente, se efectuó la verificación del ensamble completo, comprobando la continuidad hidráulica entre la cisterna, la línea de succión, la electrobomba, el filtro, la tubería principal, las derivaciones y los microaspersores. Asimismo, se identificaron los componentes responsables de pérdidas de carga localizadas, tales

como tees, codos y filtro, con la finalidad de integrarlos posteriormente en el análisis hidráulico del sistema. De esta manera, el ensamble desarrollado constituyó la base estructural y funcional para la simulación y para el diseño del control automatizado del riego.

Figura 11

Sistema de abastecimiento de agua y distribución de microaspersores en el sembrío de plátano



Fuente. Elaboración propia

3.4 Evaluación técnica y económica del sistema de riego automatizado.

3.4.1 Evaluación técnica del sistema automatizado de riego

La evaluación técnica del sistema automatizado de riego se planteó a nivel de diseño, considerando de manera ordenada los siguientes aspectos:

1. Definición de la unidad de bombeo

Se definió una bomba eléctrica de 1 HP (M1) como elemento principal de impulsión hidráulica, destinada a transportar el agua desde la cisterna hacia la red de distribución del sistema de riego.

2. Planteamiento del sistema de maniobra eléctrica

Se consideró el uso de un contactor de potencia (KM1) y su respectiva bobina K1 (A1-A2) para efectuar el accionamiento controlado de la bomba desde el circuito de mando.

3. Diseño del sistema de protección eléctrica

Se contempló la incorporación de un interruptor termomagnético de fuerza (IT1) para la protección del circuito de potencia frente a cortocircuitos y sobrecorrientes, así como de un relé térmico (RTF) para la protección del motor ante sobrecargas prolongadas. De manera complementaria, se incluyeron los interruptores termomagnéticos Q1 y Q2 para proteger el circuito de control y la alimentación del controlador lógico.

4. Planteamiento del control automático del riego

Se diseñó la incorporación de un controlador lógico programable Siemens LOGO! V8, encargado de procesar la señal del sensor de humedad del suelo (I1) y ejecutar la lógica de control del sistema, con el fin de habilitar o interrumpir el funcionamiento de la bomba según la condición de humedad del terreno.

5. Consideración de los elementos de mando y señalización

Se incluyeron un pulsador de arranque (START) y un pulsador de paro (STOP) para la operación manual del sistema, así como dos lámparas piloto (H1 y H2) para la señalización visual del estado de funcionamiento y control.

6. Definición de la alimentación y seguridad eléctrica

Se planteó una alimentación eléctrica L – N - PE para suministrar energía al circuito de fuerza y al circuito de control, considerando además el conductor de protección a tierra como medida básica de seguridad operativa.

7. Compatibilidad con el diseño hidráulico del sistema

Se estableció la compatibilidad del sistema de control con la configuración hidráulica diseñada, compuesta por una cisterna de 5000 L, tuberías PVC SAP, filtro tipo Y y 63 microaspersores de 70 L/h, distribuidos de acuerdo con la ubicación de las 63 plantas de plátano en el área de cultivo.

8. Conclusión técnica del diseño

A partir de la configuración propuesta, se determinó que el sistema automatizado de riego presentó un diseño funcional, seguro y técnicamente coherente para su aplicación en el cultivo de plátano, al integrar de manera adecuada los elementos de fuerza, mando, protección, sensado y distribución hidráulica.

3.4.2 Evaluación económica del sistema automatizado de riego

Tabla 4

Costo estimado de los componentes del sistema automatizado de riego

N.º	Componente	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
1	Cisterna de 5000 L	1	6500	6500

2	Electrobomba centrífuga 1 HP	1	375	375
3	Tubería PVC SAP 3/4"	56	13.9	778.4
4	Tubería PVC SAP 1" de succión	1	19	19
5	Tee PVC SAP 3/4"	63	4	252
6	Codo 90° PVC SAP 3/4" y roscado	17	3.4	57.8
7	Conector PVC SAP 3/4"	2	0.7	1.4
8	Filtro tipo Y 80 mesh	1	98	98
9	Microaspersor 70 L/h	63	5	315
10	Sensor de humedad del suelo	3	612.3	1836.9
11	PLC Siemens LOGO! V8	1	680	680
12	Contactor de potencia	1	205	205
13	Relé térmico	1	100.5	100.5
14	Interruptor termomagnético de fuerza	1	39.04	39.04
15	Interruptores termomagnéticos de control	2	58.8	117.6
16	Pulsadores START / STOP	2	20.2	40.4
17	Lámparas piloto	2	71	142
18	Tablero, cableado y accesorios de montaje	-	150	150
			TOTAL	11,708.04

Fuente. Elaboración propia

A partir de los costos estimados, la inversión total del sistema se determinó mediante la siguiente expresión:

$$I_T = \sum_{i=1}^n C_i$$

Reemplazando los valores de la tabla:

$$I_T = 11,708.04 \text{ soles}$$

Dado que el sistema fue planteado a nivel de diseño, la recuperación de la inversión no se sustentó únicamente en el consumo eléctrico, sino también en los beneficios económicos asociados a la automatización del riego. En ese sentido, el ahorro total anual se expresó como la suma del ahorro por reducción de mano de obra, el ahorro por uso eficiente del agua y el beneficio derivado de un mejor manejo hídrico del cultivo:

$$A_t = A_{mo} + A_{agua} + A_{mh}$$

Donde:

A_t : Ahorro total anual

A_{mo} : Ahorro anual por reducción de mano de obra

A_{agua} : Ahorro anual por uso eficiente del agua

A_{mh} : beneficio anual por mejor manejo hídrico del cultivo

El periodo de recuperación de la inversión se calculó mediante:

$$PRI = \frac{I_T}{A_t}$$

Con el fin de que la recuperación económica del sistema se ubique en un horizonte técnicamente aceptable de 3 a 4 años, se determinó el ahorro anual requerido para cada escenario.

Para una recuperación en 4 años:

$$A_t = \frac{11,708.04}{4} = 2927 \text{ s./año}$$

Para una recuperación en 3 años:

$$A_t = \frac{11,708.04}{3} = 3902.7 \text{ s./año}$$

Asimismo, el ahorro mensual equivalente fue:

Para 4 años:

$$A_t = \frac{2927}{12} = 243.92 \text{ s./año}$$

Para 3 años:

$$A_t = \frac{3902.7}{12} = 325.23 \text{ s./año}$$

Con base en estos resultados, se estableció que el sistema automatizado de riego podría alcanzar un periodo de recuperación entre 3 y 4 años, siempre que durante su operación genere un ahorro mensual aproximado entre S/. 243.92 y S/. 325.23. Este valor puede sustentarse técnicamente al considerar que la automatización reduce la necesidad de riego manual, mejora la eficiencia en la aplicación del agua y favorece un suministro hídrico más uniforme y oportuno en el cultivo de plátano.

Tabla 5

Ahorro requerido para la recuperación de la inversión

Escenario de recuperación	Ahorro anual requerido (S/.)	Ahorro mensual requerido (S/.)
4 años	2927	243.92
3 años	3902.7	325.23

Fuente. Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

Respecto al primer objetivo específico, los resultados obtenidos en la determinación de los requerimientos hídricos permitieron establecer una demanda bruta de 3254 L/día para 63 plantas de plátano, equivalente a 51.65 L/planta·día, a partir de un requerimiento anual de diseño de 2000 mm/año y una eficiencia de aplicación del 80 %. Este planteamiento fue coherente con lo reportado por García (2019), quien demostró que la automatización del riego permitió optimizar el recurso hídrico y mejorar la eficiencia de aplicación frente a métodos convencionales. En ese sentido, la determinación de la lámina diaria y del volumen bruto requerido constituyó una base técnica indispensable para el posterior dimensionamiento hidráulico del sistema, permitiendo que la propuesta respondiera de forma objetiva a la necesidad real del cultivo.

En cuanto al segundo objetivo específico, el dimensionamiento hidráulico del sistema permitió seleccionar una cisterna de 5000 L, una red de distribución con tubería PVC SAP de 1" y 3/4", 63 microaspersores de 70 L/h, un filtro tipo Y y una electrobomba de 1 HP, configurando una propuesta técnicamente consistente con la demanda hídrica calculada. Estos resultados guardaron relación con lo señalado por Mendoza y Pérez (2024), quienes en una propuesta de riego automatizado por microaspersión también definieron parámetros como número de emisores, tiempo de riego, electrobomba y componentes hidráulicos, concluyendo que el diseño debía responder tanto a criterios hidráulicos como a la disponibilidad comercial de los elementos.

Respecto al tercer objetivo específico, la simulación del sistema automatizado con Siemens LOGO! V8 permitió validar la interacción entre el circuito de control y el circuito de fuerza, integrando la señal del sensor de humedad del suelo, los pulsadores de arranque y paro y el accionamiento de la bomba de 1 HP mediante contactor. El diseño incorporó protección del circuito de potencia con interruptor termomagnético y relé térmico, así como protección independiente del circuito de control, lo que configuró una maniobra segura. La programación en LOGO! Soft Comfort empleó un bloque de memoria tipo SR, permitiendo el enclavamiento de la orden de marcha y el mantenimiento de la operación mientras persistiera la demanda de riego. Asimismo, las salidas programadas permitieron accionar la maniobra principal y la señalización

luminosa. La simulación resultó compatible con el diseño hidráulico compuesto por una cisterna de 5000 L, tuberías PVC SAP de 1" y 3/4", un filtro tipo Y y 63 microaspersores de 70 L/h, verificándose coherencia entre la lógica de control y la red de distribución. Este resultado fue concordante con Jácome (2015), quien reportó que los PLC permitieron desarrollar secuencias de automatización confiables, y con Julca y Leyva (2023), quienes confirmaron mediante simulación la continuidad operativa y la eficiencia del riego automático.

Finalmente, respecto al cuarto objetivo específico, la inversión estimada del sistema automatizado de riego ascendió a S/ 11,708.04, incluyendo una cisterna de 5000 L, electrobomba centrífuga de 1 HP, 56 und. de tubería PVC SAP de 3/4", una línea de succión de 1", 63 tees, 7 codos de 90° y 10 codos roscado PVC SAP 3/4", 63 microaspersores, 3 sensores de humedad del suelo, un PLC Siemens LOGO! V8, contactor, relé térmico, interruptores termomagnéticos, pulsadores, 2 lámparas piloto y accesorios de montaje. Con base en esta inversión, se determinó un periodo de recuperación de 3 a 4 años, condicionado a ahorros mensuales entre S/ 243.92 y S/ 325.23, equivalentes a ahorros anuales entre S/ 2927 y S/ 3902. Este comportamiento económico se sustentó en la reducción del riego manual, la disminución de la mano de obra permanente y la mejora en la eficiencia de aplicación del agua, considerando que el sistema fue diseñado para suministrar 3254 L/día, con una dotación de 51.65 L/planta·día para 63 plantas. Respecto al objetivo general, se concluye su total cumplimiento a través de la coherencia y el éxito alcanzado en cada uno de los objetivos específicos, demostrando que el modelamiento del sistema automatizado es técnica y económicamente viable para el cultivo de plátano en la zona. Así también estos resultados fueron consistentes con Cieza y Ordoñez (2024), quienes reportaron beneficios económicos medibles en sistemas de riego automatizado, y con García (2019), quien evidenció reducción del consumo de agua y rápida recuperación de inversión. Por tanto, la propuesta desarrollada a nivel de diseño presentó sustento técnico y económico para su aplicación en el cultivo de plátano.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se concluye que el objetivo general de modelar un sistema de riego automatizado para el cultivo de plátano en Fila Alta – Jaén fue alcanzado satisfactoriamente, evidenciándose su viabilidad técnica, hidráulica, operativa y económica.

Se concluyó que la determinación de los requerimientos hídricos permitió establecer, de manera técnica y cuantificable, la demanda diaria de agua necesaria para el diseño del sistema de riego automatizado, definiéndose un volumen bruto de 3.254 m³/día y una dotación de 51.65 L/planta·día para 63 plantas distribuidas en un área efectiva de 475.02m².

Se estableció que el dimensionamiento del sistema de riego automatizado fue técnicamente adecuado, debido a que los componentes seleccionados respondieron de manera coherente a la demanda hídrica del cultivo, a las condiciones de conducción del agua y a los requerimientos de operación del sistema, garantizando una configuración hidráulica funcional para el abastecimiento de 63 plantas de plátano. Se verificó que la simulación del sistema automatizado mediante Siemens LOGO! V8 permitió validar técnicamente la lógica de control del riego, integrando de forma segura el sensado de humedad del suelo, la maniobra eléctrica y el accionamiento de la bomba de 1 HP, en compatibilidad con la red hidráulica compuesta por una cisterna de 5000 L, tuberías PVC SAP de 1" y 3/4", filtro tipo Y y 63 microaspersores de 70 L/h. Se evidenció que la evaluación económica del sistema automatizado de riego presentó viabilidad a nivel de diseño, al estimarse una inversión total de S/ 11,708.04 y un periodo de recuperación de 3 a 4 años, sustentado en ahorros mensuales entre S/ 243.92 y S/ 325.23, asociados a la reducción del riego manual, la disminución de mano de obra y la mejora en la eficiencia de aplicación de 3.254 m³/día.

Recomendaciones

Se recomendó que, en una futura implementación del sistema, los requerimientos hídricos calculados fueran validados en campo mediante monitoreo estacional de humedad del suelo, evapotranspiración y respuesta agronómica del cultivo, con la finalidad de ajustar

la lámina de riego a las condiciones climáticas reales y mejorar la precisión operativa del sistema automatizado.

Se recomendó que, antes de la ejecución física del sistema, se realizara una verificación hidráulica complementaria en campo respecto a presiones disponibles, uniformidad de descarga y comportamiento real de los microaspersores, con el propósito de optimizar la distribución del caudal y reducir posibles desviaciones respecto al diseño teórico.

Se recomendó que, en trabajos posteriores, la simulación fuera complementada con pruebas de implementación a escala piloto, incluyendo calibración de sensores, tiempos reales de respuesta y evaluación del comportamiento eléctrico del sistema, con la finalidad de contrastar el desempeño teórico con condiciones reales de operación.

Se recomendó que, para fortalecer la viabilidad económica del proyecto, en una etapa posterior se incorporaran costos reales de instalación, mantenimiento, consumo energético y reposición de componentes, así como indicadores financieros complementarios, tales como VAN, TIR y relación beneficio/costo, a fin de disponer de una evaluación económica más robusta para su ejecución real.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegret, E., & Martínez, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XL(3), 41–55.
- Cárdenas, C. (2018). *Cuantificación del carbono fijado en plantaciones de plátano (Musa paradisiaca) en el distrito de Aguaytía – Ucayali*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/9564cc63-3b0d-4af8-9654-e96a433ea1ab>
- Cieza Quispe, Y. D., & Ordoñez Huaman, Y. J. (2024). *Diseño de un sistema de control automatizado mediante tecnología arduino para el riego del vivero de la municipalidad provincial de Jaén – Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. [https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/662/1/T_Ordoñez Huaman- Cieza Quispe_IME_2024.pdf](https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/662/1/T_Ordoñez%20Huaman-Cieza%20Quispe_IME_2024.pdf)
- García Pumagualle, C. A. (2019). *Estudio para la optimización del recurso hídrico con un sistema automatizado de riego en los pastos de la hacienda san pablo del cantón guano* [Tesis para optar título profesional, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. biblioteca.esPOCH.edu.ec
- Holzapfel, E. A., Pardo, X. M., Paz, V. P. da S., Rodrigues, A., Orrego, X. C., & Lopez, M. A. (2007). Análisis técnico-económico para selección de aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6), 557–563. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662007000600002>
- Indecopi. (2022). 2022 fue el mejor año para las solicitudes de patentes en la historia del Perú. Agencia Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-indecopi-2022-fue-mejor-ano-para-solicitudes-patentes-la-historia-peru-927519.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Compendio estadístico, Cajamarca 2022* [Cobertura de agua potable]. INEI. <https://www.inei.gob.pe>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2024, 9 de mayo). *Resultados de la pobreza monetaria en el Perú 2023*. INEI. <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/pobreza-monetaria-afecto-al-290-de-la-poblacion-el-ano-2023-15137/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas – Resultados Definitivos por Centros Poblados. Departamento de Cajamarca [Base de datos]. INEI. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1534/
- Jácome Zalazar, P. D. (2015). *Diseño e implementación de un módulo didáctico, utilizando un autómat programable para el laboratorio de electrónica con sus guías prácticas, aplicada para el control de los motores eléctricos, semaforización, conteo u otras aplicaciones* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica israel]. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/707>
- Julca Correa, C. J., & Leyva Carhuatanta, G. C. (2023). *Prototipo de sistema de riego automático para la conservación de áreas verdes de la Plaza Cívica – J.L.O* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10991>
- Mandado Pérez, E. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización (MARCOMBO)*. https://books.google.com.pe/books?id=5jp3bforBB8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Mendoza Soto, A. B., & Perez Guevara, M. E. (2024). *Propuesta de un sistema de riego automatizado por microaspersión para las áreas verdes de la universidad nacional de jaén* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/777/5/T_Mendoza Soto y Perez Guevara_IME_2024.pdf

Naylamp Mechatronics. (2023). Snsosres. *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 con base KY-015*. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/1072-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11-con-base-ky-015.html>

Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación* (Ediciones).
https://apps.utel.edu.mx/recursos/files/r161r/w24204w/Re/Metodologia_investigacion_diseno_y_ejecucion.pdf

PEDROLLO. (2024). *Bombas en acero inoxidable*. https://www.pedrollo.com/wp-content/uploads/schede-tecniche/ES/CP-ST_ES-ficha-tecnica_50Hz.pdf

SIEMENS. (2019). *¡LOGO! Formación basada en web*.
<https://support.industry.siemens.com/>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2024). *World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace*. UNESCO.
Recuperado de <https://www.unesco.org/reports/wwdr/en/wwdr/en/2024/statistics>

Andina Sensores. (s. f.). *Sensor MAS-1 – Sensor de humedad del suelo 4-20 mA para grandes distancias*. Andina Sensores. <https://andinasensores.com/producto/sensor-mas-1-sensor-de-humedad-del-suelo-4-20-ma-para-grandes-distancias/>

Siemens. (2022, 22 de septiembre). *Technical data: LOGO! AM2*. Siemens Industry Support. <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109741041>

- Cedeño, J. S. V. (2023). *Manejo integral de la producción de plátano*. Mawil.
<https://mawil.us/wp-content/uploads/2023/03/manejo-integral-de-la-produccion-de-platano.pdf>
- Espino, X. M. (2019). *Buenas prácticas agrícolas para el cultivo de plátano*. ASMIIA.
<https://asmiia.org/publicaciones/2019/07.pdf>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú. (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de plátano*. SENASA.
<https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2020/07/Guia-BPA-PLATANO.pdf>
- Grundfos. (s. f.). *Manual de ingeniería SP*. Grundfos.
https://www.grundfos.com/content/dam/local/es-co/catalogues/_jcr_content1/Manual_SP_de_ingenier%C3%ADa_GCO.pdf
- Nelson Irrigation. (s. f.). *Soluciones de riego para bananas*. Nelson Irrigation.
<https://nelsonirrigation.com/es/crops/bananas/>
- Amazon. (2020). *Sensor de Humedad*. Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.com/-/es/Naroot-impermeable-invernadero-accesorios-interiores/dp/B08BC5533M>
- El Rincon Del Riego. (2022). *Microaspersor Colgante*. Obtenido de El Rincon Del Riego: <https://elrincondelriego.com/microaspersores/colgante-70-lph/>
- Promart. (2021). *Electrobomba Centrifuga*. Obtenido de Promart: https://www.promart.pe/electrobomba-centrifuga-pedrollo-cpm-1hp-620/p?gclid=aw.ds&&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=promart-202507-ao-sub-ecom-null-revenue_adsmurai-google_shopping-compra-conversiones-null-null-null-null-null&gad_source
- Riego Yodo SRL. (2025). *Irretec*. Obtenido de Riego Yodo SRL: <https://www.riegotodo.com/producto/filtro-malla-ycv-3-4-120-mesh-5m3-h-m-r-irretec/>
- Rotoplas. (2023). *Promart*. Obtenido de Rotoplas: <https://www.rotoplas.com.pe/cisterna/rotoplas?srsId=AfmBOopRTZqrDyACBoqQ7x2Ub3lEgsTNkGrTjLV4Y-i9HkoHRAV1EaXQ>

AGRADECIMIENTO

Anderson Del Piero Farfán Ruiz

A mi familia, a ustedes les debo cada paso que he dado, cada meta alcanzada y cada sueño que me he atrevido a perseguir. Gracias por acompañarme en este camino, por sostenerme en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada pequeño logro, su confianza en mí ha sido la luz que ha guiado mis pasos incluso en los días más inciertos.

Este trabajo no es solamente mío, sino también de ustedes porque está reflejado su paciencia y sacrificio y su fe en mis capacidades.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este logro esperando que se sientan tan orgullosos de mí, como yo lo estoy de tenerlos en mi vida

Miguel Angel Julca Ñiquen

Manifiesto mi profundo agradecimiento a mi familia por su constante compañía, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de mi formación universitaria y durante el desarrollo de esta investigación. Su confianza, aliento permanente y respaldo moral fueron fundamentales para mantenerme firme en el cumplimiento de esta meta académica. A ellos les reconozco su valiosa presencia en cada esfuerzo realizado para alcanzar este importante logro profesional.

Asesor

Asimismo, expresamos nuestro especial agradecimiento al Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon, asesor de la presente investigación, por su orientación académica, disposición permanente y valiosos aportes durante el desarrollo del informe final de tesis. Sus observaciones, recomendaciones y conocimientos contribuyeron significativamente al fortalecimiento del trabajo, permitiendo encaminar adecuadamente cada una de las etapas de la investigación.

DEDICATORIA

Anderson Del Piero Farfán Ruiz

Dedico este trabajo, de manera especial, a mi familia, por constituir el pilar fundamental de mi vida y por acompañarme en cada etapa de mi formación personal y profesional. Su amor, sacrificio, confianza y apoyo incondicional me brindaron la fortaleza necesaria para enfrentar las dificultades y continuar avanzando hacia el cumplimiento de esta meta. A ellos les atribuyo también este logro, por haber sido mi inspiración constante y mi mayor motivación.

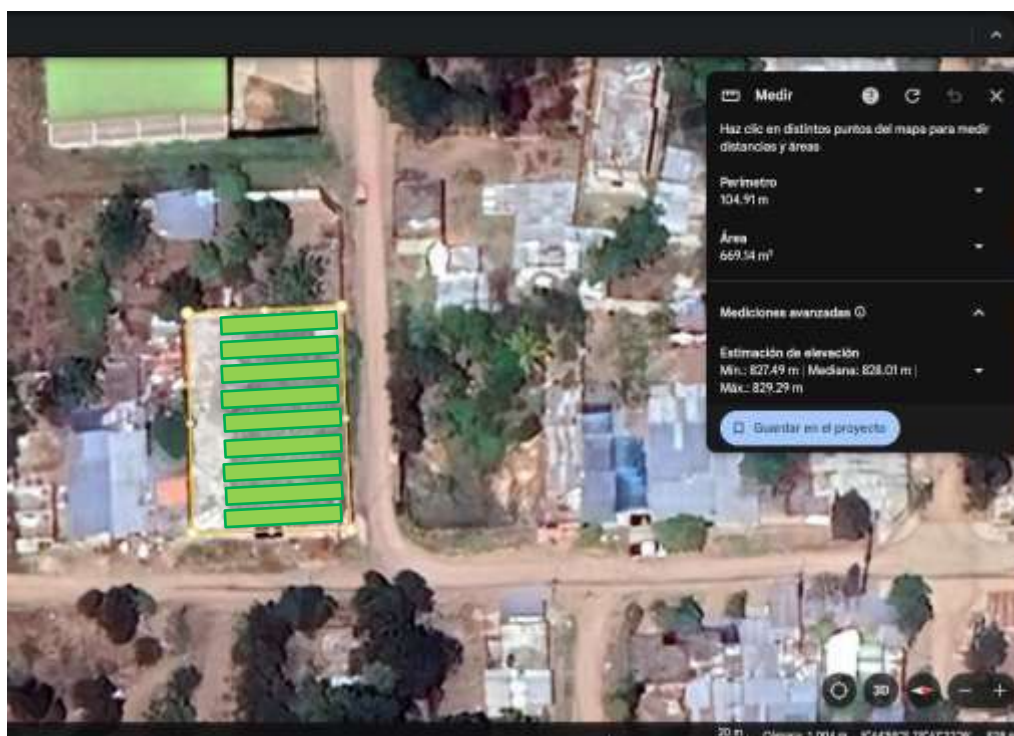
Miguel Angel Julca Ñiquen

Dedico la culminación de este trabajo a mi familia, por su presencia constante, comprensión y apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación académica. Su esfuerzo, confianza y palabras de aliento fueron fundamentales para alcanzar esta meta profesional. A ellos dedico este logro, en muestra de gratitud por haberme acompañado y respaldado en cada etapa de este camino.

ANEXOS

Figura 12

Distribución de las plantas de plátano en el sembrío



Fuente. Elaboración propia

Figura 13

Distancias entre plantas de plátano en el sembrío



a) Distancia entre plantas



b) Distancia entre filas

Fuente. Elaboración propia

Figura 14

Cisterna para agua



Ficha técnica

Cisterna para agua de 5,000 L

Rotoplas 2022

Fabricada con polietileno de alta densidad 100% virgen, que cumple con la norma FDA (Food and Drug Administration de los EE.UU) - grado alimenticio.

Ideal para almacenar agua, posee exclusiva capa interior antibacterial AB, la cual reduce la reproducción de microorganismos (algas y bacterias).



Material

Polietileno de alta densidad.

Color

Celeste, interior blanco.

Capacidad (L)	Diámetro (m)	Altura (m)
5,000	2.20	1.70

Garantía de por vida para las cisternas de 1,200 y 2,800 L.
Garantía de 5 años para cisterna de 5,000 y 10,000 L.

Fuente: (Rotoplas, 2023)

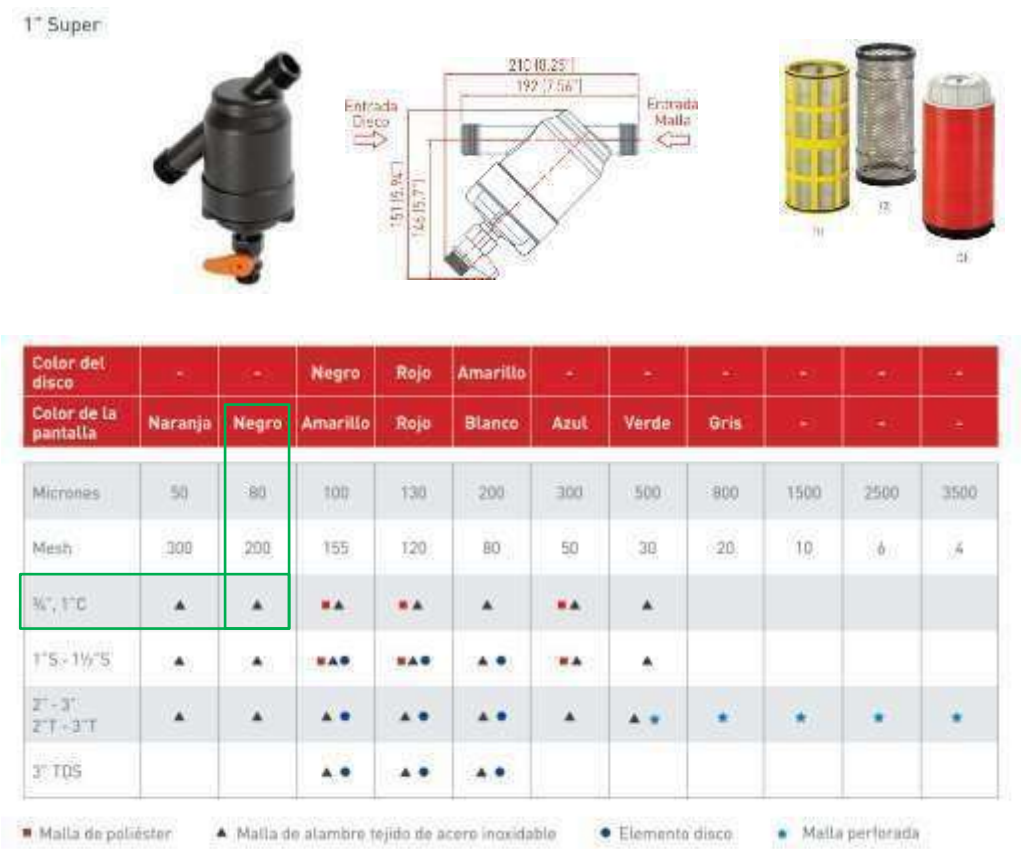
Figura 15

Micro aspersor de 70LH



Fuente. (El Rincon Del Riego, 2022)

Figura 16
Filtro plástico tipo Y



Fuente: (Riego Yodo SRL, 2025)

Figura 17
Electrobomba centrífuga 1HP



FICHA TÉCNICA

Color principal Azul	Material predominante de empaque primario Cartón
Peso en gramos del empaque primario 365 g	Características Protector térmico que se activa a los 60° de temperatura. Electrobomba volumétrica capaz de desarrollar una gran altura de elevación con potencias relativamente reducidas. Particularmente adecuada para aumentar la altura de elevación en las instalaciones domésticas.
Garantía 1 Año	Observaciones Instalar en lugares protegidos del clima.
Profundidad Del Producto 28.6 cm	Recomendaciones De Uso Verifique la coincidencia del voltaje de alimentación con el de la máquina. Leer las instrucciones de uso para una correcta instalación.
Altura Del Producto 24 cm	Modelo CPm 620
Tipo de Producto Electrobomba	Ancho Del Producto 19 cm
Sub Tipo de Producto Centrífuga	Material Hierro
Máximo poder de descarga 100 l/min	Marca Pedrollo
Presión máxima de trabajo 49 PSI	Peso Del Producto 11 kg
Diámetro de distribución 1 "	Altura recomendable de distribución 21 m

Fuente: (Promart, 2021)

Figura 18

Sensor de humedad del suelo, 0-10 V de salida impermeable



Descripción del producto

Especificaciones:

Condición: 100% nuevo

Tipo de artículo: Sensor de humedad del suelo

Material: ABS + acero inoxidable 316

Fuente de alimentación: 12-24V DC

Rango de medición de humedad: 0-100%

Señal de salida: 0-10V

Precisión del agua: $\pm 3\%$ (0-53%), $\pm 5\%$ (53-100%)

Instalación: Todo integrado o toda la sonda insertada en el medio medido

Tiempo de respuesta: $< 1s$

Grado de protección: IP68

Consumo de energía: $\leq 0.15W$ (@12V DC, 77.0 °F)

Rango de presión de trabajo: 0.9-1.1atm

Longitud: aprox. 13.8cm / 5.4in

Grosor: aprox. 0.6 pulgadas

Peso: aprox. 7 onzas

Lista del paquete:

1 x sensor de humedad del suelo

1 instrucciones (idioma español no garantizado).

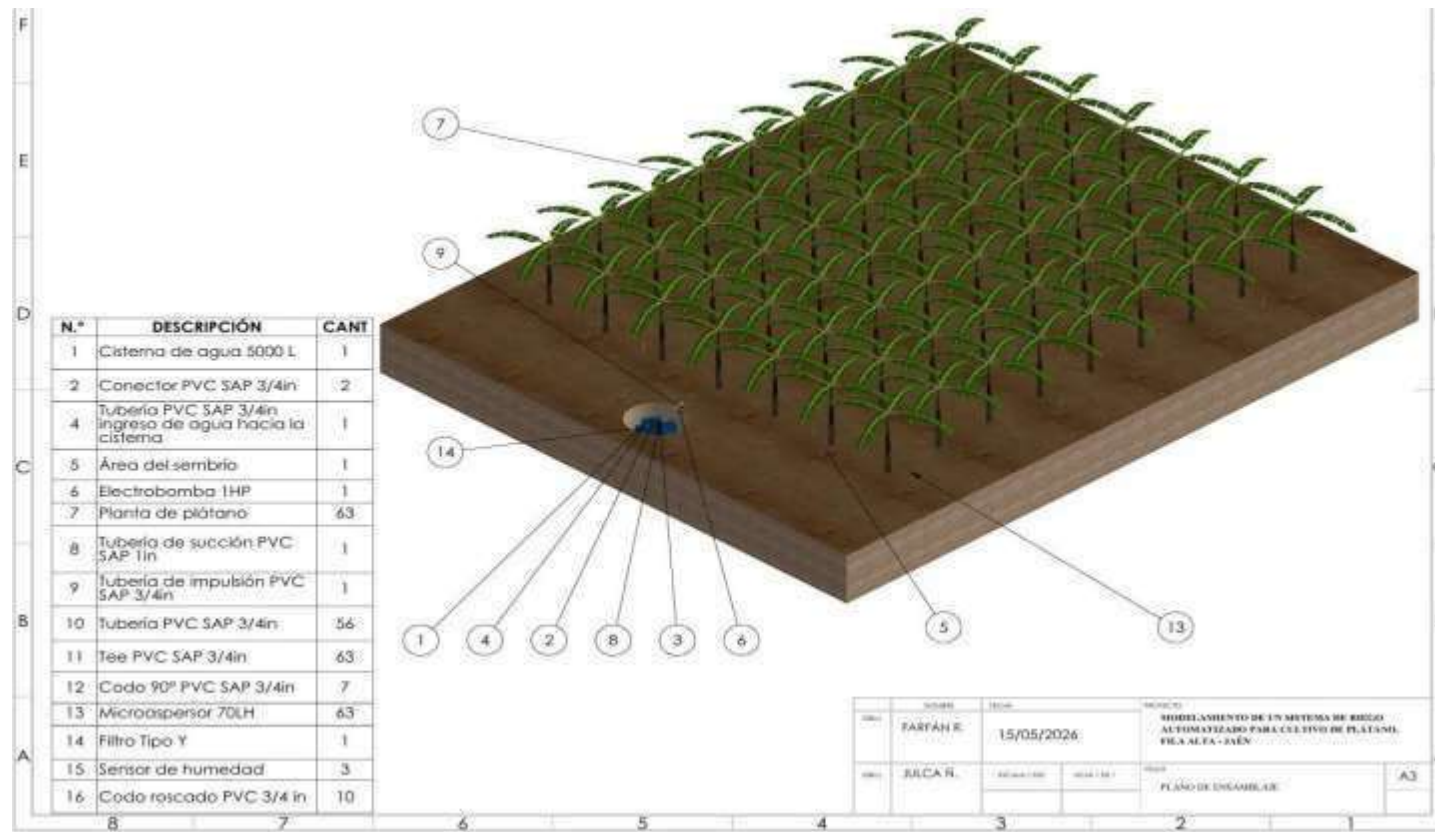
Nota:

Puede haber un margen de error de 1 a 1.2 in debido a la medición manual. Gracias por tu comprensión.

Fuente: (Amazon, 2020)

Figura 19

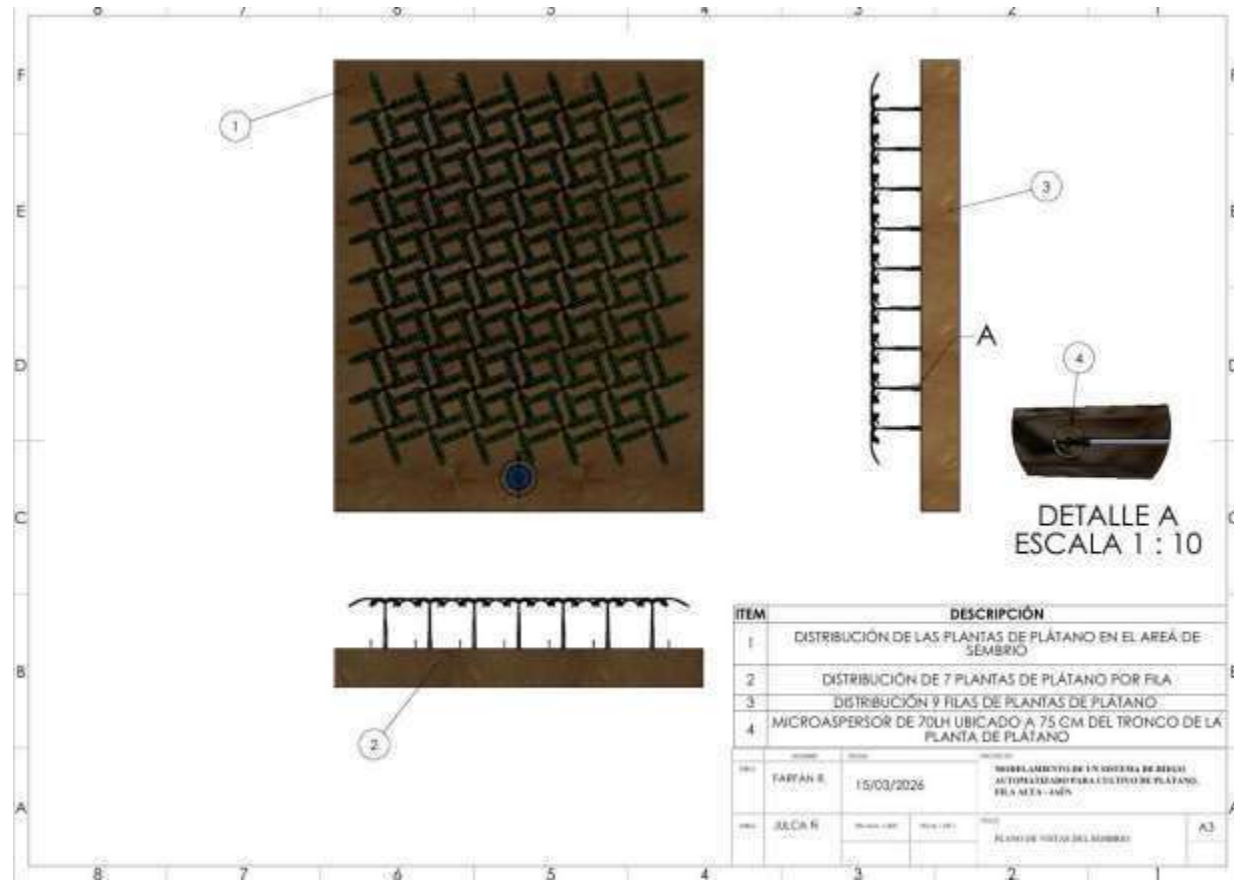
Plano de ensamble del sistema de riego



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20

Plano de visitas de ensamble del sistema de riego



Fuente. Elaboración propia

TABLA 6: INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATO

Fecha	Hora	Numero de planta	Cantidad de baldes echados	Cantidad inicial en L	Cantidad final en L	Desperdicio en L

Fuente: Elaboración Propia.