UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANIA Y ELECTRICA

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR GOTEO EN EL PARQUE EXPERIMENTAL DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

Autor(a): Bach. José Edilmer Córdova García

Asesor(a): Dr. Felix Poicon Edwin Carlos Lenin

Línea de investigación: Automatización y Control

JAÉN-PERÚ
2026

José Edilmer Córdova García

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR GOTEO EN EL PARQUE EXPERIMENTAL DE LA MUNICIPALID...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3262684647

Fecha de entrega
28 may 2025, 11:11 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
28 may 2025, 11:16 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
A_GARCIA_JOSE_EDILMER-INFORME_-_JOSE_EDILMER_CORDOVA_GARCIA.pdf

Tamaño de archivo
6.0 MB

63 Páginas

11.985 Palabras

67.934 Caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN
Dr. Alexander Huaman Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

4% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

4% Internet sources
1% Publications
3% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

Hidden Text
435 suspect characters on 7 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día jueves 05 de junio del 2025, siendo las 17:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario : Mg. Marco Luis Pérez Silva
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrin Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

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

Titulado: **"PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR GOTEO EN EL PARQUE EXPERIMENTAL DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN"**.

Presentado por los bachilleres: **José Edilmer Córdova García**, 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	(17)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 18:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.

Mg. José Andrés Fernández Mera
Presidente Jurado Evaluador

Mg. Marco Luis Pérez Silva
Secretario Jurado Evaluador

Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal Jurado Evaluador

“Nombre del Año”

ANEXO N°06:

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

Yo, CORDOVA GARCIA JOSE EDILMER, egresado de la carrera Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA de la Facultad de FIME de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N°: 75786142

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado: “PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR GOTEO EN EL PARQUE EXPERIMENTAL DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN”. Asesorado por DR. Dr. Felix Poicon Edwin Carlos Lenin

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de ING. Mecánico y Eléctrico.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi 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 presento 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. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy 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, día, mes y año.



Nombre Firma y huella del autor.

ÍNDICE

RESUMEN 1
ABSTRACT 2
I. INTRODUCCIÓN 3
II. MATERIALES Y METODOS 8
2.1. Población, muestra y muestreo 8
2.2. Materiales y equipos 9
2.2.1. Equipos 9
2.2.2. Muestra y características de arboles 17
2.3. Métodos 19
2.4. Metodología 20
2.4.1. Determinar los requerimientos hídricos de los árboles del parque experimental 20
2.4.2. Diseñar un sistema de riego automatizado por goteo 29
2.4.3. Implementación del diseño del sistema de riego 31
2.4.4. Evaluación técnica y económica de estabilidad 35
2.5. Variables de operacionalización 36
2.6. Procedimiento metodológico 37
III. RESULTADOS 38
3.1. Cuadro de resultado de los cálculos sobre precipitaciones 38
3.2. Evaluación Socioeconómica del Proyecto 40
3.3. Lenguaje de programación en Arduino 44
3.3.1. Secuencia lógica de programación en la interfaz de hardware Arduino 44
3.4. Diagrama estructural del circuito de automatización del riego por goteo implementado con Arduino 45
IV. DISCUSIÓN 46
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 49
5.1. Conclusiones 49
5.2. Recomendaciones 50
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51
ANEXOS 56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sensor de temperatura y humedad relativa con base KY-015 9
Figura 2. Arduino HW 10
Figura 3. Bomba de agua centrifuga werken 1HP 100 L/min Metal 11
Figura 4. Tanque de agua Azul 1100 Litros + kit de accesorios Rotoplas 12
Figura 5. Tuberia PVC de ¾ pulg 14
Figura 6 Módulo Relay 2CH 5VDC 15
Figura 7. Manguera para Microriego o Goteo 16
Figura 8 Goteros regulables para riego 17
Figura 9 Ubicación geográfica del Parque experimental de la Municipalidad provincial de Jaén 19
Figura 10. Distribución de los elementos del sistema de riego por goteo 30
Figura 11. Proceso de automatización del problema 31
Figura 12. Sistema de riego por goteo implementado en el parque experimental de la Municipalidad provincial de Jaén 32
Figura 13. Implementación en físico del sistema Arduino 32
Figura 14. Conexión de la electrobomba, tanque y tablero de control 33
Figura 15. Parte interior del tablero de control Arduino 33
Figura 16. Activación del sistema de riego por goteo 34
Figura 17. Ubicación del sensor a 30 cm de profundidad 34
Figura 18. Prueba del funcionamiento del aspersor 34
Figura 19. Diagrama de conexión de lógica cableada del sistema Arduino 45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11 .. 9
Tabla 2. Especificaciones técnicas Arduino HW 10
Tabla 3. Especificaciones técnicas de electrobomba Periférica Werken 1 HP XKM80-1 40L/min 12
Tabla 4. Especificaciones técnicas de Tanque de agua Azul 1100 litros + kit de accesorios Rotoplas 13
Tabla 5 Especificaciones técnicas de Tubo x 5m 3/4 simple presión - Agua fría Tuboplast 14
Tabla 6. Especificaciones técnicas de Módulo Relay 2CH 5VDC 15
Tabla 7. Especificaciones técnicas de Manguera Para Micro-riego O Goteo 16mm X 200mt Polietileno 16
Tabla 8. Especificaciones técnicas de Goteros Regulables Para Riego 17
Tabla 9. Operacionalización de variables 36

RESUMEN

La presente investigación desarrolla un prototipo de sistema de riego automatizado por goteo en el Parque Experimental de la Municipalidad Provincial de Jaén, orientado a optimizar el uso eficiente del agua y mejorar el riego en cultivos agrícolas. La investigación responde a la problemática regional de escasez hídrica, proponiendo una solución tecnológica accesible para disminuir el consumo de agua en zonas de producción agrícola. El sistema diseñado incorpora sensores de humedad y un controlador programable, que activan el riego en función de las condiciones específicas del suelo, permitiendo mantener niveles óptimos de humedad. Los resultados demuestran que el sistema automatizado proporciona un ahorro de agua considerable y una mayor homogeneidad en la distribución del recurso en comparación con los métodos manuales. Se concluye que el prototipo es una solución viable y escalable, con amplio potencial para contribuir a la sostenibilidad hídrica en el sector agrícola, además de ofrecer aplicabilidad en otras áreas productivas.

Palabras clave: riego automatizado, sistema de goteo, eficiencia hídrica, sostenibilidad agrícola, Jaén.

ABSTRACT

This research develops a prototype of an automated drip irrigation system in the Experimental Park of the Provincial Municipality of Jaén, aimed at optimizing the efficient use of water and improving irrigation in agricultural crops. The research responds to the regional problem of water scarcity, proposing an accessible technological solution to reduce water consumption in agricultural production areas. The designed system incorporates humidity sensors and a programmable controller, which activate irrigation based on specific soil conditions, allowing optimal humidity levels to be maintained. The results show that the automated system provides considerable water savings and greater homogeneity in the distribution of the resource compared to manual methods. It is concluded that the prototype is a viable and scalable solution, with great potential to contribute to water sustainability in the agricultural sector, as well as offering applicability in other productive areas.

Keywords: automated irrigation, drip system, water efficiency, agricultural sustainability, Jaén.

I. INTRODUCCIÓN

El agua, como recurso esencial para la vida y el desarrollo sostenible, enfrentó retos críticos derivados del cambio climático y la creciente demanda en sectores sobre las fuentes hídricas, especialmente en regiones vulnerables dentro de la provincia de Jaén como en centros poblados y caseríos. Y como consecuencia las plantas sometidas al déficit hídrico presentan alteraciones en procesos fisiológicos y metabólicos como la reducción en las tasas de fotosíntesis, disminución de la síntesis de proteínas totales y en las tasas de crecimiento. Ante esta problemática, la adopción de tecnologías automatizadas se plantea como una solución estratégica para mejorar su gestión y maximizar su eficiencia.

En este contexto, Smith et al. (2020) resaltan que los sistemas automatizados de riego mejoran la calidad de las plantas y reducen costos operativos. Dichos sistemas permiten un control preciso del agua según las necesidades de cada cultivo y el clima (Rodríguez, 2018). En regiones con escasez hídrica. Esta tecnología optimiza el uso del recurso y reduce la mano de obra aumentando la eficiencia y productividad (Sánchez & Pérez, 2022). Asimismo, los sensores de humedad del suelo permiten ajustar el riego en tiempo real, favoreciendo la salud vegetal y una gestión hídrica sostenible (García & Torres, 2020; López & Martínez, 2019).

Un antecedente significativo es el estudio de Chang Wong (2020) en la Hacienda Durand (Oyotún, Chiclayo), donde se reemplazó el riego por inundación por un sistema automatizado de riego por goteo, más eficiente en zonas con pendiente. Utilizando herramientas como Cropwat 8.0 y la fórmula de Hazen-Williams, se diseñó un sistema con un caudal de 6.481 L/s y electrobombas trifásicas de 10 HP controladas por PLC. Esta implementación mejoró la eficiencia hídrica, redujo costos laborales y demostró rentabilidad con un VAN de S/. 414,430.09 y una TIR de 150.9%, destacando la sustentabilidad de la inversión en este tipo de tecnología para la agricultura.

A nivel internacional, el riego manual en parques experimentales representa una limitación significativa en términos de eficiencia. En este contexto López et al. (2018) sostienen que el riego insuficiente genera estrés hídrico en las plantas. Asimismo, a escala global, la deforestación contribuye de manera considerable al agravamiento del cambio climático; en ese sentido, Perlin y Leguizam (2024) reportan que aproximadamente el 22% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del cambio en el uso del suelo. Por

consiguiente, automatizar el riego promueve la conservación ambiental y la sostenibilidad hídrica.

Oblitas & Pérez (2022) a nivel nacional, señalan que la agricultura constituye una de las actividades económicas más relevantes del país, cuya importancia radica en diversos factores climáticos, geográficos y humanos, que facilitan el cultivo de una variedad de especies nativas. No obstante, a pesar de los esfuerzos realizados por los agricultores, los niveles de producción esperados no se alcanzan. No obstante, a pesar de los intentos de los agricultores, no se alcanza la producción esperada. Esto se debe principalmente a problemas relacionados con el área, la limitada disponibilidad de agua y la ineficiencia.

El Parque Experimental de la Municipalidad Provincial de Jaén, en Cajamarca, ha enfrentado una problemática ambiental compleja, marcada por la deforestación, el uso ineficiente del recurso hídrico y la gestión inadecuada de programas de reforestación. A pesar de los esfuerzos institucionales mediante el proyecto "Jaén Verde", que contempla la instalación de 19 viveros con más de 67,000 plantones en 257 hectáreas, las condiciones climáticas adversas —como la escasez de lluvias y el incremento de temperaturas— han dificultado la sostenibilidad del programa, comprometiendo el desarrollo de especies nativas como la caoba *(Swietenia macrophylla)*, el neem *(Azadirachta indica)*, el faique *(Acacia macracantha)* y el shayna *(Colubrina glandulosa)*. La falta de personal asignado ha limitado el riego oportuno, generando pérdidas vegetales significativas. Este contexto se agrava con la expansión agrícola y urbana desorganizada, que ha acelerado la pérdida de cobertura forestal, deteriorado los suelos y alterado el ciclo hidrológico, lo que, según Llerena (2024), ha repercutido negativamente no solo en el ecosistema, sino también en la economía local y en la resiliencia de las comunidades frente a eventos climáticos extremos.

Ante la problemática ambiental concerniente a la pérdida progresiva de cobertura vegetal debido a un riego ineficiente y limitado por la escasez de personal, el presente estudio propone el diseño, implementación y validación de un sistema de riego por goteo automatizado. Este prototipo integrará sensores de humedad del suelo, válvulas solenoides, microcontroladores y energía solar, con el fin de garantizar un suministro hídrico preciso y eficiente para especies reforestadas, particularmente en épocas de sequía. El diseño contempla los cálculos necesarios de caudal, presión, consumo energético y volumen de agua por planta, así como un esquema técnico integral y un plan de monitoreo en campo. La propuesta busca ser escalable, replicable y de bajo costo operativo, además de fortalecer las capacidades locales mediante la

capacitación técnica, constituyéndose en una solución tecnológica sostenible que responda a las condiciones climáticas adversas de la región y potencie el impacto del programa “Jaén Verde” en la recuperación del ecosistema.

La implementación de un sistema automatizado de riego por goteo en el Parque Experimental de la Municipalidad Provincial de Jaén se justifica como una respuesta técnica y ambientalmente eficiente ante la escasez hídrica, las condiciones climáticas adversas y la necesidad de conservar especies forestales nativas de alto valor ecológico. Este sistema permite una aplicación precisa del agua directamente en la zona radicular, minimizando pérdidas por evaporación y escorrentía, y optimizando el uso del recurso hídrico. Estudios recientes señalan que el riego automatizado garantiza una distribución uniforme del agua y mejora el desarrollo de plantones en viveros (Fernández y García, 2022), mientras que la incorporación de sensores de humedad y sistemas de control en tiempo real permite ajustar el riego a las condiciones del suelo y a las necesidades específicas de cada especie, promoviendo la sostenibilidad del sistema (Sánchez et al., 2020). Además, en un contexto donde programas como “Jaén Verde” enfrentan limitaciones operativas y climáticas, esta tecnología representa una solución replicable, con beneficios en conservación ambiental, productividad y eficiencia operativa. Como refieren Gómez y Ramírez (2021), la creciente demanda de productos hortícolas y ornamentales exige sistemas de riego eficientes, y según Sánchez y Pérez (2022), el uso de tecnologías avanzadas permite evaluar cuantitativamente su impacto, fortaleciendo su viabilidad técnica, económica y ambiental.

Desde el enfoque técnico-científico, este estudio se fundamentó en la necesidad de aplicar tecnologías de precisión y bajo consumo energético para optimizar el uso del agua en la agricultura urbana. La automatización del riego por goteo permitió un control eficiente y específico del recurso hídrico según las condiciones del entorno, como la humedad del suelo y el tipo de cultivo. Además, la validación del prototipo mediante pruebas prácticas facilista replicabilidad en contextos similares, contribuyendo al desarrollo local en innovación agrícola y sostenibilidad.

En función de la justificación ambiental se basa en la necesidad de gestionar eficientemente el agua en el Parque Experimental de Jaén mediante un sistema de riego automatizado por goteo, que optimiza su uso en árboles como la shayna y el faique, mejora la productividad, reduce el esfuerzo manual y contribuye a mitigar el cambio climático con una gestión más sostenible del agua.

Asimismo, la justificación social destaca que la implementación de sistemas de riego automatizados responde a principios de eficiencia hídrica y sostenibilidad agrícola. Según Fernández et al. (2020), estas tecnologías optimizan el uso del agua y aumentan la productividad. Además, López y Martínez (2019) subrayan que la sostenibilidad agrícola requiere prácticas que conserven los recursos naturales y fortalezcan la resiliencia de los sistemas productivos frente a condiciones ambientales adversas.

Por otro lado, la justificación social destaca que el sistema de riego automatizado por goteo en el Parque Experimental de Jaén mejora la eficiencia del uso del agua, un recurso clave en la región. Según Gómez y Ramírez (2021), aumentará la productividad agrícola y reducirá el desperdicio hídrico. Este modelo será replicable en otras comunidades, impulsando la agricultura local y el desarrollo socioeconómico.

A su vez, desde la justificación económica. Sánchez y Pérez (2022) indican que este proyecto tiene como objetivo crear una solución accesible y eficiente que, además, pueda ser replicada en viveros de pequeño y mediano tamaño. Por su parte, García y Torres (2020) destacan que este sistema reduce costos operativos, optimiza el uso del agua y promueve la sostenibilidad, disminuyendo el impacto ambiental asociado con el riego inadecuado o excesivo.

Desde la justificación tecnológica, Fernández et al. (2020) señalan que el sistema de riego automatizado por goteo facilita una gestión eficiente de los recursos hídricos, lo cual es fundamental en un mundo donde el agua se vuelve cada vez más escasa. Según López y Martínez (2019), este tipo de sistema suministra el agua necesaria de forma precisa y controlada, minimizando el desperdicio y garantizando que las plantas reciban la cantidad exacta de agua que requieren para un crecimiento y desarrollo óptimos. Por otro lado, Rodríguez (2018) destaca que la automatización del riego disminuye la dependencia de la mano de obra, lo que puede reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia en la producción.

Rodríguez (2018) resalta, desde una perspectiva técnico-científica, que los sistemas de riego automatizados por goteo representan una innovación tecnológica que mejora la eficiencia hídrica y promueve una agricultura sostenible. Utilizan sensores y controladores para un riego preciso. Según Sánchez y Pérez (2022) demuestra que pueden reducir el consumo de agua hasta en un 60 %. Asimismo, García y Torres (2020) destacan su impacto positivo en las plantas.

En base a la introduccion dada, podemos plantear la siguiente interrogante ¿Cómo influye un sistema de riego automatizado por goteo en la eficiencia del uso del agua en el Parque Experimental de Jaén?

Por ende se planteó como objetivo general Modelar el sistema de riego automatizado por goteo para el parque experimental de la municipalidad provincial de Jaén que optimice el suministro de agua para los árboles y como objetivos específicos: 1) Determinar los requerimientos hídricos de los árboles del parque experimental, 2) Diseñar un sistema de riego automatizado por goteo, 3) Implementar el diseño del sistema de riego por goteo y 4) Evaluar técnica y económicamente la escalabilidad del proyecto.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Población, muestra y muestreo

En la presente investigación se trabajó con una muestra definida por conveniencia, constituida por el área de un vivero específico dentro del Centro Experimental de la Municipalidad Provincial de Jaén. Aunque el estudio se desarrolló en un entorno controlado, se aplicó un diseño cuasi-experimental, por lo cual fue necesario delimitar un grupo de análisis sobre el cual se realizaron mediciones antes y después de la implementación del sistema automatizado. No se aplicaron técnicas de muestreo probabilístico, ya que el objetivo fue evaluar directamente la funcionalidad técnica y el impacto del sistema en condiciones reales del área seleccionada.

Tipo y diseño de investigación

Es una investigación aplicada, ya que se centró en resolver un problema relacionado con la escasez de agua para el riego en el Centro Experimental de la Municipalidad Provincial de Jaén, en la cual se aplicaron conocimientos teóricos ya establecidos. Además, se empleó un diseño cuasi-experimental, mediante el cual se evaluaron los resultados en un vivero específico antes y después de la implementación del sistema automatizado

Tipo y enfoque de investigación

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo con un diseño cuasi-experimental. Se efectuaron mediciones objetivas del contenido de humedad del suelo antes y después de la implementación del sistema automatizado, y se compararon estos datos con las condiciones previas bajo riego manual. Esto permitió evaluar de manera precisa la efectividad del sistema a partir del análisis comparativo de resultados numéricos obtenidos en campo.

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Equipos

A. Sensores de temperatura y humedad

Su uso permitió ajustar el suministro de agua según las condiciones ambientales, asegurando que las plantas recibieran la cantidad exacta necesaria para su desarrollo. Además, su implementación contribuyó a optimizar el uso del recurso hídrico, reduciendo el consumo de agua y los costos operativos, lo que favoreció un crecimiento y productividad adecuados.

Figura 1.

Sensor de temperatura y humedad relativa con base KY-015

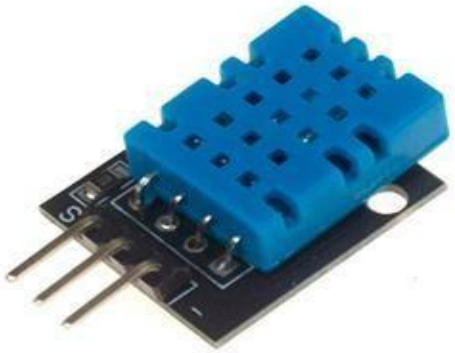


Tabla 1.

Especificaciones técnicas Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11

CARACTERISTICAS	VALORES
Voltaje de Operación	3V - 5V DC
Rango de medición de temperatura	0 a 50 °C
Precisión de medición de temperatura	±2.0 °C
Resolución Temperatura	0.1°C
Rango de medición de humedad	20% a 90% RH.
Precisión de medición de humedad	5% RH.
Resolución Humedad	1% RH
Tiempo de censado	1 seg.
Interfaz digital	Single-bus (bidireccional)
Modelo	DHT11

Dimensiones: 16*12*5 mm	16*12*5 mm
Peso	1 gr.

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica Sensor de Temperatura y Humedad Relativa

B. HW Arduino

Este equipo fue clave para automatizar el riego, minimizando el desperdicio de agua y maximizando la eficiencia del sistema. Integrado con sensores de humedad y actuadores, permitió ajustar el flujo de agua según las condiciones del suelo y las necesidades de las plantas. Su implementación garantizó un uso óptimo del recurso hídrico, alineándose con los objetivos de sostenibilidad del proyecto.

Figura 2.

Arduino HW



Tabla 2.

Especificaciones técnicas Arduino HW

CARACTERISTICAS	VALORES
Microcontrolador	**ATmega328P** (8-bit)
Chip USB	**ATmega16U2**
Conector USB	USB-B hembra

Voltaje de operación	5V DC
Voltaje de alimentación	6V - 20V DC (7-12V)
Pines digitales I/O	14 (6 salidas PWM)
Entradas analógicas	6 (ADC 10-bit)
Corriente entrada/salida por pin	40mA máx.
Memoria FLASH:	32KB (2KB usados por el Bootloader)
Memoria SRAM	2KB
Memoria EEPROM	1KB
Frecuencia de reloj	16MHz
Leds indicadores	Power, L (Pin 13), TX y RX
Diseño compatible con Arduino® Uno R3	
Procedencia	China
Incluye	Cable USB 30cm
Dimensiones	73*53*13 mm
Peso	30 gramos

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica de Arduino HW

C. Bomba de agua

La bomba de agua fue un componente esencial para garantizar el funcionamiento continuo del sistema de riego automatizado. Su integración con los sensores de humedad y el controlador permitió la activación y desactivación del flujo de agua de manera eficiente y precisa. Además, aseguró que las plantas recibieran la cantidad exacta de agua según las condiciones del suelo, optimizando el uso del recurso hídrico y evitando desperdicios. Gracias a su aplicación, se logró una irrigación uniforme y controlada, mejorando la sostenibilidad del sistema y el desarrollo óptimo de la vegetación en el parque experimental.

Figura 3.

Bomba de agua Centrífuga Werken 1 HP 100L/min Metal



Tabla 3.

Especificaciones técnicas de electrobomba Periférica Werken 1 HP XKM80-1 40L/min

CARACTERISTICAS	VALORES
Modelo	Werken
Tipo de producto	Electrobomba
Ancho del producto	19 cm
Sub tipo de producto	Centrifuga
Material	Metal
Máximo poder de descarga	100 L/min
Marca	Werken
Presión Máxima de trabajo	50 psi
Peso de producto	10 kg
Diámetro de distribución	1”
Altura recomendable de distribución	55 m

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica de Electrobomba Centrífuga Werken 1 HP 100L/min Metal.

D. Tanque de almacenamiento

Material que se utilizó para la autonomía y eficiencia del sistema, debido a que su capacidad asegura un suministro continuo de agua, permitiendo que el sistema opere sin interrupciones y se ajuste a las necesidades del cultivo y las condiciones climáticas.

Figura 4.

Tanque de agua Azul 1100 litros + kit de accesorios Rotoplas



Tabla 4.

Especificaciones técnicas de Tanque de agua Azul 1100 litros + kit de accesorios Rotoplas

CARACTERISTICAS	VALORES
Garantía	1 año
Altura Del Producto	147 cm
Ancho Del Producto	108 cm
Profundidad Del Producto	108 cm
Color principal	Azul
Tipo de Producto	Tanque de Agua
Sub Tipo de Producto	Accesorios
Material	Polietileno
Marca	Pro
Peso Del Producto	18.02 kg
Capacidad	1100 l
Mantenimiento del filtro	Cada 6 meses

Nota: Adaptada de datos del fabricante

E. Tubería PVC de 3/4 pulg

Aseguró la distribución eficiente del agua en todo el sistema de riego automatizado mediante el uso de dispositivos específicos, pues tiene una capacidad para mantener un flujo constante y su resistencia a condiciones adversas garantizaron el funcionamiento óptimo del sistema. Estos componentes fueron empleados para

regular la irrigación de manera precisa, optimizando el uso del recurso hídrico y asegurando una distribución uniforme del agua en la zona radicular de las plantas.

Figura 5.

Tubería PVC de 3/4 pulg



Tabla 5.

Especificaciones técnicas de Tubo x 5m 3/4 simple presión - Agua fría Tuboplast

CARACTERISTICAS	VALORES
Garantía	1 año
Altura Del Producto	500 cm
Ancho Del Producto	2 cm
Profundidad Del Producto	2 cm
Color principal	Gris
Modelo	SP C10
Tipo de Producto	Tubo
Sub Tipo de Producto	Agua
Material	PVC
Tipo de conexión	Presión
Temperatura máxima de trabajo	45 °C
Marca	Nicoll
Presión máxima de trabajo	10 Bar
Diámetro nominal	3/4 "
Longitud	500 cm

Nota: Adaptada de datos del fabricante

F. Módulo Relay 2CH 5VDC.

Se utilizó como dispositivo electromecánico clave para el control automatizado del sistema. Este módulo, que funcionó como un interruptor activado electrónicamente, permitió gestionar circuitos de alta potencia mediante señales de baja tensión. Desde un enfoque científico, su operación se basó en una bobina

electromagnética que, al recibir una señal de 5VDC, generó un campo magnético capaz de cerrar o abrir contactos eléctricos, lo que facilitó la conmutación de cargas externas. Su aplicación en el proyecto permitió automatizar el encendido y apagado de electroválvulas, optimizando el control del flujo de agua en el sistema de riego y garantizando una irrigación eficiente y precisa a los cultivos del parque experimental.

Figura 6.

Módulo Relay 2CH 5VDC

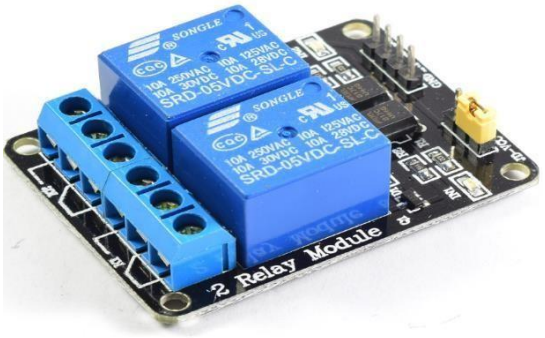


Tabla 6.

Especificaciones técnicas de Módulo Relay 2CH 5VDC

CARACTERISTICAS	VALORES
Voltaje de Operación	5V DC
Señal de Control	TTL (3.3V o 5V)
Nº de Relays (canales)	**2 CH**
Modelo Relay	SRD-05VDC-SL-C
Capacidad máx.	10A/250VAC, 10A/30VDC
Corriente máx.	10A (NO), 5A (NC)
Tiempo de acción	10 ms / 5 ms
Para activar salida NO	0 voltios
Entradas Optoacopladas	……..
Indicadores LED de activación	……..

Nota: Adaptada de datos del fabricante

G. Manguera para Micro-riego O Goteo 16mm X 200mt Polietileno

Se utilizó como elemento fundamental para la irrigación localizada. Este material, fabricado en polietileno de baja o alta densidad (LDPE o HDPE), brindó alta resistencia a la intemperie, la radiación ultravioleta (UV) y los productos químicos utilizados en la fertiirrigación. Su aplicación en el sistema de riego permitió una

distribución uniforme y controlada del agua directamente en la zona radicular de las plantas, reduciendo la evaporación y el escurrimiento superficial. Además, su diseño facilitó la instalación en el terreno del parque experimental, garantizando una irrigación eficiente a través de goteros integrados o externos, lo que contribuyó a la optimización del uso del agua y a la sostenibilidad del proyecto.

Figura 7.

Manguera Para Micro-riego O Goteo



Tabla 7.

Especificaciones técnicas de Manguera Para Micro-riego O Goteo 16mm X 200mt Polietileno

CARACTERISTICAS	VALORES
Diámetro interior:	14,0 milímetros aprox.
Diámetro exterior	16,0 milímetros aprox.
Espesor de pared	1,0 milímetros aprox.
Longitud	200 metros
Aplicación	Industrial, Agro, Pequeños cultivos y
Fabricación	Acueductos.
	Nacional

Nota: Adaptada de datos del fabricante

H. Goteros Regulables Para Riego

Se utilizaron goteros regulables para optimizar la distribución del agua en los cultivos, permitiendo ajustar el caudal según las necesidades hídricas específicas de cada planta. Su diseño contribuyó a minimizar las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía, garantizando una irrigación eficiente y sostenible.

Figura 8.

Goteros Regulables Para Riego



Tabla 8.

Especificaciones técnicas de Goteros Regulables Para Riego

CARACTERISTICAS	VALORES
Modelo: Gotero regulable	Gotero regulable
Caudal ajustable	0 - 100 LPH
Presión de trabajo recomendada	1 - 3 bares
Diámetro de conexión	2 mm (compatible)
Material	Plástico de alta resistencia (polipropileno)
Formato de venta	Bolsa de 100 unidades
Compatibilidad	Sistemas de riego por goteo y microaspersión
Uso recomendado	Agricultura, jardinería, viveros y cultivos en invernadero

Nota: Adaptada de datos del fabricante

I. Wincha métrica

Se empleó para determinar las dimensiones del parque experimental.

2.2.2. Muestra y características de arboles

Caoba (*Swietenia macrophylla*)

De acuerdo con el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, en su estudio Evaluación Económica de Plantaciones de Caoba (2009), esta especie es ampliamente valorada a nivel global por la alta calidad de su madera. Carece de un aroma o sabor distintivo, y su duramen puede presentar tonalidades que van desde

el rosado crema hasta un rojo marrón oscuro cuando se encuentra seco al aire. Su albura, inicialmente amarillenta o rosada al ser recién cortada, tiende a oscurecerse con el tiempo y la exposición solar. En el Perú, se han implementado políticas orientadas a la conservación de los bosques tropicales, destacando la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley 27308) promulgada en el año 2000. Este marco normativo tiene como objetivo principal fomentar el manejo forestal sostenible, con el propósito de disminuir la explotación excesiva no solo de la caoba, sino también de otras especies de interés comercial y ecológico.

Neem o nim (*Azadirachta indica*)

Según lo señalado por Valencia M. et al. (1991), este árbol tropical de hoja perenne exhibe una notable adaptación a ambientes abiertos, siempre que las temperaturas no desciendan por debajo de los 0 ºC. Su crecimiento puede alcanzar entre 15 y 20 metros de altura, mostrando resistencia a condiciones áridas con precipitaciones mínimas de 400 mm anuales y tolerancia a temperaturas extremas de hasta 50 ºC. Su floración se caracteriza por la presencia de diminutas flores blancas con una fragancia dulce similar al jazmín, mientras que su fruto, de forma ovoide, alcanza aproximadamente 1.7 cm de longitud. En términos de sus requerimientos edáficos, esta especie presenta una fuerte preferencia por suelos bien estructurados, de gran profundidad y con un pH que oscila entre 6 y 8. Si bien se ha observado que alcanza su máximo potencial en regiones con una precipitación anual cercana a los 1,200 mm, también demuestra una capacidad notable de adaptación en zonas más húmedas, con registros de hasta 2,000 mm anuales, siempre que cuente con un drenaje eficiente. Sin embargo, lo más destacable es su resistencia a condiciones semiáridas, manteniendo su funcionalidad durante largos periodos de sequía de seis a nueve meses, lo cual le permite desarrollarse incluso en contextos climáticos extremos, donde la precipitación anual se reduce a solo 350 mm. Este valor, respaldado por estudios, se considera el umbral hídrico mínimo que asegura su subsistencia, confirmando que los 350 mm anuales constituyen una media viable para su establecimiento en zonas con limitada disponibilidad de agua.

Faique (*Acacia macraccantha*)

Según Romero et al., (2020) este árbol prospera en entornos con una precipitación promedio anual de 810 mm, donde la temperatura media es de 24.2 °C, alcanzando

máximas de 34.0 °C y mínimas de 18.5 °C. Estas condiciones climáticas resultan ideales para su crecimiento y adaptación.

Shaina (*Colubrina glandinosa*)

Según Muñoz, (2014) esta especie se desarrolla de manera óptima en climas tropicales húmedos, con temperaturas medias anuales que varían entre 22 °C y 26 °C, y una precipitación anual promedio que oscila entre 1,100 mm. Además, presenta un crecimiento favorable en suelos de textura arenosa o arcillosa, siempre que cuenten con un contenido moderado o alto de materia orgánica, lo que contribuye a su adecuado desarrollo fisiológico y nutricional.

2.2.3. Softwares

Software de ofina, software CAD/CAE, , Arduino IDE.

2.3. Métodos

2.3.1. Área de estudio

La investigación se llevó a cabo provincia de Jaén, una de las trece provincias de la región de Cajamarca, situada al norte de dicha región. Esta provincia abarca una superficie de 5232 km2 y se encuentra a una altitud de 723 msnm con coordenadas 05°42' S y 78°48' W, compuesta por doce distritos que limitan al norte con la provincia de San Ignacio, al sur con la provincia de Cutervo, al oeste con la provincia de Huancabamba en la región Piura, y al este con las provincias de Bagua y Utcubamba en la región Amazonas (Sánchez, 2019)

Figura 9.

Ubicación geográfica del Parque experimental de la Municipalidad provincial de Jaén



Nota. Obtenido de Google Earth.

2.3.2. Técnicas de recolección de datos

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo porque aquí se efectúa cálculos de dimensionamiento de riego por goteo, así como para calcular los costos de inversión y de viabilidad. Además, se recopiló datos mediante mediciones, cuyos valores numéricos fueron utilizados para el análisis y realizar una propuesta de mejora (Hernández et al., 2014).

Observación

Se utilizó guías de observación para obtener datos del número y de la distribución de los árboles existentes en el parque experimental para deducir el tipo de riego utilizado, tipos de árboles existentes.

Entrevista

Se realizó una entrevista no estructurada, con la finalidad de obtener información adicional y opiniones relevantes de los vecinos que están al entorno del parque experimental, esenciales para iniciar la investigación.

2.4. Metodología

2.4.1. Determinar los requerimientos hídricos de los árboles del parque experimental

Parte la fase de investigación del proyecto con la prioridad de los requerimientos hídricos del sistema, los cálculos necesarios para la selección de equipos y datos que nos ayudó a programas el sistema de automatización Arduino.

Se contabilizaron 180 árboles en la primera inspección del parque experimental. Teniendo en cuenta este dato, sabemos que serán necesarios 180 aspersores tipo gotero regulables, de 0.5 L/min. Con esta información, se inició el cálculo los

recursos hídricos, que nos permitirán seleccionar equipos y parámetros para el control del sistema.

A) Cálculo de la bomba necesaria para regar todo el circuito de riego

Para determinar la bomba necesaria, necesitamos conocer el caudal total requerido por el sistema.

Caudal total necesario:

Cada aspersor tiene un caudal de 0.5 L/min. Como tienes 180 aspersores, el caudal total será:

$$Caudal\ total\ (\frac{L}{min}) = Caudal\ por\ aspersor\ (\frac{L}{min}) \times Número\ de\ aspersores$$

$$Caudal\ total = 90\ L/min$$

La bomba seleccionada cuenta con un caudal máximo de 100 L/min y un caudal requerido de 90 L/min. Por lo tanto, una bomba de 1 HP debería ser suficiente para el sistema de riego, ya que el caudal total está por debajo de la capacidad máxima de la bomba.

Estimación de tiempo vaciado de agua para el sistema de riego por goteo.

$$Tiempo = \frac{Volumen\ del\ tanque}{Caudal}$$

$$Tiempo = \frac{1100\ \text{L}}{100\ L/min}$$

$$Tiempo = 11\ minutos$$

El tanque de 1100 litros se vaciaría en aproximadamente 11 minutos si la bomba estuviera operando a su capacidad máxima de 100 L/min.

Cálculo de la cantidad de agua que se desprende por cada aspersor:

Caudal por aspersor: 0.5 L/min.

Tiempo total de funcionamiento: 11 minutos.

Entonces, la cantidad de agua que cada aspersor desprende en 11 minutos sería:

$$Agua\ por\ aspersor = 0.5L/min \times 11min = 5.5litros$$

Cálculo total para todos los aspersores:

Si hay 180 aspersores, la cantidad total de agua que se desprenderá en todo el sistema durante los 11 minutos sería:

$$Agua\ total = 180\ aspersores \times 5.5litros = 990litros$$

Esto es consistente con el caudal disponible de la bomba, que es 100 L/min, ya que la bomba vacía el tanque de 1100 litros en 11 minutos, y en ese tiempo, se distribuyen 990 litros entre los 180 aspersores.

B) Cálculo de porcentaje de humedad requerido para el sistema de riego por goteo

En el caso de los árboles silvestres en Jaén, como los olivos, encinas o alcornoques, el mantenimiento de un nivel de humedad ayuda a garantizar un entorno adecuado para la transpiración y la evapotranspiración sin comprometer la salud de las plantas.

Ahora, vamos a usar una metodología que involucra evapotranspiración (ET) y la capacidad de retención de agua en el suelo.

Evapotranspiración (ET) y Necesidades de Riego:

La evapotranspiración es el proceso en el cual el agua es transferida desde el suelo a la atmósfera a través de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo. En áreas como Jaén, donde el clima es cálido y seco, la evapotranspiración diaria puede ser bastante alta.

Para calcular la cantidad de agua necesaria, se puede usar una estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_0), que es la cantidad de agua que un área de

césped o cultivo estándar perdería debido a la combinación de evaporación y transpiración.

Evapotranspiración de Referencia (ET_0):

De acuerdo con estudios para el clima mediterráneo, la ET_0 promedio diaria en Jaén puede estar entre 4 y 6 mm de agua por día durante los meses de verano (junio, julio y agosto), dependiendo de la temperatura, humedad y radiación solar. Supongamos un valor promedio de 5 mm/día para la ET_0.

ET_0 diaria: 5 mm/día

Esto significa que cada metro cuadrado de suelo pierde 5 mm de agua por día a través de la evapotranspiración.

Capacidad de Retención de Agua del Suelo:

La capacidad de retención de agua depende del tipo de suelo y de la profundidad de las raíces. En el caso de los árboles silvestres en Jaén, el tipo de suelo podría ser de arcilla, limos o arenoso. Supongamos que el suelo tiene una capacidad de retención de agua promedio de 20% de su volumen (esto es una estimación).

Si tienes un perfil de suelo de 30 cm de profundidad, la capacidad de retención de agua sería:

$$Capacidad\ de\ retención\ de\ agua\ por\ m^2 = 30cm \times 20\% = 6litros/m^2$$

Este valor significa que cada metro cuadrado de suelo puede retener 6 litros de agua. Esta agua es la que los árboles pueden usar para mantener su salud y desarrollo.

Estimación de la Humedad Necesaria:

La capacidad de retención de agua por metro cuadrado de suelo (como se mencionó anteriormente) es de 6 litros/m², para una profundidad de 30 cm y un 20% de capacidad de retención de agua. Si el suelo tiene una capacidad de retención de 6 litros/m², entonces un 85% de humedad significa que necesitamos mantener el suelo con el 85% de su capacidad de agua disponible.

$$Humedad\ requerida = 6litros/m^2 \times 85\% = 5.1litros/m^2$$

Esto significa que, para mantener una humedad ideal del 85%, cada metro cuadrado de suelo debe tener 5.1 litros de agua disponibles para las plantas.

Si asumimos que el suelo está completamente seco al inicio (humedad inicial del 0%) y que el sistema riega usando toda la capacidad del tanque (990 litros de agua), y sabemos que el agua necesaria para cada planta es de 5.1 litros. Podemos

concluir que, la cantidad de agua que cada aspersor desprende para esas condiciones es de 5.5 litros, más que suficiente para contemplar el 85% de humedad requerida.

C) Cálculo de requerimiento para cada especie

Caoba (*Swietenia macrophylla*)

Según Ávila Santa Cruz et al. (2017), en relación con la pluviometría, esta especie requiere precipitaciones anuales promedio de 1500 mm en su hábitat natural. Sin embargo, en condiciones de cultivo, puede adaptarse a niveles de precipitación de hasta 5000 mm al año, lo que evidencia su capacidad de ajuste a distintos regímenes hídricos. Para convertir las precipitaciones de milímetros (mm) a litros por metro cuadrado (L/m²), utilizamos la equivalencia:

1 mm de precipitación = 1 L/m²

Conversión de Precipitación en Litros por Metro Cuadrado (L/m²):

precipitación promedio Anual (1500 mm/año):

Donde:

Ppa: precipitación promedio anual

Ppm: precipitación promedio mensual

Pps: precipitación promedio semanal

Precipitación promedio anual

Ppa: 1500 mm = 1500 L/m² por año

precipitación promedio mensual

$$\text{Ppm} = \frac{1500}{12} = 125\ L/\text{m}^2 \text{ por mes}$$

Precipitación promedio Semanal

$$\text{Pps} = \frac{125\text{L/m}^2 \text{ por mes}}{4 \text{ semanas por mes}} = 31.25\ L/\text{m}^2 \text{ por semana}$$

Interpretación:

En su entorno, esta especie prospera bajo un régimen de precipitación semanal estimado en 31.25 litros por metro cuadrado. Considerando que la provincia de Jaén presenta características edáficas comparables a las de su hábitat original, se establece que dicho entorno es apto para su adaptación y desarrollo, adoptándose estos valores como parámetros de referencia para su manejo hídrico.

Neem o nim (*Azadirachta indica*)

Para calcular el requerimiento de agua de este árbol con una eficiencia de riego por goteo del 85% y una superficie radicular de 2 a 4 m², seguimos estos pasos:

1. Cálculo del requerimiento de agua anual promedio por metro cuadrado

Precipitación promedio anual (Ppa)

Ppa = (350 mm/año): 350 L/m²

2. Conversión a litros por año según la superficie radicular

Para 2 m²: 700 L/año

Para 4 m²: 1,400 L/año

3. Conversión a litros por semana

Dado que un año tiene 52 semanas, el requerimiento semanal es:

Condición	2 m² (L/sem)	4 m² (L/sem)
Ppa: (350 mm/año)	13.46 L	26.92 L

4. Ajuste por eficiencia del 85%

El riego debe compensar la pérdida del 15% de eficiencia, por lo que se divide entre 0.85:

Condición	2 m² (L/sem)	4 m² (L/sem)
Ppa (350 mm/año)	15.83 L	31.67 L

5. Distribución en riegos semanales

Si se realizan tres riegos por semana, cada riego debe suministrar:

Condición	2 m² (L/riego)	4 m² (L/riego)
Ppa (350 mm/año)	5.28 L	10.56 L

Interpretación:

Considerando una superficie radicular comprendida entre 2 y 4 m², se estima que el requerimiento hídrico semanal de la especie oscila alrededor de 15.83 litros. Si se adopta una frecuencia de riego de tres veces por semana, cada aplicación debe proporcionar aproximadamente 5.28 litros por planta, ajustándose a la disponibilidad de agua y a las condiciones climáticas predominantes. En consecuencia, se concluye que un suministro hídrico semanal de 15.83 litros por

árbol es suficiente para mantener un desarrollo fisiológico adecuado, siempre que el riego se distribuya uniformemente en tres sesiones semanales.

Faique (*Acacia Macraccantha*)

Las condiciones climáticas en las que se desarrolla esta especie incluyen una precipitación anual aproximada de 810 mm y una temperatura promedio de 24.2 °C, presentando rangos térmicos que oscilan entre los 18.5 °C como mínima y 34.0 °C como máxima. Este entorno climático proporciona un contexto óptimo para su establecimiento y desarrollo fisiológico

Cálculo del requerimiento hídrico en riego por goteo (85% de eficiencia)

Requerimiento de Agua en Riego por Goteo (85% de eficiencia)

Parámetro	Cálculo	Superficie radicular 2 m²	Superficie radicular 4 m²
Anual (L/m²)	810 ÷ 0.85 = 952.94	1,905.88 L	3,811.76 L
Mensual (L/m²)	952.94 ÷ 12 = 79.41	158.82 L	317.64 L
Semanal (L/m²)	952.94 ÷ 52 = 18.33	36.66 L	73.32 L

Interpretación:

Cada ejemplar presenta una demanda anual de agua que oscila entre 1,906 y 3,812 litros, lo que representa un consumo semanal estimado entre 37 y 73 litros, en función del tamaño de su sistema radicular. En este sistema específico de riego, se ha establecido un radio de cobertura de 2 metros por árbol, lo cual se traduce en un requerimiento semanal de 37 litros por planta. Este valor corresponde al límite inferior del rango estimado, considerado como el promedio estándar para garantizar un desarrollo vegetal adecuado bajo condiciones normales de clima y suelo.

Shaina (*Colubrina glandinosa*)

Para calcular la cantidad de agua necesaria para la planta de shaina bajo un régimen de humedad del 85%, tomamos el rango de precipitaciones anuales (1,100 mm) y convertimos estos valores a litros por metro cuadrado (L/m²), dado que 1 mm de

precipitación equivale a 1 L/m². Luego, ajustamos el requerimiento de agua considerando la eficiencia del riego al 85%.

Cálculo del requerimiento hídrico de la planta de shaina (Brosimum alicastrum) a un 85% de humedad.

1. Conversión de precipitación promedio anual (Ppa) a litros de agua por metro cuadrado

   Ppa: 1,100 mm × 1 L/m² = 1,100 L/m²

   Dado que la planta solo necesita el 85% de este total para mantener su crecimiento óptimo, aplicamos la corrección:

   ❖ Ppa con 85% de eficiencia: 1,100 × 0.85 = 935 L/m²

2. Conversión a necesidades mensuales y semanales

   Un año tiene 12 meses y 52 semanas, por lo que calculamos:

   Precipitación promedio mensual (Ppm)

   Ppm: 935 L ÷ 12 ≈ 77.92 L/m²

   Precipitación promedio semanal (Pps)

   Pps: 935 L ÷ 52 ≈ 17.98 L/m²

   Tabla resumen del requerimiento hídrico de la shaina a un 85% de humedad

Periodo	Agua promedio (L/m²)
Precipitación promedio Anual	935.00 L/m²
Precipitación promedio Mensual	77.92 L/m²
Precipitación promedio Semanal	17.98 L/m²

   ➢ Estos valores indican la cantidad de agua que la planta necesita para un desarrollo óptimo bajo condiciones de humedad del 85%.

Paso 1: Calcular el consumo total de agua semanal

planta	cantidad	Agua por planta (L/semana)	Agua total semanal (L)
Caoba	45	31.25	1406.225
Neem	45	5.28	237.6
Faique	45	37	1665
Shaina	45	17.98	809.1
Total	180		4117.95 L/Semana

Por lo tanto: Como se riega 3 veces por semana, dividimos para determinar litros por riego.

$$\text{L/riego} = \frac{4117.95\text{L/Semana}}{3} = 1372.65 \text{ L por riego}$$

El análisis determinó que la capacidad del tanque de almacenamiento, de 1100 L, resulta insuficiente para abastecer los 1372.65 L requeridos en cada ciclo de riego. Por ello, con el propósito de optimizar la gestión del recurso hídrico y garantizar la eficiencia en la irrigación, se implementó un sistema de riego por secciones. Este se ejecuta en una misma jornada, priorizando en una primera fase el suministro hídrico a Caoba (*Swietenia macrophylla*) y Neem *(Azadirachta indica),* seguido por la irrigación de Faique (*Acacia macracantha)* y Shaina (*Colubrina glandulosa*).

Paso 2. Dividir el consumo de agua por secciones

Sección 1: Caoba y Meen

Planta	Cantidad	Agua por planta (L/semana)	Total (L/semana)
Caoba	45	31.25	1406.25
Meen	45	5.28	237.6
Subtotal	90 plantas	-	1643.85 L/semana

Por riego (3 veces por semana):

$$\text{L/riego} = \frac{1643.85 \text{ L/semana}}{3} = 547.95 \text{ L por riego}$$

Interpretación:

El tanque de 1100 L es suficiente para esta sección.

Sección 2: Faique y Shaina

Planta	Cantidad	Agua por planta (L/semana)	Total (L/semana)

Faique	45	37	1665
Shaina	45	17.98	809.1
Subtotal	90 plantas	-	2474.1 L/semana

Por riego (3 veces por semana):

$$\text{L/riego} = \frac{2474.1\ \text{L/semana}}{3} = 824.7\ \text{L por riego}$$

Interpretación:

El análisis del sistema de riego confirmó que la capacidad del tanque de 1100 L es suficiente para abastecer cada una de las secciones establecidas. Asimismo, se determinó que la división del riego en dos fases optimiza la administración del recurso hídrico, permitiendo un uso más eficiente del almacenamiento disponible. La estrategia implementada, que prioriza el riego de Caoba (Swietenia macrophylla) y Neem (Azadirachta indica) en una primera etapa, seguida por Faique (Acacia macracantha) y Shaina (Colubrina glandulosa), facilita una distribución homogénea del agua, previniendo desbalances en el suministro. Este enfoque contribuye a la sostenibilidad del sistema de irrigación, garantizando el aporte hídrico necesario para el óptimo desarrollo y crecimiento de las especies vegetales involucradas.

2.4.2. Diseñar un sistema de riego automatizado por goteo

En esta etapa se dio pase a la fase de diseño, la cual comprendió el diseño del sistema de riego por goteo y el sistema de control automatizado por Arduino.

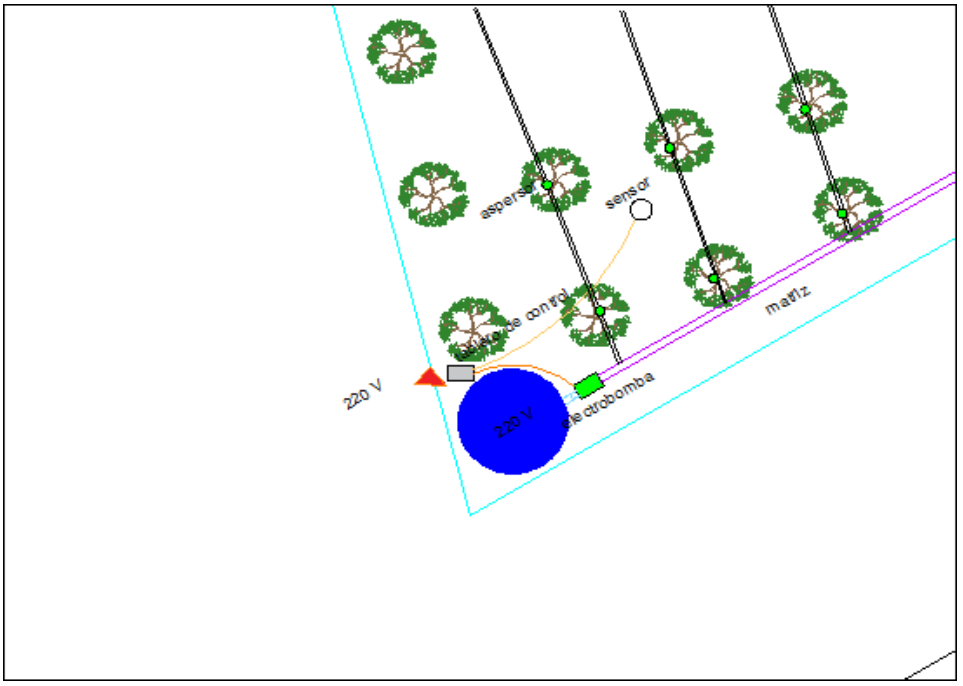
Implementación de sistema Arduino en el sistema de riego por goteo

La implementación del sistema de riego por goteo comenzó con una planificación cuidadosa para asegurar una distribución eficiente del agua a lo largo del parque. Se instaló una tubería principal matriz de 1 pulgada, que conecta el tanque de almacenamiento de 1100 litros con las diversas áreas del parque, permitiendo el transporte del agua hacia las mangueras ramificadas. De esta tubería matriz, se derivaron 10 mangueras secundarias de 3/16 de pulgada, las cuales alimentan a los

180 aspersores que cubren los árboles distribuidos en el parque. Cada aspersor fue colocado de manera estratégica, asegurando que cada uno cubriera un área específica para garantizar una distribución uniforme del agua en el suelo. Los aspersores fueron configurados para un caudal de 0.5 litros por minuto, lo que asegura que cada árbol reciba la cantidad necesaria de agua, evitando tanto el exceso como la deficiencia.

Figura 10.

Distribución de los elementos del sistema de riego por goteo



La disposición de las mangueras y los aspersores fue diseñada para minimizar las pérdidas de presión y optimizar el rendimiento del sistema, con especial atención a la instalación adecuada de las conexiones y accesorios, garantizando que no haya fugas ni obstrucciones. Además, el sistema fue calibrado para adaptarse a las

características del terreno, lo que permite un riego eficiente y sostenible para el parque. Dicha distribución se detalla en el plano adjunto al anexo 1.

Asignación de controladores, sensores y actuadores:

Tenemos en cuenta que el sistema de riego por goteo esencialmente busca controlar el goteo de agua en determinado porcentaje de humedad, para ello, asignamos los elementos de control esenciales para automatizar el proceso de riego.

Controlador: para ello se hará uso del Arduino uno, el cual será programado en el programa Arduino.

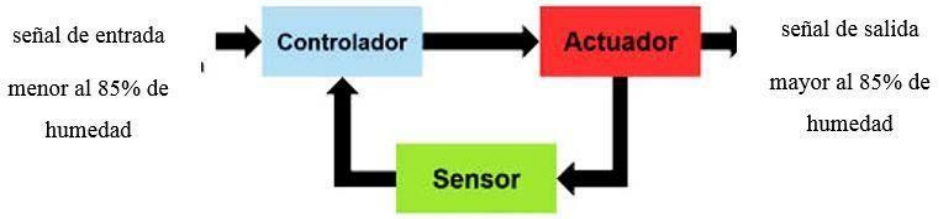
Sensores: se utilizarán el sensor DTH11.

Actuador: se usará un Módulo Relé de 2 Canales, el cual se encargará de la accionar la electrobomba de 1HP.

El siguiente diagrama de automatización del sistema, comprende el proceso de determinar la humedad, para encender la electrobomba. El código de programación permitirá que el controlador, a través del sensor de humedad, mida el porcentaje de humedad de la tierra, dicho porcentaje debe ser mayor o igual al 85%, si el porcentaje es menor, el Arduino debe accionar el relé que dará cierre al contacto que dará paso a la línea que alimenta la electrobomba, la cual enviara el agua a presión por todo el circuito de tuberías, una vez se detecte que el porcentaje de humedad alcanza el nivel programado, el controlador Arduino dejara de accionar el relé.

Figura 11.

Proceso de automatización del sistema



2.4.3. Implementación del diseño del sistema de riego

En esta etapa, se abrió paso a la fase de implementación y en su término a la fase de pruebas. Se inicia con la selección y adquisición de materiales, asegurando que todos los componentes, como tuberías, goteros, válvulas y sensores, cumplan con las especificaciones necesarias para el sistema. Luego, se procederá a la implementación de la red de tuberías, siguiendo el diseño previamente elaborado y

garantizando una disposición adecuada que facilite la distribución del agua a todas las áreas del parque.

Figura 12.

Sistema de riego por goteo implementado en el parque experimental de la Municipalidad provincial de Jaén



Implementación del sistema Arduino

Se conecto el sistema Arduino en una Caja de 20 x 30 x 15 cm de PVC, la cual permite que el sistema se mantenga aislado de la humedad y la lluvia. Para conectar la electrobomba al tablero de control (caja que contiene el sistema Arduino) fue necesario usar 6 m Cable vulcanizado 2x14 AWG vulcanizado, así mismo se usaron 15 m de cable 4x22 mm telefónico, para conectar el sensor a la caja de control.

Figura 13.

Implementación en físico del sistema Arduino

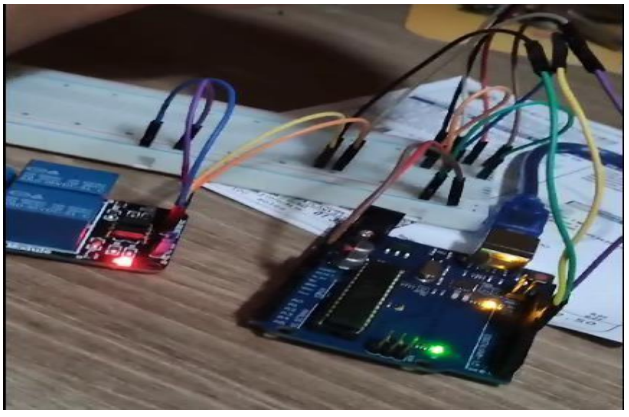


Figura 14.

Conexión de la electrobomba, tanque y tablero de control



Figura 15.

Parte interior del tablero de control Arduino



Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento del sistema de riego por goteo han sido completadas con éxito, confirmando que todos los componentes, desde la bomba hasta los aspersores, operan de manera eficiente. Durante las pruebas, se verificó que el caudal de agua y la distribución entre los aspersores se ajustan adecuadamente a las necesidades de riego, asegurando una cobertura uniforme en todo el parque. Los tiempos de vaciado del tanque y el rendimiento del sistema

cumplen con las expectativas, lo que garantiza que el sistema mantendrá una humedad óptima para los árboles, incluso en condiciones de alta demanda hídrica.

Figura 16.

Activación del sistema de riego por goteo



Figura 17.

Ubicación del sensor a 30 cm de profundidad



Figura 18.

Prueba del funcionamiento del aspersor





2.4.4. Evaluación técnica y económica de estabilidad

El análisis comenzará con una evaluación detallada de los costos de inversión, que abarcará todos los gastos relacionados con la adquisición de materiales, la instalación y la puesta en marcha del sistema de riego. Posteriormente, se calcularán los ingresos anticipados, teniendo en cuenta la reducción de los costos operativos gracias al ahorro de agua, energía y la disminución del personal requerido para el riego convencional. A continuación, se estimará el periodo de recuperación de la inversión, determinando el tiempo necesario para que los ingresos generados por el sistema compensen la inversión inicial.

Además, se calcularán el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para evaluar la rentabilidad del proyecto a largo plazo, lo que permitirá tomar decisiones informadas sobre la viabilidad y escalabilidad del sistema de riego automatizado en otras localidades. Es importante considerar la viabilidad técnica-económica, que proporciona información crítica sobre la sostenibilidad del proyecto, las capacidades necesarias para su operación y mantenimiento, así como las posibles fuentes de financiamiento. Estos elementos son fundamentales para fundamentar la decisión de implementar el sistema de riego propuesto y asegurar su éxito a largo plazo.

2.5. Variables de operacionalización

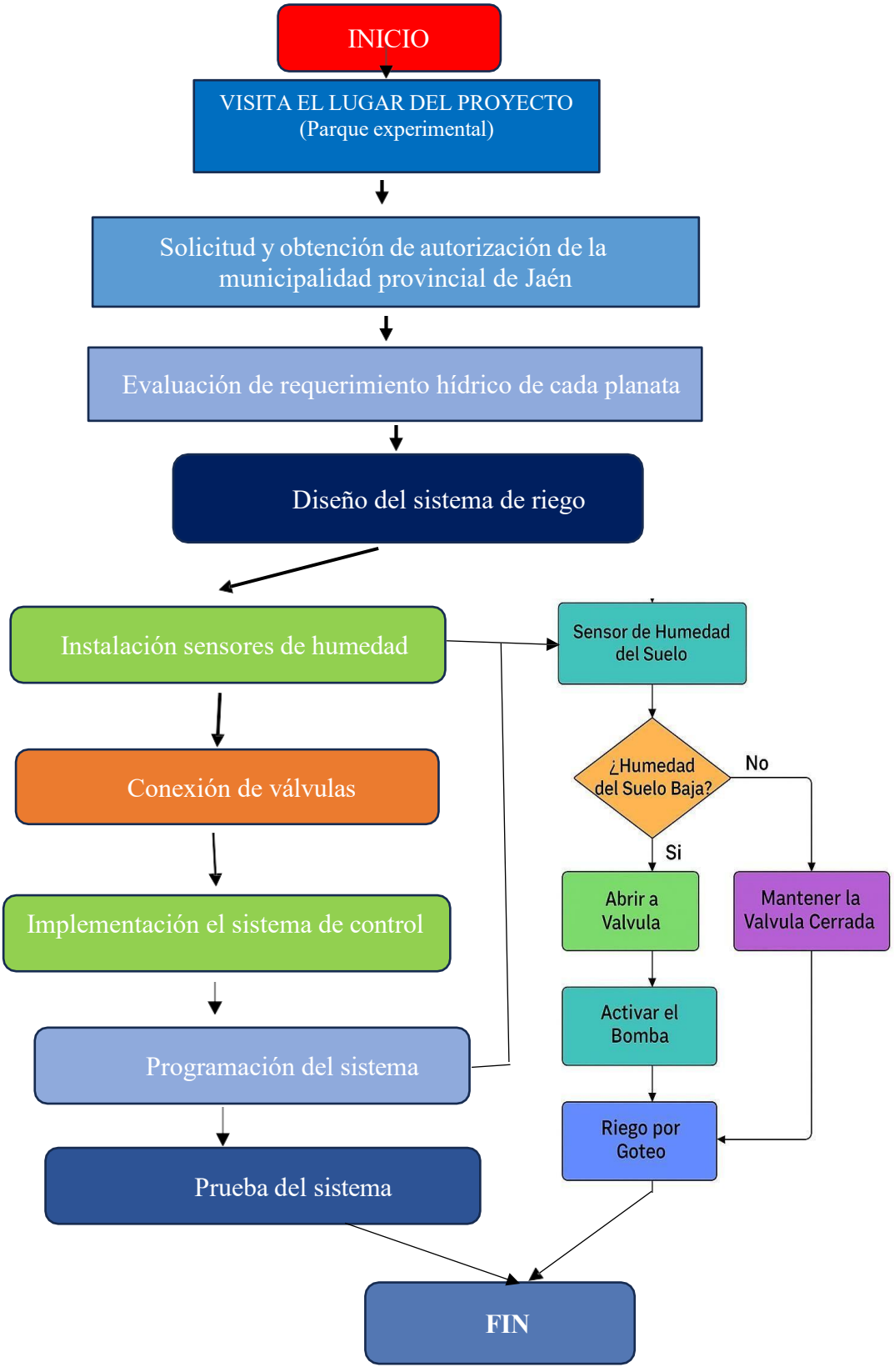
Tabla 9.

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Descripción	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable dependiente	Sistema de Riego por Goteo	Sistema de riego que suministra el agua como esferas pequeñas alrededor del árbol con la finalidad de mantenerlo con la humedad suficiente para asegurar el desarrollo óptimo de los árboles.	- Caudal. - Humedad. - Velocidad	Caudalímetro (m^3) Porcentaje de agua alrededor del árbol. Potencia de la bomba (KW). Automatización,
Variable independiente	Suministro de agua para riego de árboles	- Es la forma de como el agua debe verterse en los árboles con la finalidad de suministrar el agua suficiente para el buen desarrollo de los árboles siendo las lluvias en primera instancia un método. Existiendo también el riego por goteo y aspersión.	- Escases. - Riego automatizado. - Lenguaje de programación	Porcentaje de humedad. Sistema de riego por goteo. Arduino

Nota. Elaboración propia

2.6. Procedimiento metodológico



Nota. Elaboración propia

III. RESULTADOS

3.1. Cuadro de resultado de los cálculos sobre precipitaciones

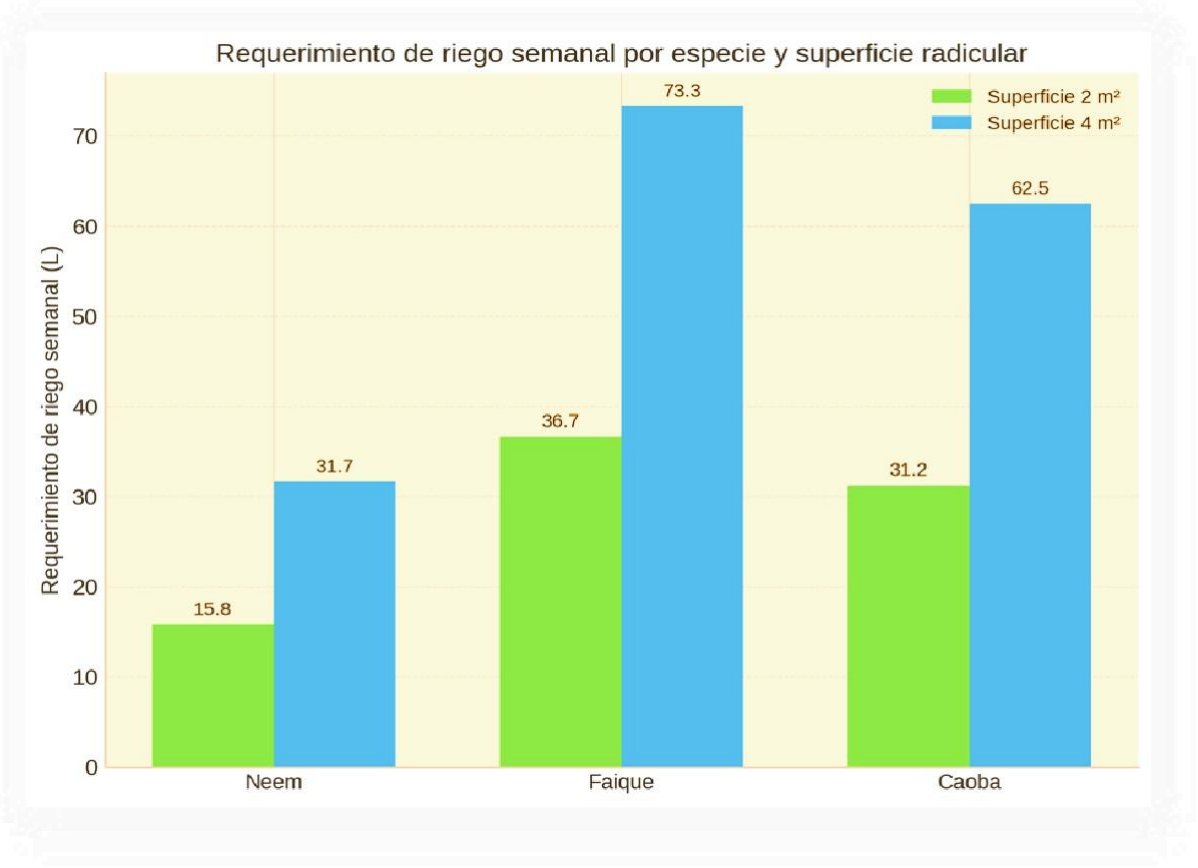
Caoba (*Swietenia macrophylla*)		
Precipitacion promedio anual (Ppa)	Precipitación promedio mensual (Ppm)	Precipitacion promedio semanal (Pps)
1500 L/m² por año	125 L/m² por mes	31.25 L/m² por semana

Neem (*Azadirachta Indica*)		
Dado que un año tiene 52 semanas, el requerimiento semanal es:		
Condición	**2 m² (L/sem)**	**4 m² (L/sem)**
Ppa: (350 mm/año)	13.46 L	26.92 L
El riego debe compensar la pérdida del 15% de eficiencia, por lo que se divide entre 0.85:		
Ppa (350 mm/año)	15.83 L	31.67 L
Si se realizan tres riegos por semana, cada riego debe suministrar:		
Ppa (350 mm/año)	5.28 L	10.56 L

Faique (*Acacia Macraccantha*)			
Parámetro	**Cálculo**	**Superficie radicular 2 m²**	**Superficie radicular 4 m²**
Anual (L/m²)	810 ÷ 0.85 = 952.94	1,905.88 L	3,811.76 L
Mensual (L/m²)	952.94 ÷ 12 = 79.41	158.82 L	317.64 L
Semanal (L/m²)	952.94 ÷ 52 = 18.33	36.66 L	73.32 L

Shaina (*Colubrina Glandinosa*)		
Precipitación promedio Anual	Precipitación promedio Mensual	Precipitación promedio Semanal
935.00 L/m²	77.92 L/m²	17.98 L/m²

3.2. Indicador de requerimiento hidrico semanal-especie y superficie radicular.



Consumo total de agua semanal			
Planta	Cantidad	Agua por planta (L/semana)	Agua total semanal (L)
Caoba	45	31.25	1406.225
Neem	45	5.28	237.6
Faique	45	37	1665
Shaina	45	17.98	809.1

Total	180		4117.95 L/Semana verificar

Se determinó un requerimiento hídrico total de 4117.95 litros por semana para el cultivo. Sin embargo, el sistema de riego se implementó con una frecuencia de tres veces por semana, por lo que el volumen aplicado en cada jornada de riego correspondió a aproximadamente 1372.65 litros

Total de litros por jornada de riego	1372.65 L por riego

Capacidad hidráulica total de la bomba	Estimación de tiempo vaciado de agua para el sistema de riego por goteo.	Cantidad de agua que se desprende por cada aspersor.	Cálculo total para todos los aspersores.
90 L/min	11 minutos	5.5 litros	990 litros

3.3. Evaluación Socioeconómica del Proyecto

Con el objetivo de determinar la viabilidad económica del sistema de riego por goteo automatizado implementado en el Parque Experimental de la Municipalidad Provincial de Jaén, se llevó a cabo un análisis financiero que comprendió el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Para ello, se consideraron los costos actuales del sistema de riego manual y los beneficios económicos asociados a la implementación del sistema automatizado

Inversión inicial del proyecto.

CONCEPTO	MONTO (S/.)
Materiales	2436.90
Personal y transporte inicial	1000.00
Total, inversión (Io)	**3436.90**

Costos Anual en el escenario actual (riego manual)

Rubro	MONTO (S/.) MENSUAL	MONTO (S/.) ANUAL

Personal de riego manual	1200	14,400.00
Conductor de cisterna	1500	18,000.00
Transporte de cisterna	500	6,000.00
Agua	300	3,600.00
Supervisión (promedio)	300	3,600.00
TOTAL	3,800.00	45,600.00

Total, anual actual (A): S/.45,600

Costos anuales luego del proyecto (riego automatizado)

CONCEPTO	MONTO (S/.) MENSUAL	MONTO (S/.) ANUAL
Personal de riego y mantenimiento	1200	14,400
Energía eléctrica	6,303	75.644
Internet	50	600
TOTAL	2270	15,075.644

Flujo neto de ahorro anual

Ahorro anual (F) =A−B=45,600−15,075.644=S/.30,524.6

Cuadro de beneficio semanal y anual.

CONCEPTO	MONTO (S/.) MENSUAL	MONTO (S/.) ANUAL
Conductor de cisterna	1500	18,000
Transporte de cisterna	500	6,000
Agua	270	3240
TOTAL	2270	27,240

Periodo de recupero económico

Año	Costo y beneficios	Valores actualizados	Valores actualizados
0	-3439.90	-3439.90	-3439.90
1	12164.356		11753.00097
2	12164.356		
3	12164.356		
4	12164.356		
5	12164.356		
		-3439.90	8316.100966

PRE=0.29242744*12= 3.5 meses

CALCULO DEL VAN

$$\boldsymbol{VAN = \Sigma \frac{F}{(1+i)^t} - I_0}$$

$$VAN = \sum_{T=1}^{5} \frac{F}{(1+i)^T} - I_0 = \sum_{T=1}^{5} \frac{31{,}200}{(1+3.5)^T} - 3{,}436.90$$

Año	Flujo	Factor (3.5%)	Valor Actual
0	-3436.9	1	-3436.9
1	12164.356	0.966	11753.000
2	12164.356	0.933	11355.556
3	12164.356	0.901	10971.552
4	12164.356	0.871	10600.533
5	12164.356	0.842	10242.061
			51485.80445

VAN= 51,485.80445 soles.

- Un VAN positivo significa que el proyecto es rentable. En este caso, S/. 51,485.80445 significa que ganarías ese monto adicional sobre lo invertido, considerando una tasa del 3.5 %.

Fórmula del TIR (Tasa Interna de Retorno)

La TIR es la tasa r que hace que el **VAN = 0**.

$$0 = \sum_{T=1}^{5} \frac{12164.356}{(1+TIR)^T} - 3{,}436.90$$

Esto devuelve el valor de la TIR, que en este caso será aproximadamente: 354 %. significa que tu inversión se multiplica por más de 3 veces cada año

3.4. Lenguaje de programación en Arduino.

3.4.1. Secuencia lógica de programación en la interfaz de hardware Arduino

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

#define DHTPIN 7       // Pin donde conectamos el DHT11
#define DHTTYPE DHT11  // Tipo de sensor

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  // Creamos el objeto dht

#define RELE 8  // Pin del módulo de relé

void setup() {
  Serial.begin(9600);  // Inicia comunicación serie
  dht.begin();         // Inicia el sensor DHT11
  pinMode(RELE, OUTPUT);
  digitalWrite(RELE, HIGH); // Apaga el relé al inicio
}

void loop() {
  float humedad = dht.readHumidity();  // Lee la humedad

  if (isnan(humedad)) {  // Verifica si hay error en la lectura
    Serial.println("+ Error al leer el sensor DHT11.");
    return;
  }

  Serial.print("     Humedad: ");
  Serial.print(humedad);
  Serial.println(" %");
```

```
if (humedad < 85) {  // Si la humedad es menor a 60%
   digitalWrite(RELE, LOW);  // Activa el relé (LOW lo activa en módulos de relé)
   Serial.println("● Relé ENCENDIDO");
} else {
   digitalWrite(RELE, HIGH); // Apaga el relé
   Serial.println("     Relé APAGADO");}

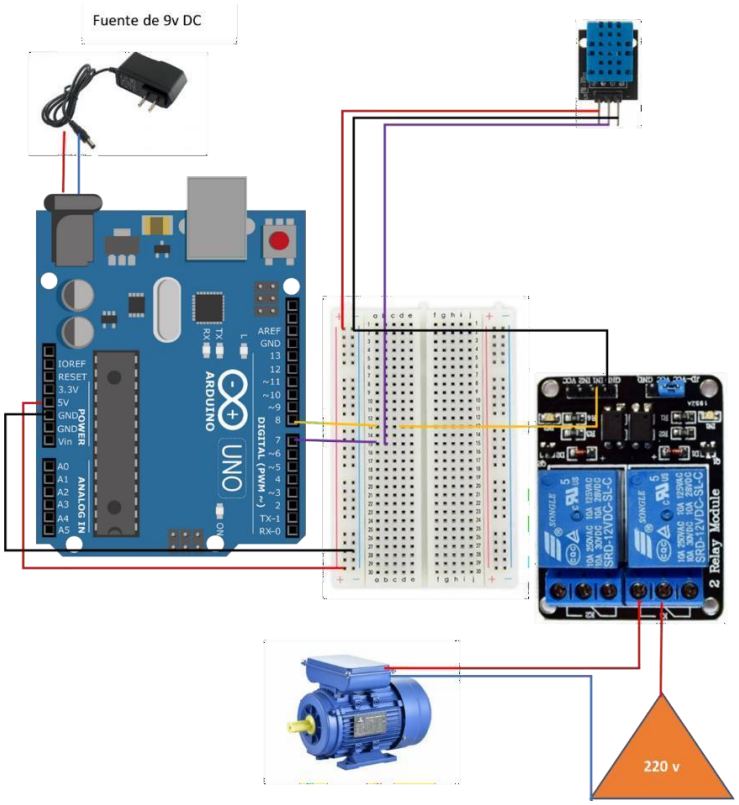
delay(2000);  // Espera 2 segundos antes de la siguiente lectura}
```

Se procede a cargar el código al Arduino, y se realiza las conexiones lógicas en el Arduino. En el siguiente diagrama se puede identificar la conexión de la lógica cableada entre el controlador, el sensor y el actuador.

3.5. Diagrama estructural del circuito de automatización del riego por goteo implementado con Arduino

Figura 19.

Diagrama de conexión de lógica cableada del sistema Arduino



IV. DISCUSIÓN

• Se determinó que el requerimiento hídrico total de las especies forestales en el Parque Experimental ascendió a 4117.95 litros por semana, lo que permitió estructurar un sistema de riego eficiente. Dado que el volumen del tanque no podía soportar los 1372.65 litros por jornada, se estableció un riego en dos sesiones diarias. En la primera jornada, se regaron las especies Caoba *(Swietenia macrophylla)* y Neem *(Azadirachta indica),* aplicando un total de 547.95 litros por riego. En la segunda jornada, se abasteció a las especies Faique *(Acacia macracantha)* y Shaina *(Colubrina glandulosa),* con un volumen total de 824.7 litros por riego. Este enfoque permitió ajustar el suministro hídrico según las necesidades de cada especie, garantizando que el sistema cubriera las demandas semanales de forma eficiente. La estrategia de dividir el riego en dos fases, respetando las cantidades de agua necesarias por especie, evitó tanto el sobre-riego como el déficit hídrico, favoreciendo el crecimiento óptimo de las plantas y promoviendo una gestión sostenible del recurso hídrico.

Esto de acuerdo con las investigaciones, este comportamiento hídrico se encuentra en rangos comparables con otras especies forestales evaluadas en contextos similares. Por ejemplo, estudios realizados por Vergara et al (2017), con Melina (*Gmelina arborea)* en etapa de vivero demostraron que la aplicación de láminas de riego comprendidas entre 2,4 y 5,6 mm/día permitió mantener un desarrollo vegetal adecuado sin necesidad de exceder el 105% de la evapotranspiración de referencia. Asimismo, de manera analógica, en un estudio realizado por el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (2020), en plantaciones jóvenes de cedro rojo *(Cedrela odorata),* se reportó una evapotranspiración anual promedio de 2500 mm bajo riego equivalente a 15 litros por semana. Este resultado evidencia que es posible optimizar el uso del recurso hídrico sin comprometer el crecimiento de la planta, lo que respalda la implementación de sistemas de riego eficientes como el sistema de riego por goteo automatizado.

• Se diseñó un sistema de riego automatizado que está compuesto por Sensores de temperatura y humedad, Arduino HW, electrobomba Periférica Werken 1 HP XKM80-1 40L/min, tanque de almacenamiento (1100 L), Tubería PVC de 3/4 pulg, Módulo Relay 2CH 5VDC, Manguera Para Micro-riego O Goteo, Goteros Regulables Para Riego. elementos principales para la ejecución del programa creado para establecer los momentos de riego

considerando la humedad del suelo del parque experimental, se hizo pruebas para la verificación de las actividades a ejecutar con el sistema de riego automatizado por goteo.

•Se implementó el diseño del sistema de riego por goteo y se realizaron pruebas operativas durante un periodo de un mes, evidenciando un funcionamiento eficiente y acorde con los objetivos establecidos en esta investigación. La distribución homogénea del agua, junto con el desempeño estable del sistema ante variaciones climáticas propias del entorno local, permite confirmar su viabilidad técnica para ser replicado en condiciones agrícolas similares dentro de la región.

Los resultados obtenidos guardan coherencia con estudios anteriores que destacan la efectividad del riego por goteo automatizado en distintos contextos de producción agrícola. Así, García y Torres (2020) señalan que el uso de sensores de humedad integrados al sistema facilita una regulación precisa del riego, contribuyendo no solo al ahorro del recurso hídrico, sino también al aumento de la productividad vegetal. Asimismo, López y Martínez (2019) argumentan que el monitoreo en tiempo real fortalece el proceso de toma de decisiones en la gestión del riego, disminuyendo de forma significativa las pérdidas de agua, un aspecto clave en regiones con limitaciones hídricas.

De manera complementaria, la investigación realizada por Tocto (2019)en cultivos de uva de mesa al norte del Perú, demostró una mejora sustancial del rendimiento agrícola —en torno al 20%— como resultado de la implementación de riego por goteo automatizado. Además, se registró una reducción considerable en el uso de fertilizantes, debido a la aplicación localizada de agua y nutrientes en la zona radicular. Estos hallazgos se alinean con los resultados del presente estudio, en el que se comprobó una mayor eficiencia en la absorción hídrica de las plantas y una disminución en las pérdidas por escurrimiento superficial.

Desde una perspectiva personal, el presente estudio constituye una contribución relevante al validar empíricamente la eficacia de los sistemas de riego por goteo automatizado bajo las condiciones agroclimáticas específicas de Jaén. Esta experiencia permitió evidenciar no solo su funcionamiento técnico adecuado, sino también su potencial para optimizar el uso del recurso hídrico en la agricultura local. A partir de los resultados obtenidos, propongo como línea de mejora la incorporación de sensores de humedad del suelo y unidades de control programable, lo cual permitiría una gestión más precisa y

automatizada del riego. Considero que esta tecnología puede ser fácilmente adaptable y replicable en otros entornos agrícolas de la región, especialmente en viveros o cultivos tecnificados, promoviendo prácticas sostenibles y una mayor eficiencia en la producción agrícola.

•La evaluación técnica y económica del proyecto permitió determinar una inversión total de S/. 3,436.90, de los cuales S/. 2,436.90 fueron asignados a la adquisición de materiales y S/. 1,000 a gastos de mano de obra y transporte para la instalación del sistema. Los flujos de ahorro generados por la eficiencia del riego permitieron estimar un periodo de recuperación de la inversión de 3.5 meses. A nivel financiero, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 51,485.80 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 354 %, indicadores que evidencian una alta rentabilidad y una clara viabilidad económica del sistema de riego por goteo automatizado. Estos resultados respaldan su implementación como una alternativa tecnológica eficiente para la gestión hídrica y energética, especialmente en entornos urbanos y áreas verdes municipales.

Este desempeño económico se encuentra amparado por antecedentes como el estudio de Chang Wong (2020), quien diseñó un sistema similar en la Hacienda Durand, ubicada en el distrito de Oyotún, Chiclayo. En dicho estudio, el sistema de riego por goteo automatizado, complementado con electrobombas trifásicas de 10 HP y un controlador PLC, permitió superar las limitaciones del riego por inundación en terrenos con pendiente. La evaluación económica reportó un VAN de S/. 414,430.09 y una TIR de 150.9 %, consolidando la viabilidad financiera de la implementación tecnológica en contextos agrícolas con mayores demandas hídricas.

Desde un aspecto técnico y particular, esta investigación demuestra que incluso con una inversión modesta, es posible alcanzar indicadores financieros sumamente positivos si se aplica un diseño eficiente y adaptado a las condiciones locales. La experiencia adquirida en este estudio ofrece evidencia concreta de que los sistemas automatizados de riego por goteo pueden ser una solución replicable y escalable para otros espacios agrícolas y urbanos. Este enfoque no solo optimiza el uso del agua, sino que también fomenta prácticas sostenibles, reduce costos operativos y promueve una gestión racional de los recursos naturales, alineándose con los principios de una agricultura tecnificada y ambientalmente responsable.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

• Se determinó que el requerimiento hídrico semanal de los árboles ubicados en el parque experimental alcanzó un total de 4117.95 litros, distribuidos en tres sesiones de riego por semana. En cada jornada se aplicaron aproximadamente 1372.65 litros, lo que contribuyó a una gestión eficiente del recurso hídrico y al ahorro energético, manteniendo un nivel de humedad del 85% en el suelo.

• Se diseñó el sistema de riego automatizado utilizando el software de Arduino, la cual permite programar y controlar los intervalos de riego en función de los niveles de humedad del suelo. El sistema se activa automáticamente cuando la humedad detectada desciende por debajo del 15%, garantizando así una irrigación eficiente y oportuna para el mantenimiento hídrico de los árboles.

•Se implementó el diseño del sistema de riego por goteo, lo que motiva a que pueda ser utilizado en los demás centros experimentales que posee la municipalidad de Jaén.

•La evaluación técnica y económica afirma que el proyecto de implementación del sistema de riego por goteo es viable y rentable, lo que va a permitir ahorrar energía y el elemento hídrico.

5.2. Recomendaciones

• El municipio podría considerar el uso de sistema de riego por goteo, en otros parques experimentales.

•Se sugiere fortalecer la automatización del sistema mediante la incorporación de sensores de humedad del suelo y controladores programables, lo que permitiría una gestión más precisa y eficiente del riego. Esta tecnología, por su adaptabilidad, puede replicarse en diversos contextos agrícolas de la región, promoviendo prácticas sostenibles. Además, su implementación podría extenderse al diseño de sistemas similares en zonas rurales, beneficiando cultivos como el café, el cacao y otros, al optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar el rendimiento productivo

• Impulsar el uso de sistemas de riego por goteo automatizado en proyectos agrícolas de pequeña y mediana escala, utilizando tecnologías accesibles y adaptables al entorno. Además, futuras investigaciones deberían evaluar su rendimiento hídrico y energético en diversos cultivos, con el fin de validar su escalabilidad y respaldar políticas de gestión sostenible del agua.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez Gómez, L., & Ríos Torres, S. (2009). *Evaluación económica de plantaciones de caoba, Swietenia macrophylla, en el departamento de San Martín*.

Chang Wong, L. I. (2020). *Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la Hacienda Durand*.

Fernández, J., García, M., & López, R. (2020). *Gestión eficiente del agua en la agricultura.* Editorial Agrícola.

García, P., & Torres, L. (2020). *Impacto ambiental del riego en la agricultura.* Revista de Ecología y Medio Ambiente, 12(4), 67-80.

Gómez, A., & Ramírez, F. (2021). *Tendencias en la producción hortícola y ornamental*. Editorial Botánica.

Hernández, R., Fernández, C., & del Pilar Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Instituto Nacional de Bosques. 2017. Caoba Swietenia macrophylla; paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB.

Instituto de Ingeniería Agrícola, I. de I. (Ed.). (2020). *Determinación de la Evapotranspiración en Plantaciones Jóvenes de Cedrela odorata L. Rajo Riego* (Vol. 10, Número 2020). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú

López, A., & Ramírez, G. (2018). *Automatización del riego por goteo en viveros: Estudio de caso.* Ciencia y Tecnología en Agricultura, 12(1), 123-135.

López, R., & Martínez, P. (2019). *Tecnologías de riego en viveros*. Editorial Hidráulica.

Llerena, S. C. (2024). *Impactos Ambientales y Socioeconómicos de la Deforestación : Una Revisión Sistemática*. *May*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21759.62888

Muñoz, R. del C. (2014). *Efecto de un fertilizante foliar en tres especies forestales producidas con sustrato espuma agrícola en vivero.* Universidad Nacional Agraria De La Selva.

Oblitas, G., & Pérez, L. (2022). *Prototipo de sistema de riego automatizado para mejora la irrigación en áreas de sembrío de paltas - Olmos*. UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO.

Perlin, L., & Leguizam, A. (2024). *Agriculture-driven deforestation in Ecuador ' s Mache-Chindul Ecological Reserve : The farmers ' perspective*. *107*(March). https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103263

Rodríguez, S. (2018). *Automatización del riego: Beneficios y desafíos*. Editorial Tecnológica.

Romero, G., Echevarría, M., Trillo, F., Hidalgo, V., Aguirre, L., Robles, R., Nuñez, & Jimny (Eds.). (2020). *Establecimiento del cultivo valeEffect of the faique (Acacia macracantha) on the nutritional value of guinea grass (Panicum maximum Jacq.) in a silvopastoral system* (Vol. 31, Número 1). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú.

Sánchez, A. (2019). *Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante el sistema de lodos activados de la provincia de Jaén – Cajamarca 2019*. universidad cesar vallejo.

Sánchez, T., & Pérez, L. (2022). *Soluciones accesibles para la agricultura sostenible*. Editorial Agrícola.

Smith, J., Brown, L., & Johnson, K. (2020). *Automated irrigation systems and their impact on plant quality and operational costs.* Journal of Agricultural Technology, 15(2), 123-135.

Tocto, O. (2019). *Evaluación del sistema de riego por goteo de 56 Has. de Vid Red Globe (Vitis Vinifera) Sector La Misteriosa, Irrigación Olmos – Región Lambayeque*. Universidad Nacional de Trujillo

Valencia, J. A., *et al.* (1991). *Establecimiento del cultivo.*. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/1624.

Vergara, A., Mercado, T., Jarma, A., & Gatti, K. (2017). *Requerimiento Hídrico de Gmelina arborea en Etapa de Vivero Bajo Condiciones Controladas. Floresta e Ambiente*, *24*(0). https://doi.org/10.1590/2179-8087.012915

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro profundo y sincero agradecimiento al personal directivo, administrativo y docentes de la Universidad Nacional de Jaén, especialmente a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, quienes con esfuerzo y dedicación nos brindaron diversas experiencias académicas, tecnológicas y profesionales en la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. En particular, agradecemos al Dr. Félix Poicon Edwin Carlos Lenin, asesor de nuestro proyecto tesis, quien me orientó para poder culminar la presente investigación denominada "prototipo de un sistema de riego automatizado por goteo en el parque experimental de la municipalidad provincial de jaén".

Concluyo expresando mi agradecimiento a todos aquellos que, con su gran espíritu de apoyo y su experiencia profesional, hicieron posible la realización de este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con profunda gratitud y admiración, a mi madre Sra. Delia García López , faro incansable de amor, fortaleza y sabiduría, cuyo ejemplo de lucha y entrega ha sido mi mayor inspiración; a mí mismo, por la determinación, el esfuerzo y la resiliencia que me han permitido avanzar con firmeza hacia esta meta; al cuerpo militar, por formarme con disciplina, honor y compromiso, brindándome un entorno de aprendizaje riguroso y valioso; y, de manera muy especial, al Dr. Félix Poicon, por su guía generosa, su apoyo incondicional y su fe constante en mi capacidad, acompañándome con profesionalismo y humanidad en cada paso de este proceso académico.

ANEXOS

Anexo 01

Parque experimental



Nota: plano emitido por el área de Áreas Verdes y Ornato de la Municipalidad Provincial de Jaén proporciona la ubicación geográfica precisa del parque experimental.

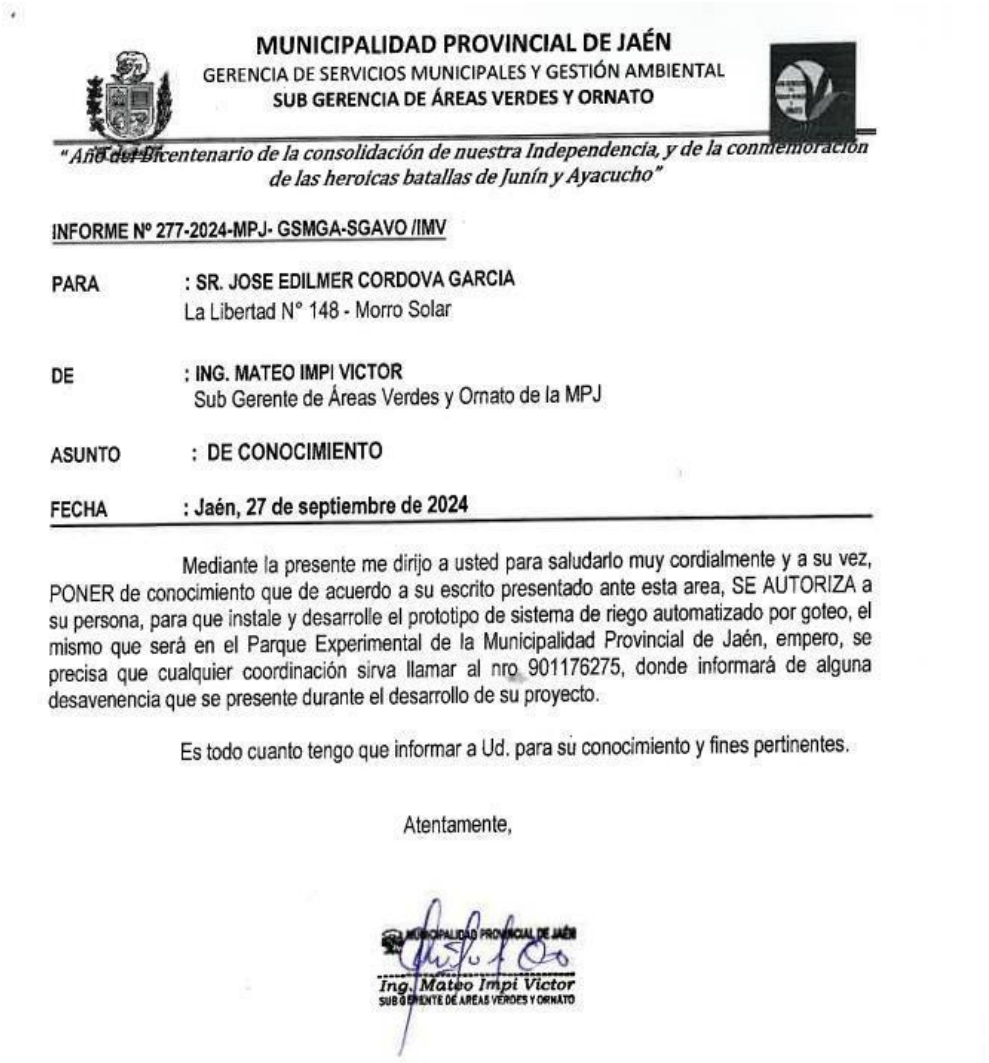
Anexo 02

Parque Experimental, autorizado para el proyecto, presentaba deficiencias en riego y mantenimiento, afectando su vegetación y funcionalidad.



Anexo 03

Solicitud de Autorización



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
GERENCIA DE SERVICIOS MUNICIPALES Y GESTIÓN AMBIENTAL
SUB GERENCIA DE ÁREAS VERDES Y ORNATO

"Año del Bicentenario de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

INFORME Nº 277-2024-MPJ- GSMGA-SGAVO /IMV

PARA : **SR. JOSE EDILMER CORDOVA GARCIA**
La Libertad N° 148 - Morro Solar

DE : **ING. MATEO IMPI VICTOR**
Sub Gerente de Áreas Verdes y Ornato de la MPJ

ASUNTO : **DE CONOCIMIENTO**

FECHA : **Jaén, 27 de septiembre de 2024**

Mediante la presente me dirijo a usted para saludarlo muy cordialmente y a su vez, PONER de conocimiento que de acuerdo a su escrito presentado ante esta area, SE AUTORIZA a su persona, para que instale y desarrolle el prototipo de sistema de riego automatizado por goteo, el mismo que será en el Parque Experimental de la Municipalidad Provincial de Jaén, empero, se precisa que cualquier coordinación sirva llamar al nro 901176275, donde informará de alguna desavenencia que se presente durante el desarrollo de su proyecto.

Es todo cuanto tengo que informar a Ud. para su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
Ing. Mateo Impi Victor
SUB GERENTE DE ÁREAS VERDES Y ORNATO

Nota. Autorización para desarrollo de prototipo de sistema de riego automatizado por goteo en el parque experimental de la municipalidad provincial de Jaén.

Anexo 04

Entrevista no estructurada

Proyecto: Sistema de Riego Automatizado por Goteo - Parque Experimental, Jaen

Fecha: _____

Entrevistador: _____

Lugar: _____

1. ¿Como percibe el estado actual del parque experimental?

[ ] Bueno [ ] Regular [ ] Malo

Comentario: _____

2. ¿Ha notado problemas con el riego o uso del agua en el parque?

[ ] Si [ ] No

Comentario: _____

3. ¿Que le parece la idea de implementar un sistema de riego automatizado por goteo?

[ ] Positiva [ ] Negativa [ ] No sabe

Comentario: _____

4. ¿Cree que este tipo de tecnologia beneficiaria al parque y la comunidad?

[ ] Si [ ] No

Comentario: _____

Nota. Encuesta diagnostica de recopilación de información cualitativa y cuantitativa sobre la percepción de los vecinos y trabajadores municipales respecto al estado actual del Parque Experimental,