

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**Sistema de riego inteligente para reducir costos de mantenimiento de las
áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, Lambayeque**

Para Optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADA POR:

Bach. Chú Salazar, Luis Jesús Ricardo

Bach. Sánchez Carranza, Alexander Lino

ASESOR:

M.Sc. Chiclayo Padilla, Hugo Javier

LAMBAYEQUE – PERÚ

2 de junio de 2026

TESIS

**“Sistema de riego inteligente para reducir costos de mantenimiento de las
áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, Lambayeque”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

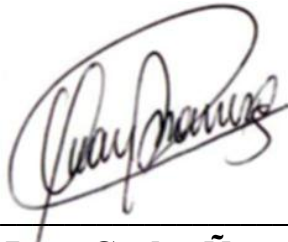
APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:



Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos
PRESIDENTE



Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
SECRETARIO



Mg. Ing. Juan Carlos Ñaños Aguilar
VOCAL

TESIS

**“SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA REDUCIR COSTOS DE
MANTENIMIENTO DE LAS ÁREAS VERDES DE LA PLAZA CENTRAL
DE TÚCUME, LAMBAYEQUE”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

AUTORES:



Bach. Chú Salazar, Luis Jesús Ricardo



Bach. Sánchez Carranza, Alexander Lino

ASESOR:



M.Sc. Chiclayo Padilla, Hugo Javier



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO

Ciudad Universitaria - Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCION DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 - 2023-SUNEDU / CD



0084



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 47-2024.-D/FACFyM

Siendo las 10:00 horas del día 02 de junio del 2024, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

Sistema de riego inteligente para reducir costos de mantenimiento de las áreas verdes de la Plaza Central de Tarma, Lambayeque

Designados por Resolución N° 424-2023 D/FACFyM de fecha 14 de mayo de 2023

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos

Presidente

Dca. Ing. Lucia Isabel Chamba Cabrera

Secretario

Mg. Ing. Juan Carlos Navez Aguilar

Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) MSc. Ing. Hugo Javier Chichay Padilla nombrado por Resolución N° 424-2023 D/FACFyM de fecha 14 de mayo de 2023

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 408-2024 D/FACFyM de fecha 26 de mayo de 2024

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller(es): Chu Salazar Luis Torres Ricardo y Sanchez Caranza Alexander y tuvo una duración de 35 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de Once (15) en la escala vigesimal, mención Regular.

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:30 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS

Presidente

LUCIA ISABEL CHAMBA CABRERA

Secretario

Mg. Ing. Juan Carlos Navez Aguilar

Vocal

ING. HUGO JAVIER CHICHAY PADILLA

Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR

M.Sc. Hugo Javier Chiclayo Padilla, usuario revisor del documento titulado:
“Sistema de riego inteligente para reducir costos de mantenimiento de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, Lambayeque”

Cuyos autores son:

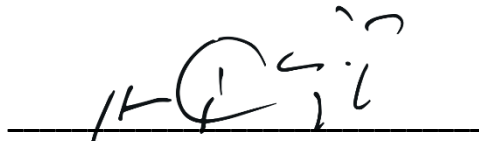
- Bach. Chú Salazar, Luis Jesús Ricardo
- Bach. Sánchez Carranza, Alexander Lino

Identificado con Documento de Identidad 16703734; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud de 10 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 04 de mayo del 2026



M.Sc. Hugo Javier Chiclayo Padilla
DNI N° 16703734
Asesor

Adjunto:

- Reporte Turnitin Completo
- Recibo Digital

sistema de riego inteligente para reducir costos de mantenimiento de las áreas verdes de la plaza central de Túcume, Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

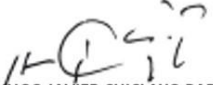
FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	1%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unprg.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	innovaromorir.com	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unamad.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	dspace.ups.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
6	docplayer.es	<1%
	Fuente de Internet	
7	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1%
	Trabajo del estudiante	
8	okeanis.lib.teipir.gr	<1%
	Fuente de Internet	
9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	<1%
	Trabajo del estudiante	
10	hdl.handle.net	<1%
	Fuente de Internet	
11	ctscafe.pe	<1%
	Fuente de Internet	

12	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Autónoma de Aguascalientes Trabajo del estudiante	<1 %
14	Submitted to University of Melbourne Trabajo del estudiante	<1 %
15	electronicmanufacturingservice.org Fuente de Internet	<1 %
16	www.fao.org Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología (NO TOCAR) Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	<1 %
19	Submitted to Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE Trabajo del estudiante	<1 %
20	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	<1 %
21	www.rendoumi.com Fuente de Internet	<1 %
22	reflexion24informativo.com.mx Fuente de Internet	<1 %
23	Gardyn Olivera-Ruiz, Edwin Jesús Vega-Ventocilla. "Internet de las cosas para el monitoreo de factores ambientales agrícolas: mapeo sistemático", Ingenium et Potentia, 2026 Publicación	<1 %

24	Submitted to Imperial College of Science, Technology and Medicine	<1 %
	Trabajo del estudiante	
25	documents.mx	<1 %
	Fuente de Internet	
26	oa.upm.es	<1 %
	Fuente de Internet	
27	repositorio.ucv.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
28	www.riegocnr.gob.cl	<1 %
	Fuente de Internet	
29	Submitted to Escuela Politecnica Nacional	<1 %
	Trabajo del estudiante	
30	Submitted to Infile	<1 %
	Trabajo del estudiante	
31	biblus.us.es	<1 %
	Fuente de Internet	
32	cdn.autosolar.es	<1 %
	Fuente de Internet	
33	dspace.unach.edu.ec	<1 %
	Fuente de Internet	
34	issuu.com	<1 %
	Fuente de Internet	
35	www.coursehero.com	<1 %
	Fuente de Internet	
36	www.digitalsecuritymagazine.com	<1 %
	Fuente de Internet	
37	livrosdeamor.com.br	<1 %
	Fuente de Internet	
38	patents.google.com	<1 %
	Fuente de Internet	

39	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	www.liberadamaria.org Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
42	Santiago Asto, Julio Cesar. "Implementacion de una metodologia para la medicion de la interferencia inalambrica en la banda ISM en zonas exteriores urbanas para garantizar la comunicacion de una red inalambrica de sensores.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020 Publicación	<1 %
43	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
44	Submitted to University of Glamorgan Trabajo del estudiante	<1 %


 Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA
hchiclayo@unprg.edu.pe - 920583570
 ASESOR

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 15 words
 Excluir bibliografía Activo



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Chu Salazar Sanchez Carranza
Título del ejercicio:	Quick Submit
Título de la entrega:	sistema de riego inteligente para reducir costos de mantenimi...
Nombre del archivo:	5._DOCUMENTO_FINAL_DE_TESIS.pdf
Tamaño del archivo:	1.9M
Total páginas:	86
Total de palabras:	15,084
Total de caracteres:	88,088
Fecha de entrega:	02-may-2026 09:28p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2950348877

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

“Sistema de riego inteligente para reducir costos de mantenimiento de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, Lambayeque”

Para Optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADA POR:

Bach. Chu Salazar, Luis Jesús Ricardo

Bach. Sánchez Carranza, Alexander Lino

ASESOR:

M.Sc. Chiclavo Padilla, Hugo Javier

LAMBAYEQUE - PERÚ
2025



Ing. HUGO JAVIER CHICLAVO PADILLA
hchiclavo@unp.edu.pe - 90989379
ASESOR

AGRADECIMIENTOS CHÚ SALAZAR LUIS JESÚS RICARDO

A LA UNPRG,

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por haber sido mi casa de estudios y el espacio que me permitió desarrollarme plenamente, tanto en el ámbito académico y profesional, como en el personal.

A MI MADRE Y ABUELA,

A mi madre y a mi abuela, quienes han sido una constante fuente de inspiración y un apoyo incondicional para la culminación de este proyecto.

A MG. ING. HUGO CHICLAYO PADILLA,

A nuestro asesor de tesis, el Ingeniero Hugo Chiclayo Padilla, por su valiosa guía, apoyo y orientación académica brindada durante el desarrollo y culminación de este proyecto.

AGRADECIMIENTO SÁNCHEZ CARRANZA ALEXANDER LINO

A DIOS,

A dios, por darme la vida, la salud, la fortaleza y sabiduría necesaria para culminar esta etapa importante de mi formación profesional.

A MIS PADRES,

A mis padres, quienes con su amor, apoyo incondicional y sacrificio me brindaron las oportunidades necesarias para alcanzar este logro. A mis hermanas y familiares, por sus palabras de aliento y comprensión en los momentos difíciles.

A MIS PROFESORES y ASESOR,

A mis profesores y asesor de la escuela Profesional de ingeniería electrónica, por compartir sus conocimientos, su guía académica y su ejemplo de disciplina y perseverancia.

A MIS COLEGAS Y AMIGOS

A mis colegas y amigos de estudios, por su colaboración y motivación durante estos años de formación universitaria, de manera directa o indirecta, contribuyeron en la realización de esta tesis, la cual representa un peldaño más en el camino de mi desarrollo personal y profesional.

DEDICATORIA CHÚ SALAZAR LUIS JESÚS RICARDO

A la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

A mi madre Sonnia Tatiana Salazar Mendoza y a mi abuela Lia Mendoza Quimper.

DEDICATORIA SÁNCHEZ CARRANZA ALEXANDER LINO

Dedico este trabajo a mis padres, hermanas y familiares en general, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio hicieron posible mi formación profesional.

A la escuela profesional de ingeniería electrónica.

ÍNDICE GENERAL

1	CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO	19
1.1	Antecedentes	19
1.1.1	Antecedentes Internacionales.....	19
1.1.2	Antecedentes Nacionales	20
1.2	Bases Teóricas.....	22
1.2.1	Sistemas de Riego Inteligente.....	22
1.2.2	Eficiencia Hídrica y Reducción de Costos de Mantenimiento	25
1.2.3	Tecnologías IoT Aplicadas a Sistemas de Riego	26
1.2.4	Agricultura 4.0	27
2	CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES	29
2.1	Diseño de Contrastación de Hipótesis.....	29
2.2	Población, muestra	30
2.2.1	Población.....	30
2.2.2	Muestra	30
2.3	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	30
2.3.1	Técnicas	30
2.3.2	Instrumentos.....	31
2.3.3	Equipos y materiales	31
3	CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1	Resultados	32
3.2	Diseño del Sistema	33

3.2.1	Arquitectura del sistema	33
3.2.2	Diseño de las conexiones del sistema inteligente	34
3.3	Configuración de la Raspberry Pi 5	36
3.4	Monitoreo remoto del sistema de riego inteligente a través de infraestructura de red...	60
3.4.1	Componentes de Red	61
3.5	Discusión.....	66
4	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1	Conclusiones	67
4.2	Recomendaciones.....	68
5.	Bibliografía	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de aplicaciones de la Internet de las cosas en la agricultura	28
Figura 2 Diseño de Contrastación de hipótesis.....	29
Figura 3 Diseño de sistema de riego inteligente	33
Figura 4 Interfaz de instalación del sistema operativo Raspberry Pi OS.....	38
Figura 5 Selección del dispositivo, sistema operativo en Raspberry Pi Imager	38
Figura 6 Raspberry Pi 5	39
Figura 7 Placa de Desarrollo Original Oficial Raspberry Pi 5	40
Figura 8 Dimensiones y diseño técnico de la Raspberry Pi 5.....	41
Figura 9 Sensor de Temperatura y Humedad del aire	42
Figura 10 Activación de VNC	44
Figura 11 Configuración de interfaces de la Raspberry Pi 5 para habilitar el acceso	44
Figura 12 VNC activada en la configuración de la Raspberry Pi 5.....	45
Figura 13 Visualización del sistema de monitoreo de riego inteligente en la Raspberry Pi 5.....	46
Figura 14 Módulo driver Puente H L298N y optoacoplador para el control de electroválvula ..	47
Figura 15 Visualización de los resultados de Sensores en dispositivo Móvil	48
Figura 16 Diagrama de flujo de decisiones para la activación del sistema de riego inteligente .	49
Figura 17 Visualización de variables ambientales en el sistema de riego inteligente	57
Figura 18 Sensor de Temperatura y Humedad DHT22	57
Figura 19 Ubicación de las zonas de muestreo para el sistema de riego inteligente	58
Figura 20 Proceso de medición de variables ambientales y de suelo en campo.....	58

Figura 21 Monitoreo de temperatura	59
Figura 22 Datos meteorológicos de Túcume obtenidos de plataformas web de monitoreo	59
Figura 23 Comparación de variables registradas en el sistema de riego inteligente	59
Figura 24 Topología de red conexión de Raspberry Pi 5 al sistema de monitoreo	60
Figura 25 Interfaz de monitoreo en tiempo real del sistema de riego inteligente	63
Figura 26 Prototipo para Muestreo	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación entre sistemas de riego convencionales y sistemas inteligentes	16
Tabla 2 Resultados de la simulación del sistema de riego inteligente (Caso 1)	53
Tabla 3 Resultados de la simulación del sistema de riego inteligente (Caso 2)	54
Tabla 4 Presupuesto de mantenimiento tradicional	82
Tabla 5 Presupuesto de mantenimiento automatizado	84
Tabla 6 Análisis Comparativo.....	86

RESUMEN

La presente investigación desarrolla el diseño de un sistema de riego inteligente orientado a optimizar el uso del recurso hídrico y reducir los costos de mantenimiento en las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, Lambayeque, el estudio parte de la problemática del riego manual, caracterizado por un consumo excesivo de agua, altos costos operativos y ausencia de monitoreo ambiental, el sistema se fundamenta en una arquitectura basada en una Raspberry Pi 5, conectada a sensores de humedad del suelo y ambientales (DHT22), junto con un módulo relé que activa válvulas y bombas de riego, se realizaron simulaciones y pruebas que demostraron la capacidad del sistema para automatizar la irrigación según umbrales definidos, considerando factores ambientales y sociales como lluvia y presencia de personas, resultados que proyectaron un ahorro de agua del 40–50 % y una reducción de costos de mantenimiento entre 20–25 %, el sistema, además, permitió el monitoreo remoto y almacenamiento de datos en la nube, facilitando la gestión municipal. Se concluyó que el modelo es viable técnica y económicamente, y constituye una alternativa sostenible y replicable para otras municipalidades.

Palabras clave: Riego inteligente, Raspberry Pi, Optimización hídrica, Áreas verdes urbanas.

ABSTRACT

This research presents the design of a smart irrigation system aimed at optimizing water use and reducing maintenance costs in the green areas of Túcume's Central Plaza, Lambayeque. The study addresses the limitations of manual irrigation, which is characterized by excessive water consumption, high operational costs, and the absence of environmental monitoring. The proposed system relies on an architecture based on a Raspberry Pi 5, connected to soil moisture and environmental sensors (DHT22), and a relay module that controls irrigation valves and pumps. Simulations and tests demonstrated the system's ability to automate irrigation according to predefined thresholds while considering environmental and social factors such as rainfall and the presence of pedestrians. Results project water savings between 40–50% and maintenance cost reductions of 20–25%. Additionally, the system enables remote monitoring and cloud data storage, supporting more efficient municipal management. The study concludes that the proposed design is both technically and economically viable, representing a sustainable and replicable alternative for urban green space management in other municipalities.

Keywords: Smart irrigation, Raspberry Pi, Water optimization, Urban green areas.

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, la gestión ineficiente del agua en espacios públicos urbanos representa un desafío crítico, evidenciado por sistemas de riego convencionales que desperdician hasta un 50% del agua utilizada debido a la falta de monitoreo en tiempo real y automatización adaptativa, estos sistemas tradicionales operan con horarios fijos sin considerar las condiciones climáticas cambiantes ni las necesidades reales de las plantas, lo que resulta en un uso excesivo de recursos hídricos, altos costos operativos y un mantenimiento intensivo que sobrecargan los presupuestos municipales (Kumar et al., 2022). Obaideen et al. (2022) señalan que la ausencia de tecnologías de medición precisa y control automatizado en los sistemas de riego urbanos ha generado una contradicción entre el aumento de áreas verdes para mitigar el cambio climático y la creciente escasez de agua a nivel mundial, exacerbando la presión sobre recursos ya limitados y comprometiendo la sostenibilidad de estos espacios públicos (Obaideen et al., 2022).

En el Perú, la problemática se intensifica debido a la persistencia de métodos de riego obsoletos en áreas verdes urbanas, caracterizados por una elevada dependencia de la intervención manual y una notable ausencia de monitoreo científico de parámetros ambientales, la mayoría de municipalidades peruanas destinan entre un 20% y 30% de su presupuesto de mantenimiento urbano a la gestión de áreas verdes, con más del 60% de estos recursos asignados a operaciones de riego ineficientes y reparaciones recurrentes (Mahesh & Ramya, 2023). Esta situación se agrava en regiones con marcada estacionalidad pluviométrica como la costa norte, en donde los sistemas municipales operan con esquemas rígidos que no se adaptan a las variaciones climáticas, resultando en ciclos de sobre riego y déficit hídrico que deterioran la vegetación, aumentan la

rotación de personal y elevan considerablemente los costos operativos, evidenciando una falta de integración tecnológica que optimice estos procesos esenciales para el bienestar urbano (Rajpoot & Singh, 2022).

En el departamento de Lambayeque, particularmente en la Plaza Central Federico Villarreal del distrito de Túcume, el sistema de riego actual opera bajo un esquema completamente manual que demanda intensiva mano de obra, presenta pérdidas significativas de agua por evaporación e infiltración, y carece de cualquier forma de monitoreo de las condiciones del suelo o medición del consumo hídrico. De acuerdo con datos proporcionados por la Municipalidad Distrital de Túcume, este sistema obsoleto requiere la asignación permanente de tres trabajadores municipales que deben realizar riegos diarios independientemente de las precipitaciones o condiciones climáticas, lo que según Hassan et al. (2023) representa un desperdicio estimado del 40% del agua utilizada y un sobre costo operativo anual cercano al 35% del presupuesto asignado al mantenimiento de áreas verdes (Prieto & Yamunaque, 2023). Esta situación se agrava durante la temporada seca cuando el suministro de agua es más limitado, provocando deterioro visible en la vegetación ornamental y generando insatisfacción ciudadana con el estado de este espacio público emblemático para el patrimonio cultural y la identidad local.

La evidencia empírica confirma la magnitud del problema a través de múltiples estudios comparativos entre sistemas de riego convencionales y sistemas inteligentes.

Tabla 1
Comparación entre sistemas de riego convencionales y sistemas inteligentes

Indicador	Sistema Convencional	Sistema Inteligente	Diferencia Porcentual
Consumo de agua	7.5 L/m ² /día	3.2 L/m ² /día	-
Costos operativos anuales	4,200/ha	\$1,850/ha	-
Horas-hombre requeridas	520 h/ha/año	180 h/ha/año	-
Vida útil de infraestructura	3-5 años	7-10 años	
Precisión en aplicación	-	-	

Fuente: Adaptado de Uddin et al., (2021)

Los datos recopilados revelan patrones consistentes de ineficiencia en los modelos tradicionales como lo muestra la tabla No 01, donde se analiza los sistemas convencionales e inteligentes documentando sistemáticamente reducciones en el consumo hídrico superiores al 50%, disminuciones en costos operativos cercanas al 60% y una extensión significativa de la vida útil de los equipos (Abdulaziz & Croock, 2023), beneficios que se maximizan en regiones con alta variabilidad climática como Lambayeque, donde las plataformas de IoT monitorizando parámetros ambientales pueden ajustar dinámicamente los ciclos de riego (Çetin & Beyhan, 2022).

La implementación de un sistema de riego inteligente para la Plaza Central Federico Villarreal del distrito de Túcume, trasciende la mera optimización técnica para constituirse en una intervención estratégica con impactos multidimensionales en el desarrollo sostenible local, estos sistemas representan nodos de transformación digital que catalizan la modernización de la gestión pública mientras generan ahorros documentados entre 30-45% en costos operativos y reducciones de 40-60% en consumo hídrico (Lai et al., 2023), recursos que pueden redirigirse hacia otras necesidades comunitarias. Esta investigación tiene particular relevancia en el distrito de Túcume, donde la Plaza Central Federico Villareal no solo cumple funciones ornamentales, sino que constituye un espacio identitario vinculado a la íntima relación de aprecio por parte de los habitantes que demanda preservación óptima como activo turístico y social. La convergencia entre necesidad de optimización presupuestaria municipal, creciente estrés hídrico regional y potencial demostrativo de tecnologías sostenibles posiciona este proyecto como un referente replicable para otras municipalidades, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible al integrar innovación tecnológica con gestión eficiente de recursos naturales, económicos y humanos (Esmail et al., 2023).

La presente investigación se justifica por la urgente necesidad de superar las limitaciones identificadas en el sistema de riego actual de la Plaza Central Federico Villarreal del distrito de Túcume, donde la combinación de operación manual ineficiente, ausencia de monitoreo de parámetros ambientales y desperdicio de recursos hídricos genera sobre costos significativos en el presupuesto municipal. Como demuestran los estudios comparativos de (Obaideen et al., 2022), la implementación de sistemas de riego inteligentes basados en IoT y redes de sensores puede reducir hasta un 45% los costos operativos mientras mejora la salud de la vegetación y disminuye el consumo de agua. Esta propuesta responde al triple desafío de optimización presupuestaria, sostenibilidad ambiental y modernización tecnológica que enfrenta la municipalidad distrital de Túcume, aportando una solución integral adaptada a las condiciones específicas del entorno local (Badotra et al., 2021) y que puede servir como modelo replicable para otras municipalidades de la región que comparten problemáticas similares, maximizando así el impacto transformador de la investigación.

CAPÍTULO I DISEÑO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

1.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Giraldo , en su tesis titulada Desarrollo de un sistema agrícola integrado de bajo costo para la optimización de recursos hídricos basado en Internet de las Cosas (IoT), plantea como objetivo el desarrollar un sistema IoT de bajo costo para fomentar el uso sostenible del agua en cultivos de limón Tahití y aguacate Choquette en Santander, Colombia. Se utilizó un enfoque experimental con diseño en V en un área de una hectárea, abarcando requerimientos, instrumentación, subsistemas y validación. Se emplearon sensores de bajo costo (DS18B20, HD38, pH analógico y FS400A), una Raspberry Pi 3, electroválvulas y una aplicación móvil con Firebase y Android Studio. Los resultados incluyeron la reducción del tiempo de riego de 40 a 9 minutos, un ahorro de agua del 50% y un caudal mínimo de 1.5 L/min. El sistema aportó registro confiable, monitoreo de pH en tiempo real y uso eficiente de recursos.

Moreira & Rocano , en su investigación titulada Desarrollo de un Sistema de Riego Inteligente para un Cultivo de Rosas Basados en IoT, plantea como objetivo el desarrollar un sistema de riego inteligente basado en Internet de las Cosas para cultivos de rosas, este proyecto desarrolló un sistema de riego inteligente para cultivos de rosas basado en IoT y tecnología LoRaWAN. Se integraron sensores de humedad FC-38 y de temperatura DHT11 conectados a módulos Cube Cell HTCC-AB01, que transmiten datos a un Gateway Milesight UG67 y se gestionan mediante Chirpstack. En un invernadero de rosas en Déleg, Ecuador, se probó la efectividad del sistema, que activa automáticamente la electroválvula para mantener la humedad del suelo en 60%-75%. La comunicación se realizó con éxito entre los tres nodos y el Gateway,

alcanzando distancias de hasta 250 metros. El sistema contribuyó a optimizar el uso de agua, evitando la hiper-hidratación y la deshidratación del suelo, a la vez que mejora la salud de las plantas. Para asegurar una comunicación eficiente, el Gateway se ubicó en posiciones elevadas..

Chugá (2022), desarrolló esta investigación con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de riego inteligente mediante IoT para determinar el estrés hídrico y tiempos de irrigación en agricultura urbana. La metodología incluyó la implementación de un sistema de control en lazo cerrado utilizando sensores DHT22 y SHT10 para la adquisición de datos de humedad y temperatura, electroválvulas para el control del riego, y un microprocesador ESP32 como centralizador, empleando la plataforma ThingSpeak para el almacenamiento y visualización de datos. El estudio se realizó en un área de 2,25m² de cultivo de rábanos en Tumbaco, Ecuador. Los resultados demostraron un aumento en la productividad, con rábanos 84.3% más pesados (26.28g vs 14.26g) y 29.1% más grandes (5.68cm vs 4.4cm) que los de control, además de una reducción del 28.3% en el consumo de agua. La investigación concluyó que el sistema de riego inteligente basado en IoT mejoró significativamente la eficiencia en el uso de agua y aumentó la productividad del cultivo.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Sánchez & Manrique (2024), desarrollaron una investigación con el objetivo de determinar la influencia de un sistema inteligente en el control del riego por goteo en una parcela de lechugas. Emplearon la metodología en V, evaluando el sistema mediante un diseño preexperimental en una parcela de 1m². Utilizaron una placa ESP32, seis sensores de humedad FC-28, un módulo relé y una electroválvula, implementando un algoritmo de aprendizaje por refuerzo con 1000 patrones

de entrenamiento para optimizar las decisiones de riego. Los resultados mostraron una reducción del 59% en costos de mano de obra y 55% en consumo de agua, alcanzando un 100% de tasa de cosecha frente al 75% del riego tradicional. Las lechugas presentaron un incremento del 45.73% en tamaño y 74.31% en peso, con uniformidad total en el color. Concluyeron que el sistema inteligente influye positivamente en todos los aspectos del riego, mejorando significativamente la eficiencia y la calidad de la producción.

Carrillo & Miranda (2023), en su tesis "Sistema de riego inteligente y ecológico para las áreas verdes en Lima Metropolitana utilizando IoT", plantean como objetivo el implementar un prototipo de riego inteligente para un parque de Lima metropolitana utilizando tecnología IoT. Metodológicamente, se desarrolló bajo un enfoque aplicado, realizando benchmarking de tecnologías (microcontroladores, plataformas cloud y middleware), diseñando arquitecturas (física, lógica, integrada y por capas) e implementando un sistema con Arduino UNO, sensores de humedad, temperatura y caudal, conectados a una aplicación web mediante NodeMCU ESP8266. La validación se realizó comparando tres métodos de riego: tradicional, manual y automático en un escenario controlado durante 2 minutos. Los resultados demostraron que el sistema de riego automático logró un consumo de solo 110 ml, en comparación con 1320 ml del riego manual y 2100 ml del riego tradicional, evidenciando que la solución propuesta optimiza significativamente el uso del recurso hídrico, cumpliendo así con el objetivo planteado.

Narvaez & Gutierrez (2022), en su investigación titulada Sistema de Internet de las Cosas para Mejorar el Proceso de Riego en la Comunidad de Matará, plantearon como objetivo determinar la relación entre un sistema IoT y el proceso de riego en la comunidad de Matará,

utilizando una metodología de investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental, se empleó la metodología V para el desarrollo del sistema. La muestra consistió en 30 ejecuciones del proceso de riego registradas por los comuneros. Se utilizaron hojas de cálculo y fichas de observación como instrumentos de recolección de datos. Los resultados evidenciaron que el sistema IoT redujo el volumen de agua utilizado en 26.05%, disminuyó el tiempo de abastecimiento de 230 a 24.3 minutos (89.43%), y redujo los costos del proceso de riego de 163 a 47.96 soles (70.57%) y los costos de adquisición de agua en 29%. Se concluyó que el sistema IoT mejora significativamente el proceso de riego en la comunidad de Matará, optimizando recursos y reduciendo costos.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Sistemas de Riego Inteligente

1.2.1.1 Definición y Evolución

Los sistemas de riego inteligente representan la evolución tecnológica de los métodos tradicionales de irrigación, incorporando sensores, controladores programables, comunicación inalámbrica y algoritmos de decisión para optimizar el uso del agua y otros recursos (Yousif et al., 2024), estos sistemas se caracterizan por su capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes y tomar decisiones autónomas sobre cuándo, cómo y cuánto regar, basándose en datos reales del entorno (Sami et al., 2022).

La evolución de estos sistemas ha pasado por varias etapas: desde los temporizadores simples, hasta los actuales sistemas integrados en el Internet de las Cosas (IoT) que permiten monitoreo y control remoto (Tamil Malar & Vaishnavi, 2022). Esta transformación ha sido impulsada por avances en microelectrónica, comunicaciones

inalámbricas, computación en la nube y aprendizaje automático, generando soluciones cada vez más eficientes y accesibles (Keerthi et al., 2024).

1.2.1.2 Componentes Fundamentales

Un sistema de riego inteligente típico consta de los siguientes componentes esenciales:

- i. **Sensores:** Dispositivos que miden diversos parámetros ambientales y del suelo (Elhattab et al., 2024), incluyendo:
 - Sensores de humedad del suelo (capacitivos o resistivos)
 - Sensores de temperatura ambiente y del suelo
 - Sensores de precipitación o pluviómetros
 - Sensores de radiación solar
 - Sensores de flujo de agua (caudalímetros)
 - Sensores de presión
- ii. **Unidad de control:** El cerebro del sistema, generalmente basado en microcontroladores o microprocesadores, que procesa la información de los sensores y toma decisiones sobre el riego según algoritmos predefinidos (Bhoi et al., 2023).
- iii. **Actuadores:** Componentes electromecánicos como válvulas solenoides, bombas, aspersores motorizados que ejecutan las decisiones tomadas por la unidad de control (Dhyani et al., 2024).
- iv. **Sistema de comunicación:** Permite la interconexión entre componentes y, en sistemas más avanzados, la comunicación con servidores remotos o aplicaciones móviles. Puede

utilizar tecnologías como WiFi, ZigBee, LoRa, Bluetooth o GSM/GPRS (Mujoo et al., 2021).

- v. **Interfaz de usuario:** Proporciona a los administradores del sistema herramientas para monitorear, configurar y supervisar el funcionamiento del sistema, ya sea a través de paneles físicos, aplicaciones web o móviles (Badotra et al., 2021).
- vi. **Sistema de alimentación energética:** Puede incluir conexión a la red eléctrica, baterías o sistemas de energía renovable como paneles solares (Angelin Blessy & Kumar, 2021).

1.2.1.3 Algoritmos y Estrategias de Control

Los sistemas de riego inteligente utilizan diversos enfoques para determinar los regímenes óptimos de irrigación (Aminuddin et al., 2021):

- **Control basado en tiempo:** Programación simple basada en horarios predefinidos, pero con capacidad de ajuste según condiciones climáticas.
- **Control basado en sensores:** Responde a umbrales de medición específicos, como activar el riego cuando la humedad del suelo cae por debajo de un nivel determinado.
- **Control predictivo:** Incorpora modelos matemáticos y algoritmos de predicción que anticipan necesidades de riego basándose en patrones históricos y pronósticos meteorológicos.
- **Control adaptativo:** Sistemas que "aprenden" y se ajustan continuamente en función de sus resultados previos, utilizando técnicas de aprendizaje automático o inteligencia artificial.

- **Control basado en evapotranspiración (ET):** Calcula las necesidades hídricas de las plantas mediante la estimación de la evapotranspiración, considerando factores como temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar.

1.2.2 Eficiencia Hídrica y Reducción de Costos de Mantenimiento

1.2.2.1 Optimización del Uso del Agua

El agua constituye uno de los recursos más valiosos y, a la vez, más limitados para el mantenimiento de áreas verdes urbanas. La optimización de su uso representa no solo un imperativo ambiental sino también económico, los sistemas de riego inteligente pueden reducir el consumo de agua entre un 20% y un 50% en comparación con sistemas convencionales, dependiendo de factores como el clima local, tipo de vegetación y condiciones del suelo (Anitha et al., 2023).

Esta reducción se logra principalmente a través de:

- **Riego de precisión:** Aplicación del agua exactamente donde y cuando se necesita, minimizando pérdidas por evaporación o escorrentía.
- **Programación adaptativa:** Ajuste dinámico de los ciclos de riego según condiciones climáticas reales y pronosticadas.
- **Detección de fugas:** Identificación temprana de problemas en el sistema de distribución que podrían causar desperdicio de agua.
- **Zonificación inteligente:** División del área verde en zonas con necesidades hídricas similares, permitiendo aplicar regímenes de riego diferenciados.

1.2.3 Tecnologías IoT Aplicadas a Sistemas de Riego

1.2.3.1 Internet de las Cosas (IoT) en Agricultura Urbana

El Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado la gestión de espacios verdes urbanos mediante la interconexión de dispositivos que recopilan, transmiten y procesan datos para optimizar procesos y recursos, la aplicación de IoT en agricultura urbana y gestión de parques públicos permite crear ecosistemas tecnológicos donde cada elemento está conectado y contribuye a la toma de decisiones integrada (Nyathi & Muremi, 2024).

Las principales ventajas de la implementación de IoT en sistemas de riego urbano incluyen:

- **Monitoreo en tiempo real:** Supervisión constante de parámetros críticos sin necesidad de presencia física.
- **Análisis de big data:** Procesamiento de grandes volúmenes de datos históricos para identificar patrones y optimizar la gestión.
- **Interoperabilidad:** Capacidad de integrar el sistema de riego con otros sistemas municipales como iluminación, seguridad o gestión energética.
- **Escalabilidad:** Facilidad para expandir el sistema incorporando nuevos nodos o sensores según necesidades emergentes.

1.2.3.2 Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Las Redes de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) constituyen un componente fundamental en los sistemas de riego inteligente modernos, estas redes consisten en múltiples nodos de sensores distribuidos estratégicamente que recopilan datos y los transmiten a una estación base o gateway para su procesamiento

(Saxena & Gupta, 2023). Las características más relevantes de las WSN aplicadas a sistemas de riego incluyen:

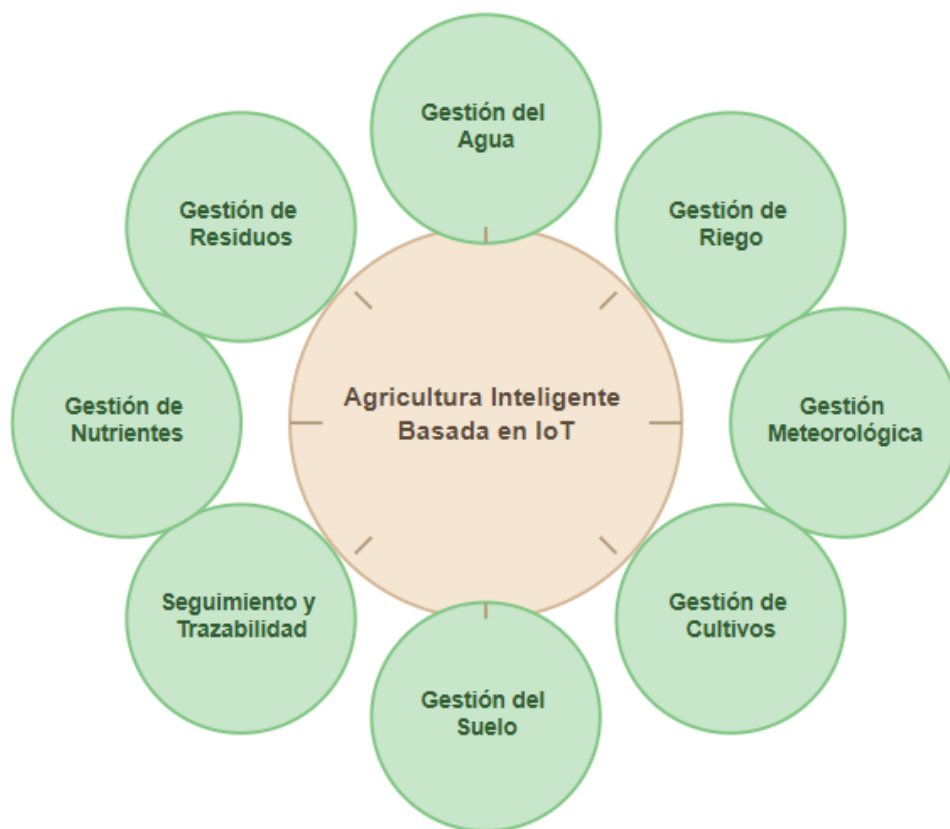
- **Autonomía energética:** Capacidad de operar con baterías o energía solar, eliminando la necesidad de cableado extenso.
- **Comunicación mesh:** Protocolos que permiten que los datos encuentren rutas alternativas hacia el gateway, aumentando la fiabilidad del sistema.
- **Bajo consumo energético:** Diseños optimizados para maximizar la duración de las baterías mediante ciclos de sueño y transmisión eficiente.
- **Resistencia ambiental:** Capacidad de operar en condiciones adversas, como exposición a la intemperie, variaciones térmicas o presencia de polvo.

1.2.4 Agricultura 4.0

La Agricultura 4.0, o agricultura inteligente, implica la integración de tecnologías sofisticadas como sensores IoT, robótica, inteligencia artificial, análisis de big data y plataformas de computación en la nube para digitalizar y mejorar los procesos agrícolas, plantea cuatro requisitos esenciales: aumentar la productividad, asignar razonablemente los recursos, adaptarse al cambio climático y evitar el desperdicio de alimentos permitiendo que los gobiernos optimicen la asignación de recursos, particularmente para recursos limitados como el agua a través del mapeo de riego (Gyamfi et al., 2024).

Figura 1

Tipos de aplicaciones de la Internet de las cosas en la agricultura



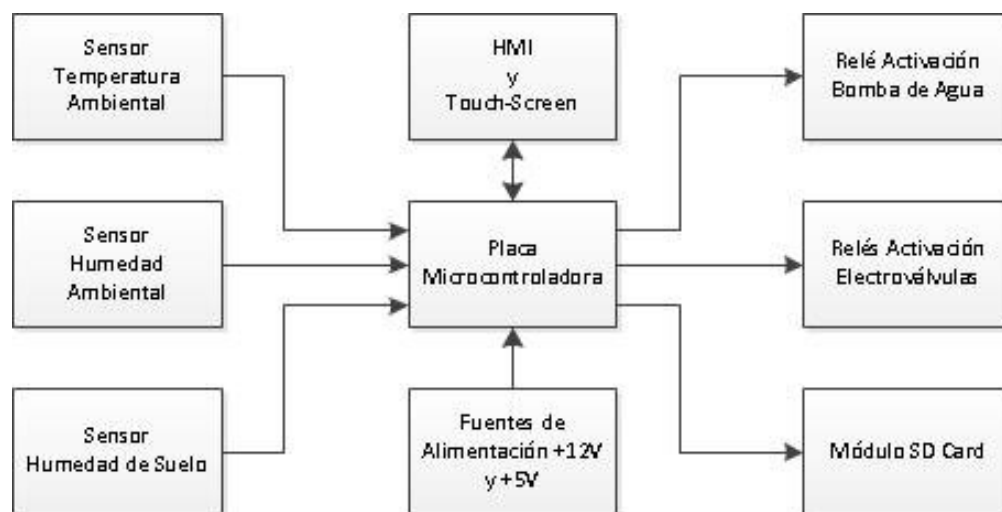
CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES

2.1 Diseño de Contrastación de Hipótesis

Haciendo uso de las diferentes teorías de adquisición de datos, se muestra un esquema de la ruta que siguen los datos ambientales y de riego, empezando por su recolección a través de sensores distribuidos estratégicamente en las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume. Estos datos se recopilan en una placa Raspberry Pi, la cual procesa la información y toma decisiones automáticas sobre los ciclos de riego según algoritmos predefinidos. La placa se conecta a internet para permitir el control externo y la visualización de los parámetros del sistema mediante una aplicación web, lo cual facilita la supervisión remota por parte del personal de mantenimiento municipal y permite ajustes manuales cuando sea necesario, optimizando así el uso de recursos hídricos y reduciendo costos operativos.

Figura 2

Diseño de Contrastación de hipótesis



2.2 Población, muestra

2.2.1 Población

La población de estudio está conformada por las áreas verdes con sistemas de riego en parques y plazas públicas del distrito de Túcume, Lambayeque, que comparten la problemática de consumo excesivo de agua y altos costos de mantenimiento. De manera particular, la población directamente vinculada al proyecto corresponde a la Plaza Central Federico Villarreal de Túcume, incluyendo sus superficies vegetadas, operaciones de riego, personal de mantenimiento y recursos hídricos utilizados durante el periodo de observación.

2.2.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por la totalidad de las zonas regables de la Plaza Central Federico Villarreal, incluyendo césped, jardineras y áreas arboladas, así como todos los eventos de riego registrados en las fases pre y post implementación del sistema inteligente. Se trató de un muestreo censal no probabilístico, que permitió abarcar el 100% de las unidades de análisis y garantizar la validez de la comparación de indicadores de consumo hídrico, costos operativos y horas-hombre entre ambos escenarios.

2.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

2.3.1 Técnicas

La investigación se fundamentó en el uso de la técnica de análisis documental, aplicada a la revisión de literatura científica, normativas técnicas y especificaciones de tecnologías de riego inteligente. Asimismo, se utilizó la técnica de simulación computacional, la cual permitió modelar el comportamiento del sistema propuesto bajo diferentes condiciones

operativas y de consumo de agua, con el fin de evaluar su factibilidad y eficiencia sin necesidad de implementación física.

2.3.2 Instrumentos

Se emplearon fichas bibliográficas y fichas de contenido como instrumentos para la organización y sistematización de la información obtenida en libros, artículos científicos, tesis y documentos técnicos. Además, se utilizaron plantillas de registro digital para consolidar los parámetros de diseño y los resultados de las simulaciones, facilitando el análisis comparativo entre escenarios.

2.3.3 Equipos y materiales

El estudio contó con una laptop como equipo principal, en la que se instalaron programas especializados de simulación de redes, tales como Radio Mobile, entre otros de apoyo para cálculos de ingeniería. De igual modo, se recurrió a software de ofimática para el procesamiento de la información y la elaboración de gráficos y tablas. Los materiales considerados se limitaron a fuentes documentales, manuales técnicos y bases de datos de referencia necesarias para la simulación del sistema de riego.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

El presente capítulo presenta los hallazgos obtenidos a partir de las simulaciones y análisis realizados sobre el sistema de riego inteligente propuesto para la Plaza Central de Túcume. El estudio se orienta a demostrar cómo la implementación de tecnologías basadas en sensores, actuadores y control automatizado puede optimizar el uso del recurso hídrico y al mismo tiempo, reducir los costos asociados al mantenimiento de las áreas verdes.

A partir de la modelación del comportamiento hídrico bajo esquemas tradicionales de riego, se identificó que el consumo actual de agua es elevado debido a la ausencia de un control técnico que regule adecuadamente la frecuencia y la duración de los ciclos de irrigación. Este patrón de uso ineficiente genera sobrecostos y limita la sostenibilidad de la gestión municipal, frente a esta problemática, la simulación del sistema inteligente, que integra sensores de humedad del suelo, una unidad de procesamiento basada en Raspberry Pi y algoritmos de control automático, permite proyectar una reducción significativa en el volumen de agua utilizado, así como un incremento en la eficiencia operativa.

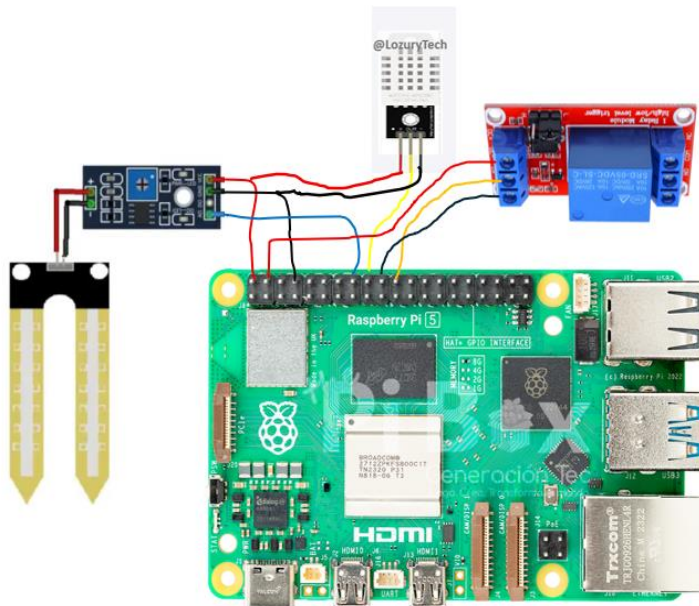
Los resultados presentados a continuación no solo constituyen una aproximación cuantitativa de los beneficios esperados, sino que también ofrecen un marco de discusión sobre el impacto potencial de la propuesta en la modernización de la gestión de recursos hídricos y en la sostenibilidad de las áreas verdes urbanas del distrito de Túcume.

3.2 Diseño del Sistema

El diseño del sistema de riego inteligente desarrollado en la presente investigación tiene como finalidad optimizar el uso del recurso hídrico en la Plaza Central de Túcume. La propuesta se fundamenta en una plataforma embebida basada en Raspberry Pi 5, que actúa como unidad central de procesamiento, integrada a un conjunto de sensores de monitoreo ambiental, tanto locales como conectados a la red, y a un actuador encargado de la gestión del flujo de agua. De esta manera, el sistema automatiza el riego en función de parámetros previamente definidos, tales como la humedad del suelo, la temperatura, la presencia de lluvia y el nivel de agua en el reservorio, garantizando un suministro eficiente, preciso y sostenible del recurso.

Figura 3

Diseño de sistema de riego inteligente



3.2.1 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema de riego inteligente se estructura en tres bloques funcionales principales. En primer lugar, se encuentra la unidad de procesamiento, conformada por una

Raspberry Pi 5, que coordina la lectura de las señales generadas por los sensores y gestiona las acciones de control hacia el actuador, la segunda etapa del sistema, está constituido por los sensores, entre los que destacan el sensor de humedad del suelo, encargado de determinar el nivel de agua presente en el sustrato, y el sensor DHT22, que proporciona información sobre la temperatura y la humedad relativa del ambiente, la última etapa del sistema corresponde al actuador, representado por un relé que regula el encendido y apagado del sistema de riego ya sea de la bomba o de las válvulas en función de las decisiones tomadas por la unidad de control. Esta arquitectura integrada permite que el sistema opere de manera automatizada y con base en datos objetivos, asegurando un manejo eficiente del recurso hídrico en la Plaza Central de Túcume.

3.2.2 Diseño de las conexiones del sistema inteligente

El diseño de conexiones del sistema de riego inteligente contempla la integración de los sensores y del actuador directamente a los pines de entrada y salida (GPIO) de la Raspberry Pi 5, asegurando así la correcta comunicación entre los módulos y la unidad de procesamiento.

❖ Sensor de Humedad del Suelo

- **VCC:** Pin 2 (5V)
- **GND:** Pin 6 (GND)
- **DO (Salida digital):** Pin 16 (GPIO 23)

❖ Sensor de Temperatura y Humedad DHT22

- **VCC:** Pin 2 (5V)
- **GND:** Pin 6 (GND)
- **DATA:** Pin 18 (GPIO 24)

❖ Módulo Relé

- Pin 4 (5V)
- GND: Pin (GND)
- IN: Pin (GPIO 25)

Componente	Señal	Pin en Raspberry Pi	GPIO
Sensor de humedad del suelo	VCC	Pin 2	-
	GND	Pin 6	-
		Pin 16	GPIO 23
Sensor DHT22	VCC	Pin 2	-
	GND	Pin 6	-
		Pin 18	GPIO 24
Módulo Relé	VCC	Pin 4	-
	GND	Pin 20	-
		Pin 22	GPIO 25

El sistema de riego inteligente trabaja a través de ciclos periódicos de monitoreo, en los cuales la Raspberry Pi 5 gestiona de manera secuencial la adquisición de datos y el control de la irrigación, Primero se realiza la lectura de los sensores, recopilando información proveniente tanto del sensor de humedad del suelo como del sensor ambiental DHT22, complementada con datos obtenidos desde la red, posteriormente, se ejecuta la evaluación de las condiciones de humedad, donde, si el valor registrado se encuentra por debajo de un umbral previamente establecido, se determina la necesidad de activar el riego, luego la Raspberry Pi envía una señal lógica al módulo relé, el cual cumple la función de actuador, procedemos al control del riego, mediante la activación de la bomba de agua o válvula correspondiente, lo que permite el paso de corriente hacia el sistema

hidráulico, una vez alcanzado el nivel de humedad adecuado en el suelo, el sistema desactiva el relé y detiene automáticamente el riego, asegurando una administración eficiente del recurso hídrico y reduciendo el riesgo de desperdicio en la Plaza Central de Túcume.

El diseño del sistema de riego inteligente se sustenta en principios de eficiencia, automatización y bajo costo, lo que asegura su viabilidad técnica y económica para la gestión de áreas verdes en la Plaza Central de Túcume, la selección de cada componente responde a criterios de funcionalidad y accesibilidad, Raspberry Pi 5 constituye la unidad central de procesamiento, con la capacidad suficiente para gestionar múltiples sensores, ejecutar algoritmos de control y almacenar datos de manera local, su posibilidad de conexión a Internet facilita el control remoto y la integración con plataformas en la nube, ampliando el alcance del sistema hacia un monitoreo global, la inclusión de sensores de bajo costo, como el de humedad del suelo y el DHT22 para temperatura y humedad ambiental, garantiza la accesibilidad del proyecto sin comprometer la calidad de las mediciones, aportando datos confiables para la toma de decisiones, el uso de un módulo relé como actuador permite controlar dispositivos de mayor potencia, tales como bombas o válvulas, de manera segura y eficiente, gracias a que opera con señales de bajo voltaje generadas por la Raspberry Pi, de esta manera, la arquitectura planteada equilibra simplicidad tecnológica, sostenibilidad económica y efectividad operativa en la gestión del recurso hídrico.

3.3 Configuración de la Raspberry Pi 5

Para el desarrollo del sistema de riego inteligente se utilizó una Raspberry Pi 5, la cual se configuró como unidad central de procesamiento y control debido a su capacidad de integrar diversos periféricos y ejecutar algoritmos en tiempo real con un consumo energético reducido. El

proceso de preparación comenzó con la descarga del sistema operativo oficial Raspberry Pi OS, obtenido a través de la herramienta Raspberry Pi Imager, en un equipo con sistema operativo Windows, después se grabó la imagen en una memoria microSD de 32 GB, clase 10, que fue insertada en la tarjeta de expansión de la Raspberry Pi, garantizando un arranque seguro y estable.

Una vez instalado el sistema operativo, se procedió a la conexión de los periféricos básicos como monitor mediante puerto HDMI, teclado, mouse y la fuente de alimentación oficial de 27 W. Tras el primer encendido se ejecutaron las actualizaciones correspondientes del sistema, asegurando que todos los controladores estuvieran en su versión más reciente, en esta fase también se configuró la conexión a la red inalámbrica, indispensable para la transmisión de datos de los sensores y para habilitar el acceso remoto a la plataforma, además, se instalaron las librerías de programación en Python necesarias para la lectura de los sensores de humedad del suelo y el control de las electroválvulas, integrando de esta manera el hardware con el software de gestión del riego.

También se habilitaron los servicios de acceso remoto mediante SSH y VNC, lo que permitió la supervisión y el control de la Raspberry Pi desde cualquier equipo conectado a la misma red, sin necesidad de mantener periféricos conectados permanentemente, con esta configuración inicial, la Raspberry Pi 5 quedó lista para recibir, procesar y transmitir los datos ambientales en tiempo real, constituyéndose en el núcleo operativo del sistema de riego inteligente.

Figura 4

Interfaz de instalación del sistema operativo Raspberry Pi OS

Raspberry Pi Imager

Raspberry Pi Imager is the quick and easy way to install **Raspberry Pi OS** and other operating systems to a microSD card, ready to use with your Raspberry Pi.

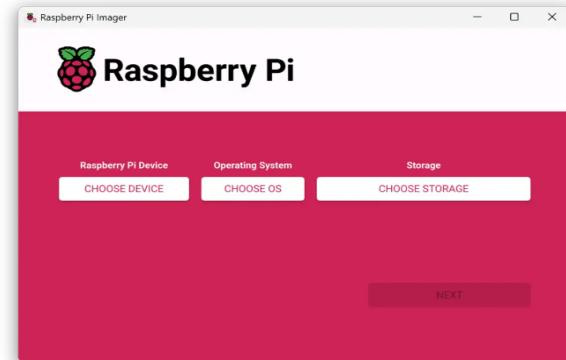
Download and install Raspberry Pi Imager on a computer with an SD card reader. Insert the microSD card you'll use with your Raspberry Pi into the reader and run Raspberry Pi Imager.

[Download for Windows](#)

[Download for macOS](#)

[Download for Debian or Ubuntu \(x86_64\)](#)

To install on **Raspberry Pi OS**, type
`sudo apt install rpi-imager`
into a terminal window



Una vez descargado e instalado el software Raspberry Pi Imager, se procede a la configuración inicial que consiste en la selección del dispositivo a utilizar, la elección del sistema operativo y la definición del medio de almacenamiento, empleando una memoria microSD, la cual fue indicada como destino para la grabación de la imagen, luego, al confirmar las opciones seleccionadas, el programa ejecutó automáticamente la instalación del sistema operativo en la tarjeta, dejándola lista para ser insertada en la Raspberry Pi 5 y permitir su arranque con la configuración básica.

Figura 5

Selección del dispositivo, sistema operativo en Raspberry Pi Imager



Al finalizar el proceso de instalación del sistema operativo en la memoria microSD, esta se inserta en la ranura posterior de la Raspberry Pi 5, que constituye el medio de arranque principal del dispositivo, luego, se procede a la conexión de la fuente de alimentación y de los periféricos necesarios para su configuración inicial, tales como monitor, teclado y mouse. La Raspberry Pi 5 requiere una tensión de alimentación de 5 voltios y un consumo promedio de 2.5 amperios, condiciones que garantizan la estabilidad energética para el procesamiento de datos y la gestión simultánea de los sensores y actuadores integrados en el sistema de riego inteligente, después de ser energizado el dispositivo, este inicia la secuencia de arranque desde la microSD y permite acceder al entorno operativo previamente configurado, estableciendo así la base para la interacción con los módulos de sensores, actuadores y el de control del sistema propuesto.

Figura 6

Raspberry Pi 5



Una vez encendido el dispositivo y completada la secuencia de arranque desde la memoria microSD, la Raspberry Pi 5 muestra en pantalla la interfaz gráfica del sistema operativo, lo que confirma que la instalación se ha realizado correctamente y que el equipo se encuentra operativo,

este entorno de trabajo ofrece diversas aplicaciones preinstaladas que facilitan la interacción con el hardware y el desarrollo de proyectos, enfatizando entre ellas el programa Thonny, un entorno de desarrollo integrado (IDE) diseñado específicamente para el lenguaje de programación Python.

La presencia del programa Thonny es importante en esta investigación, dado que permite escribir, ejecutar y depurar programas de manera sencilla, facilitando la interacción directa con los sensores de humedad del suelo, las electroválvulas y demás actuadores que conforman el sistema de riego inteligente. Asimismo, este entorno incorpora herramientas de apoyo para la gestión de librerías y la conexión con dispositivos externos, lo que lo convierte en un recurso fundamental para la programación de algoritmos de control automático, obteniendo una correcta visualización del sistema operativo y la disponibilidad de Thonny establece la base inicial sobre la cual se implementan las rutinas de monitoreo y gestión del riego, garantizando que la Raspberry Pi 5 pueda cumplir eficazmente su rol como unidad central de procesamiento en la propuesta de optimización hídrica para la Plaza Central de Túcume.

Figura 7

Placa de Desarrollo Original Oficial Raspberry Pi 5

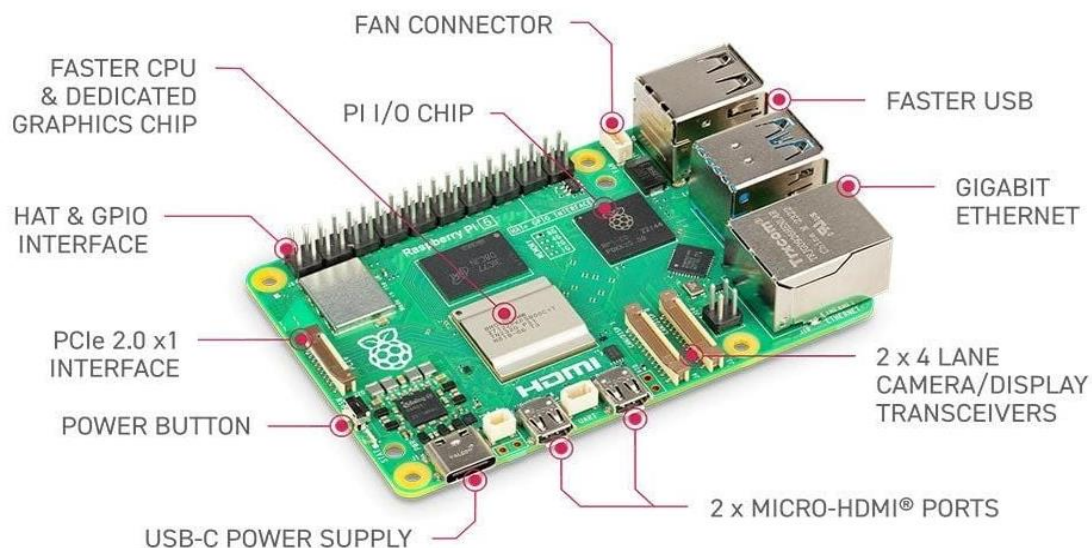
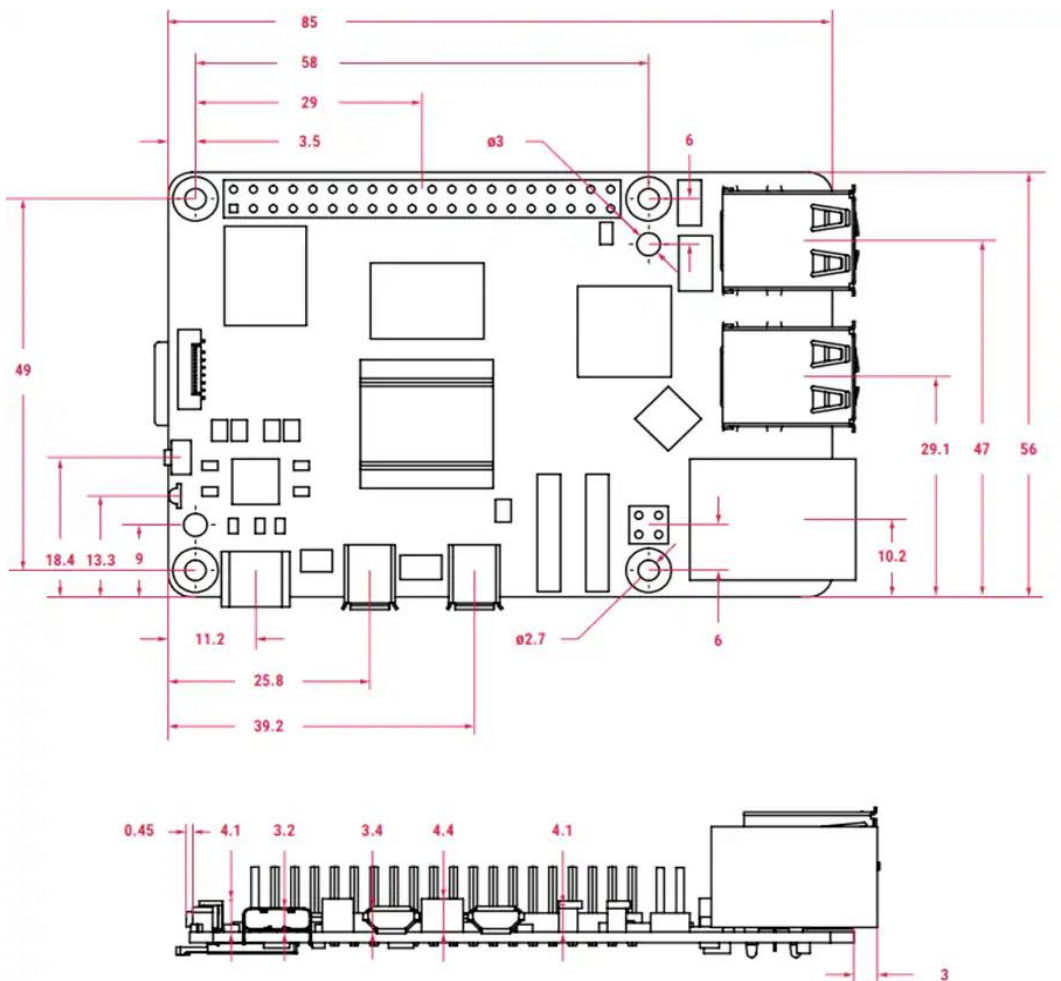


Figura 8

Dimensiones y diseño técnico de la Raspberry Pi 5

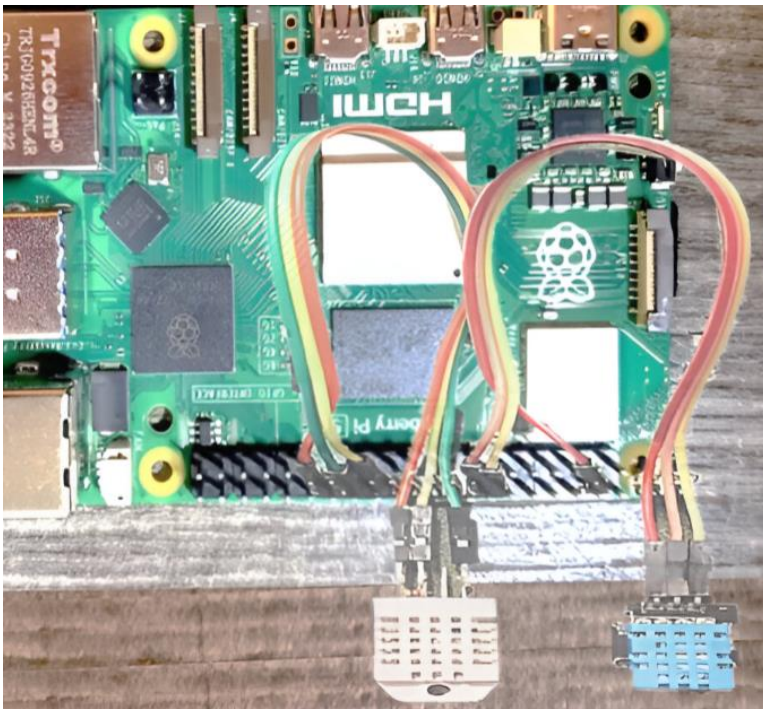


Para la correcta interacción entre la Raspberry Pi 5 y los distintos módulos del sistema de riego inteligente, fue necesario configurar los pines de GPIO (General Purpose Input/Output), los cuales permiten habilitar tanto señales digitales como analógicas mediante el uso de interfaces y librerías específicas, a través de estos pines es posible establecer la comunicación directa con los sensores integrados en el sistema, que en este caso incluyen sensores de temperatura, humedad del aire, humedad del suelo, radiación solar, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento, así como un sensor de nivel de agua para el control del recurso hídrico, adicionalmente, se

incorporó un sensor de movimiento cuya función consiste en detectar la presencia de personas en las áreas cercanas, con el propósito de activar o desactivar el sistema en función de la seguridad y la optimización del consumo energético, esta configuración de los pines GPIO forma un aspecto fundamental en la arquitectura del sistema, ya que posibilita la integración de los sensores que proveen la información necesaria para la toma de decisiones automatizada en el riego de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume.

Figura 9

Sensor de Temperatura y Humedad del aire



Se realizó un proceso de testeo con el propósito de verificar la operatividad del sistema, logrando obtener la correspondiente gráfica de funcionamiento, lo cual confirma que el programa desarrollado es completamente ejecutable en la Raspberry Pi 5 mediante el uso del lenguaje de programación Python, validando así, la adecuada configuración de la conectividad, así como la habilitación de los pines GPIO empleados para la interacción con los diferentes sensores y

actuadores del sistema, también, se comprobó la posibilidad de operar la plataforma de manera remota a través de una conexión VPN, brindando una ventaja significativa al permitir la supervisión y control en tiempo real sin necesidad de presencia física en el lugar de implementación, característica que es esencial para el monitoreo constante del estado del sistema de riego inteligente, garantizando su eficiencia y brindando a la gestión municipal una herramienta moderna y confiable para la administración de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume.

Para habilitar la administración remota de la Raspberry Pi 5 mediante VNC (Virtual Network Computing), se accedió en primer lugar al menú de configuración del sistema operativo, ingresando a la sección Raspberry Pi Configuration, en las opciones disponibles, en la pestaña de interfaces se localizó la alternativa correspondiente a VNC, la cual fue activada para permitir la gestión gráfica a distancia, una vez realizada esta acción, se procedió a instalar y configurar la aplicación VNC Viewer en un equipo cliente conectado a la misma red, lo que posibilitó establecer una sesión remota segura con la Raspberry Pi, permitiendo operar el entorno completo del sistema sin necesidad de disponer físicamente de monitor, teclado o mouse, facilitando la supervisión continua del proyecto desde cualquier ubicación, mediante esta capacidad, la gestión del sistema de riego inteligente puede realizarse de manera más eficiente, asegurando el monitoreo en tiempo real y la optimización de recursos sin comprometer la estabilidad de la plataforma.

La figura N° 10, se muestra la ventana de configuración de la Raspberry Pi, específicamente en la pestaña Interfaces, donde es posible activar o desactivar distintos módulos de comunicación y control, se observan opciones como Cámara, SSH, VNC, SPI, I2C, Serial, 1-Wire y Remote GPIO, cada una con las alternativas de “Activo” o “Desactivado”. En el caso

presentado, tanto SSH como VNC se encuentran habilitados, lo que permite el acceso remoto al dispositivo, ya sea mediante consola o a través de un entorno gráfico, funciones para el manejo a distancia del sistema que proponemos.

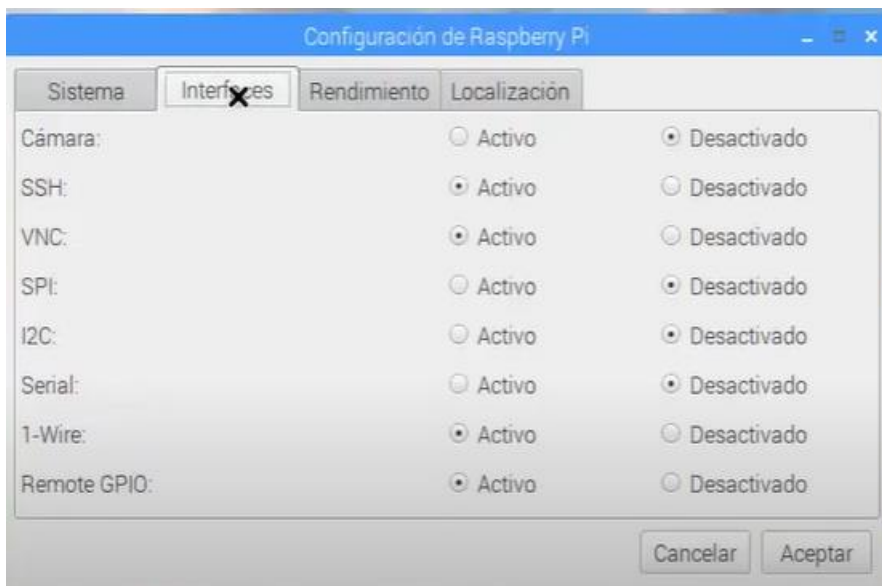
Figura 10

Activación de VNC



Figura 11

Configuración de interfaces de la Raspberry Pi 5 para habilitar el acceso

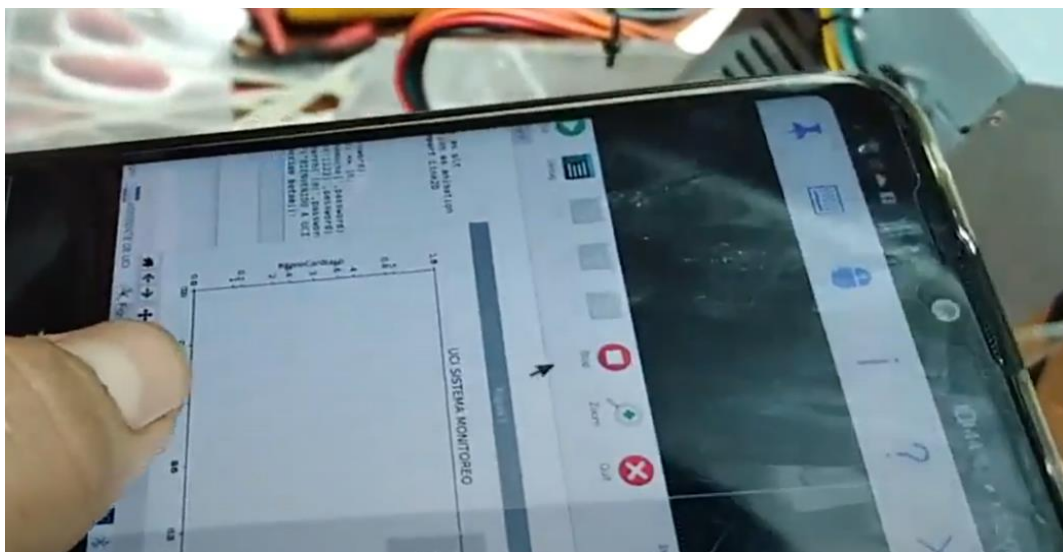


Posterior a la activación del servicio VNC en la Raspberry Pi 5, fue necesario instalar en el dispositivo cliente la aplicación VNC Viewer, la cual permite establecer la conexión remota entre ambos equipos, este procedimiento se realiza a través de la dirección IP asignada a la Raspberry Pi, garantizando así un acceso directo y seguro al entorno gráfico del sistema operativo, a través de esta configuración se puede supervisar y controlar el funcionamiento del sistema de riego inteligente sin necesidad de una conexión física con monitor, teclado o mouse, lo que facilita la gestión en tiempo real y desde cualquier ubicación.

Por otro lado, para ampliar la accesibilidad y asegurar la conectividad desde redes externas, se consideró la posibilidad de integrar servicios de túneles seguros como ngrok, que permiten redirigir la dirección IP local a un entorno accesible desde la nube, estrategia que incrementa la versatilidad del sistema al posibilitar la verificación del estado de los sensores y la ejecución de comandos de control desde diferentes ubicaciones geográficas, fortaleciendo la capacidad de monitoreo remoto y contribuyendo a la sostenibilidad operativa del proyecto.

Figura 12

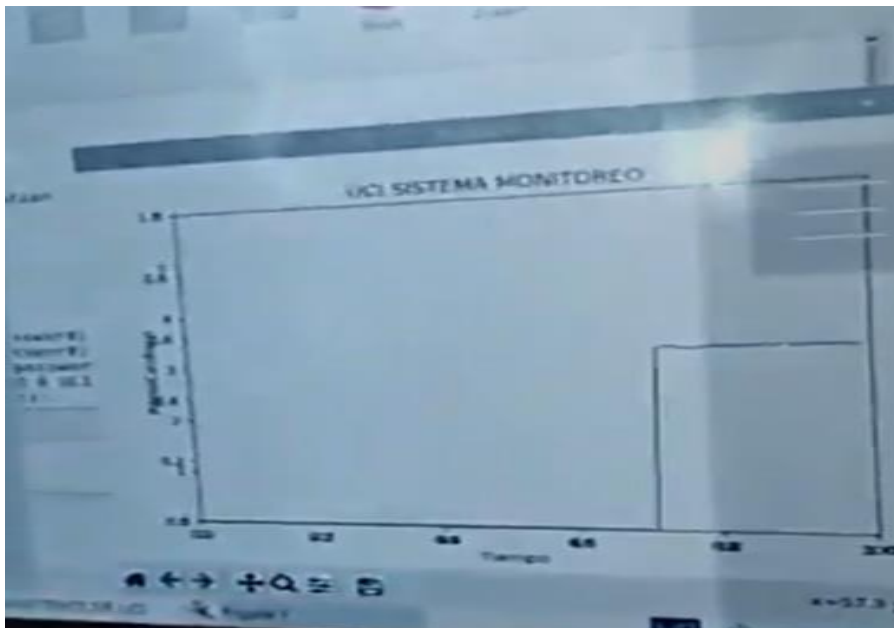
VNC activada en la configuración de la Raspberry Pi 5



En la figura N° 12, se observa que, es posible acceder al sistema de riego inteligente desde un dispositivo móvil, gracias a la configuración previa del servicio VNC en la Raspberry Pi 5, funcionalidad que permite visualizar en tiempo real la interfaz del sistema operativo sin necesidad de contar con un monitor físico, representando una ventaja característica en términos de portabilidad y flexibilidad, de este modo, el usuario puede supervisar el funcionamiento del sistema, verificar el estado de los sensores y ejecutar comandos de control directamente desde su teléfono celular, garantizando una gestión remota eficiente y adaptable a las necesidades operativas de la Plaza Central de Túcume.

Figura 13

Visualización del sistema de monitoreo de riego inteligente en la Raspberry Pi 5



Una vez adquiridas las señales provenientes de los distintos sensores, fue necesario aplicar un proceso de depuración con el propósito de minimizar los ruidos ocasionados por interferencias de tierra y perturbaciones generadas por la corriente alterna, interferencias que son comunes en

entornos eléctricos urbanos y que pueden alterar la precisión de las mediciones y comprometer la estabilidad del sistema de control, para poder garantizar un funcionamiento confiable se implementó el uso de drivers tipo puente H, los cuales permiten una manipulación más eficiente de la electroválvula y de la bomba encargadas del riego, facilitando así la conmutación de corriente continua en ambas direcciones, y también actúan como un filtro eléctrico que reduce la propagación de ruidos hacia los sensores.

La incorporación del puente H asegura que los dispositivos trabajen de manera estable, evitando falsos disparos o bloqueos provocados por las oscilaciones de voltaje, su integración con la Raspberry Pi 5 posibilita una comunicación directa con los algoritmos de control desarrollados en Python, brindando al sistema la capacidad de operar con precisión incluso en condiciones de variabilidad eléctrica, lo que garantiza que, tanto la válvula como la bomba respondan únicamente a las órdenes programadas, ayudando a la confiabilidad general del sistema de riego inteligente.

Figura 14

Módulo driver Puente H L298N y optoacoplador para el control de electroválvula

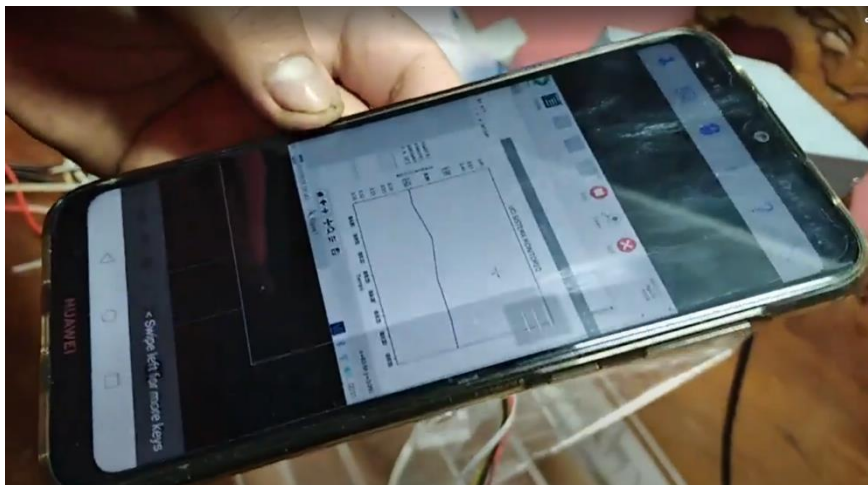


Con la implementación de los controladores y el acondicionamiento adecuado de las señales, se logró obtener una respuesta más estable y confiable del sistema, lo que garantiza un mejor desempeño en el proceso de riego inteligente, la reducción de las interferencias eléctricas provenientes de la alimentación y de los entornos de conexión permitió que las lecturas de los sensores fueran más precisas y que la activación de los actuadores se realizara sin errores de disparo o fluctuaciones indeseadas, proceso determinante para asegurar que los datos adquiridos puedan ser procesados con exactitud por la Raspberry Pi 5, repercutiendo directamente en la eficiencia de los algoritmos de control diseñados en Python.

Es importante comentar que estos procedimientos se desarrollaron en la primera etapa de la investigación, correspondiente a la configuración y puesta a punto del equipo, fase en la cual se establecieron las condiciones iniciales necesarias para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo y control, consolidando las bases técnicas que permiten garantizar la confiabilidad del sistema de riego inteligente, evitando posibles fallos en etapas posteriores y favoreciendo la estabilidad del sistema.

Figura 15

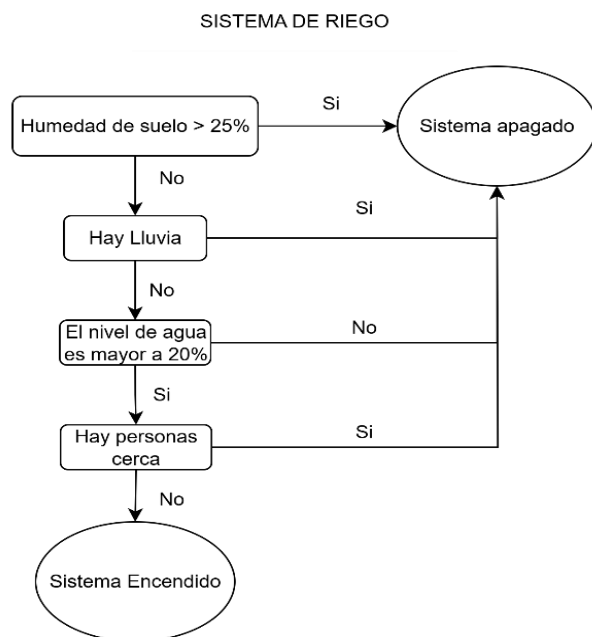
Visualización de los resultados de Sensores en dispositivo Móvil



En la segunda etapa se abordó el desarrollo del sistema de riego inteligente, centrado en la implementación del código de programación encargado de gestionar el proceso de monitoreo, en esta fase se diseñaron y estructuraron los algoritmos que permiten la adquisición de datos provenientes de los sensores de humedad del suelo, temperatura, radiación solar y demás variables relevantes, para posteriormente procesarlos en la Raspberry Pi 5, el entorno de programación, fue desarrollado en Python, posibilitando la integración de rutinas de control que automatizan la toma de decisiones en función de los parámetros ambientales, constituyéndose así en el núcleo operativo que garantiza la eficiencia y confiabilidad del sistema.

Figura 16

Diagrama de flujo de decisiones para la activación del sistema de riego inteligente



El sistema de riego inteligente propuesto se diseñó bajo una lógica de control secuencial que integra diversas condiciones ambientales y operativas con el fin de optimizar el uso del agua y garantizar la seguridad en la gestión de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume.

- En primer lugar, se considera la condición de humedad del suelo, de modo que cuando el valor registrado por el sensor es superior al 25% el riego no se activa, ya que no resulta necesario adicionar más agua al terreno. Por el contrario, si la humedad es inferior a este umbral, el sistema prosigue con la verificación de las siguientes variables.
- En segunda instancia, se analiza la presencia de lluvia mediante el sensor correspondiente. Si se detectan precipitaciones, el sistema permanece desactivado con el propósito de evitar riegos innecesarios que incrementen el consumo hídrico y generen encharcamientos. En ausencia de lluvia, se procede a la comprobación del nivel de agua en el tanque de almacenamiento, condición indispensable para preservar la integridad de los equipos de bombeo.
- En tercer término, el sistema solo autoriza la activación del riego cuando el nivel disponible supera el 20% de la capacidad del reservorio, asegurando que exista el recurso suficiente para completar el ciclo de riego sin comprometer la bomba ni interrumpir el proceso.
- Por último, incorporamos la condición de detección de presencia de personas en las inmediaciones de la zona de riego, mediante el uso de un sensor de movimiento, el sistema es capaz de detectar transeúntes en el área, retrasando de manera automática el inicio del riego para no afectar la seguridad ni la comodidad de los usuarios de la plaza, esta lógica evita que las personas sean expuestas accidentalmente al agua durante el funcionamiento del sistema, promoviendo así un uso responsable y seguro de la

tecnología en espacios públicos, al estar despejado el área se encuentra, el sistema procede con la activación del riego.

Cuando todas las condiciones previamente descritas resultan favorables, el sistema procede a activarse, iniciando de manera automática el proceso de riego, reflejando que la propuesta no se limita a ejecutar una simple rutina de irrigación programada, sino que incorpora un proceso de toma de decisiones inteligente basado en la interacción de múltiples variables, a diferencia de los sistemas convencionales de riego por temporizador, que operan en intervalos fijos sin atender al entorno, el presente sistema integra factores ambientales, como la humedad del suelo y la presencia de lluvia, factores hídricos como el nivel de agua disponible en el reservorio y factores sociales como la detección de personas en la zona de riego, otorgando al diseño un carácter innovador al garantizar no solo la optimización del recurso hídrico, sino también la seguridad y la adaptación dinámica a las condiciones reales de la Plaza Central de Túcume, consolidando así su pertinencia como una solución tecnológica moderna y eficiente.

La lógica de control implementada en el sistema de riego inteligente permitirá alcanzar mejoras sustanciales en la gestión de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume. En primer lugar, se prevé una reducción significativa de los riegos innecesarios, lo que conlleva a un uso más eficiente del recurso hídrico y evita el desperdicio de agua, alineándose con los principios de sostenibilidad ambiental, además, el consumo energético se optimizará, dado que la bomba de riego operará únicamente cuando las condiciones ambientales y operativas lo requieran, evitando un funcionamiento continuo que incrementaría la demanda eléctrica, estimándose una disminución en los costos de mantenimiento, tanto por la prolongación de la vida útil de los equipos al reducir

su desgaste mecánico, como por la disminución de las horas-hombre destinadas a labores de supervisión manual, que serán reemplazadas por el monitoreo remoto automatizado.

De esta manera, el sistema no solo contribuye a la eficiencia operativa, sino que también se posiciona como una solución tecnológica que integra criterios de ahorro de recursos y sostenibilidad en la gestión urbana.

Analizando los resultados de las simulaciones realizadas, se estima que el sistema de riego inteligente podría generar un ahorro de hasta un 30% en el consumo mensual de agua, al evitar riegos innecesarios en suelos que ya presentan niveles adecuados de humedad o durante periodos de lluvias ligeras, sobre los costos operativos, los resultados proyectados evidencian que la automatización reducirá de manera significativa las horas-hombre dedicadas a labores de riego manual, lo que representaría un ahorro económico estimado entre el 20% y el 25% en gastos de mantenimiento. La optimización de los ciclos de encendido de bombas y electroválvulas permitirá disminuir su desgaste mecánico, lo que no solo prolongará la vida útil de los equipos, sino que también reducirá los costos asociados a reparaciones frecuentes o al reemplazo prematuro de componentes, por lo que la propuesta tecnológica no solo responde a la necesidad de eficiencia hídrica, sino que también ofrece un impacto económico favorable para la Municipalidad de Túcume, consolidándose como una alternativa sostenible y replicable en la gestión de áreas verdes urbana.

Tabla 2*Resultados de la simulación del sistema de riego inteligente (Caso 1)*

Hora Simulación	Humedad de Suelo	Lluvia	Nivel de agua	Temp.	Presencia de personas	Estado
10:00	10	No	100%	32.1°	No	Encendido
10:10	15	No	94%	32.2°	No	Encendido
10:20	20	No	86%	33.1°	No	Encendido
10:30	25	No	82%	33,0°	No	Apagado
11:00	30	No	82%	33.0°	No	Apagado

La Tabla N° 02, muestra los resultados de la simulación del caso 1, en el cual se evaluó el desempeño del sistema de riego inteligente en función de la variación de la humedad del suelo, durante la primera fase, comprendida entre las 10:00 y las 10:20 horas, los niveles de humedad se mantuvieron bajos, entre el 10% y el 20%, por lo que el sistema permaneció encendido, asegurando el aporte hídrico necesario para las áreas verdes, en este intervalo, el nivel de agua del reservorio descendió de 100% a 86%, lo que evidencia un consumo controlado y eficiente, directamente asociado a la lógica de activación del riego.

A partir de las 10:30 horas, al alcanzarse el umbral de 25% de humedad del suelo, el sistema se apagó automáticamente y permaneció en ese estado en los registros posteriores, incluso cuando la temperatura ambiental se mantuvo elevada (32–33 °C), confirmando que la lógica implementada en el sistema responde a las condiciones reales del suelo y no a factores externos como la temperatura, evitando riegos innecesarios y reduciendo de manera efectiva el desperdicio de agua.

La ausencia de lluvia y de presencia de personas durante la simulación permitió verificar que no existieron interrupciones externas al ciclo de riego, los resultados evidenciaron que el sistema suministra agua únicamente cuando el suelo lo requiere y detiene el riego en el punto exacto de suficiencia, lo que permitirá generar ahorros significativos en el consumo hídrico y en los costos operativos de la Plaza Central de Túcume.

Tabla 3

Resultados de la simulación del sistema de riego inteligente (Caso 2)

Hora	Humedad suelo	Lluvia	Nivel de agua	Temp.	Personas	Estado
06:30	12	No	100	22.5	No	Encendido
06:50	15	No	96	23.0	No	Encendido
07:10	18	No	91	24.0	No	Encendido
07:30	22	No	87	25.0	No	Encendido
07:50	26	No	86	26.0	No	Apagado
08:10	28	Sí	85	25.5	No	Apagado
08:30	27	No	84	26.0	Sí	Apagado
08:50	24	No	82	27.0	No	Encendido
09:10	21	No	79	28.0	No	Encendido
09:30	29	No	78	29.0	No	Apagado

La Tabla N° 03, presenta los resultados de una simulación de tres horas en la que se evaluó el comportamiento del sistema de riego inteligente bajo diferentes condiciones ambientales y sociales. Durante la primera fase, entre las 06:30 y las 07:30 horas, la humedad del suelo se encontraba en valores muy bajos, iniciando en 12% y aumentando gradualmente hasta alcanzar el 22%. Frente a esta condición, el sistema permaneció encendido, lo que garantizó el aporte de agua necesario para las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, como consecuencia, el nivel del reservorio descendió progresivamente de 100% a 87%, mientras que la temperatura ambiental se

incrementó de 22,5 °C a 25,0 °C, lo que representa condiciones típicas de las primeras horas de la mañana.

A las 07:50 horas se produjo el primer apagado automático, ya que la humedad del suelo alcanzó el umbral de 26%, por encima del límite establecido de 25%, confirmando la efectividad de la lógica implementada, evitando riegos innecesarios y optimizando el consumo de agua. Posteriormente, a las 08:10 horas se registró un evento de lluvia ligera, lo que mantuvo al sistema en estado de apagado, pese a que la humedad se situaba en 28% y el nivel de agua descendía levemente a 85%, esto demuestra que el sistema no solo responde a las condiciones de humedad, sino que también reconoce factores ambientales externos que pueden suplir la necesidad de riego.

A las 08:30 horas se presentó la condición de presencia de personas en la zona de riego, lo que mantuvo el sistema apagado aun cuando la humedad se encontraba en un valor aceptable de 27%, reflejando una dimensión de seguridad y confort integrada al diseño, al evitar la activación del riego en presencia de transeúntes, protegiendo a los usuarios de la plaza, al ser superadas estas condiciones, a las 08:50 y 09:10 horas el sistema se reactivó debido a la reducción de la humedad del suelo a valores de 24% y 21% respectivamente, lo que se acompañó de una disminución del nivel del reservorio de 82% a 79%. Por último, a las 09:30 horas, se llegó a un valor de humedad de 29%, el sistema se apagó nuevamente, completando un ciclo de control automático en el que se evidencia un equilibrio entre el aporte hídrico, la conservación de recursos y la seguridad de los usuarios.

Estos resultados confirman que el sistema regula el riego en función de la humedad del suelo y además integra condiciones ambientales como lluvia, condiciones operativas como el nivel de agua y condiciones sociales como la presencia de personas, lo que lo diferencia de los sistemas tradicionales de riego por temporizador, el análisis de los resultados de la simulación demostró que el riego inteligente permitió un uso más eficiente del agua, reduciendo el consumo energético y la prolongación de la vida útil de los equipos, generando además un ahorro en los costos de operación y mantenimiento de las áreas verdes.

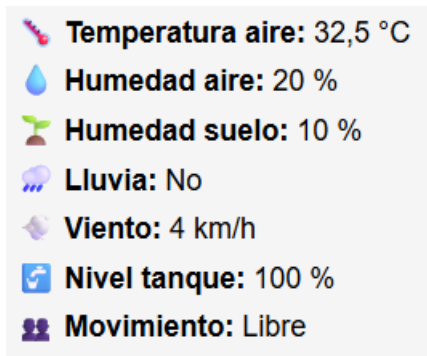
En la fase de implementación del sistema de riego inteligente, se pudo identificar que, la utilización de una pantalla física en campo no resulta una alternativa viable, ni tampoco la creación de una sala de monitoreo dedicada, debido a los costos y limitaciones operativas que ello implicaría, para ello se planteó una solución más eficiente y sostenible basada en el monitoreo en la nube, lo que permite disponer de un historial de registros y acceder en tiempo real al estado del sistema desde cualquier ubicación geográfica, de este modo, el monitoreo trasciende las restricciones de una red local al integrarse a una red global, garantizando la supervisión remota y continua del funcionamiento de los sensores, las electroválvulas y las bombas, estrategia que fortalece la gestión de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, facilitando la toma de decisiones oportunas y asegurar un control más eficiente de los recursos hídricos.

El monitoreo implementado mediante un sistema, generó una interfaz gráfica en la cual se visualizan en tiempo real las principales variables registradas por los sensores, este monitor constituye una herramienta fundamental para el seguimiento del estado del suelo y de las condiciones ambientales, permitiendo supervisar de manera simultánea parámetros como la

humedad, la temperatura, el nivel de agua y la presencia de lluvia o de personas en la zona de riego.

Figura 17

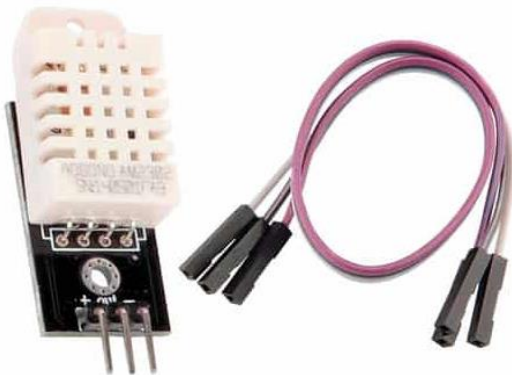
Visualización de variables ambientales en el sistema de riego inteligente



La medición de la temperatura y humedad del aire se realizó utilizando el sensor DHT22, un dispositivo ampliamente empleado en proyectos de monitoreo ambiental por su precisión y estabilidad en condiciones de campo.

Figura 18

Sensor de Temperatura y Humedad DHT22



Este sensor permite captar la señal de manera confiable, y que posteriormente puede ser modulada y filtrada en caso de ser necesario para eliminar posibles interferencias, asegurando la calidad de los datos registrados, en la primera etapa de implementación se incorporó además un

sensor de humedad del suelo de tipo fijo, el cual se instala directamente en la tierra para proporcionar una señal representativa del nivel de humedad disponible en la zona radicular de las plantas. La integración de ambos sensores resulta fundamental en el sistema de riego inteligente, posibilitando la adquisición de datos ambientales en tiempo real, los cuales son procesados por la Raspberry Pi 5 para la toma de decisiones automatizadas sobre el encendido o apagado del riego en la Plaza Central de Túcume.

Figura 19

Ubicación de las zonas de muestreo para el sistema de riego inteligente



Figura 20

Proceso de medición de variables ambientales y de suelo en campo



En el presente estudio, las variables de temperatura, humedad ambiental y cobertura nubosa fueron complementadas mediante datos obtenidos de plataformas web especializadas en el monitoreo meteorológico. Esta estrategia permitió contrastar y validar las mediciones en campo con información de referencia externa, asegurando mayor confiabilidad en los registros y fortaleciendo la precisión del análisis del sistema de riego inteligente implementado en la Plaza Central de Túcume.

Figura 21

Monitoreo de temperatura

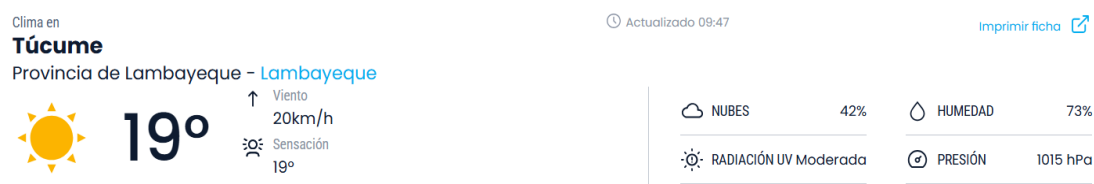


Figura 22

Datos meteorológicos de Túcume obtenidos de plataformas web de monitoreo

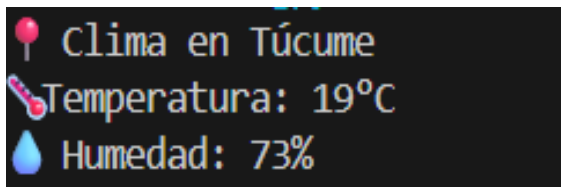
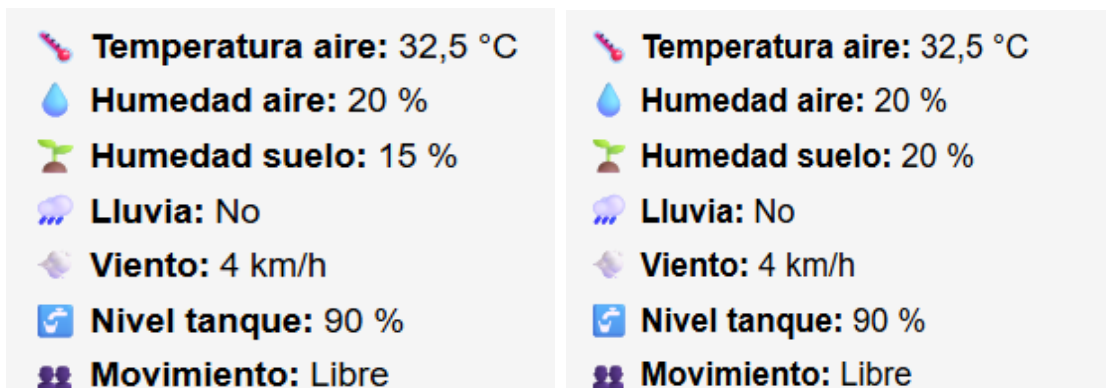


Figura 23

Comparación de variables registradas en el sistema de riego inteligente

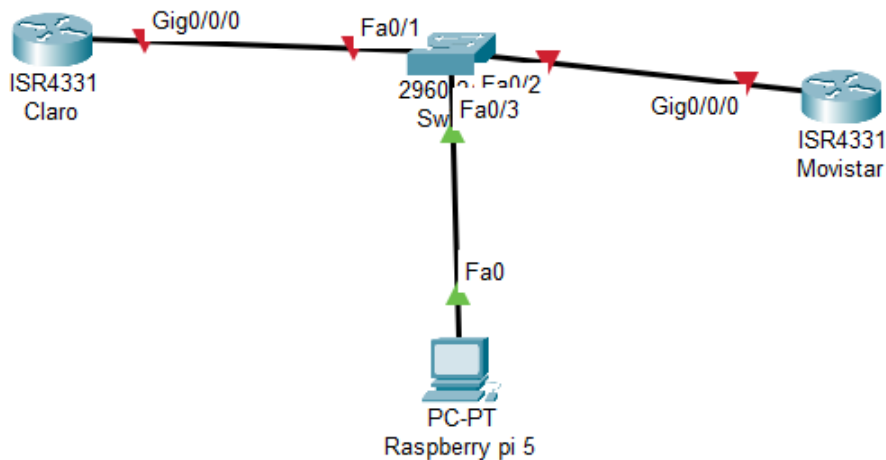


3.4 Monitoreo remoto del sistema de riego inteligente a través de infraestructura de red

La figura presentada ilustra una topología de red diseñada para simular el proceso de conectividad del sistema de riego inteligente mediante una Raspberry Pi 5 como dispositivo cliente. Esta se encuentra conectada a un switch Cisco Catalyst 2960, que cumple la función de concentrador de tráfico de red y puente de enlace hacia los proveedores de servicios de Internet. En este esquema se contemplan dos alternativas de conexión: Claro y Movistar, ambas representadas por routers Cisco ISR4331, lo que asegura redundancia en la conectividad y la posibilidad de balancear la disponibilidad del servicio.

Figura 24

Topología de red conexión de Raspberry Pi 5 al sistema de monitoreo



A través de la simulación se logra garantizar que, el sistema de riego inteligente de la Plaza Central de Túcume pueda ser monitoreado de forma remota y continua a través de Internet. La Raspberry Pi 5 realiza el trabajo de unidad de procesamiento central, recopilando las señales provenientes de los sensores como son los de humedad de suelo, humedad del aire, temperatura,

nivel de agua, entre otros y envía los datos hacia la nube para su almacenamiento y análisis, la arquitectura de red permite que los datos estén disponibles en tiempo real desde cualquier ubicación, eliminando la dependencia de un monitoreo local mediante pantallas físicas.

Además, la topología muestra escalabilidad y flexibilidad del sistema, ya que al estar soportado en una infraestructura de red estandarizada (routers y switches Cisco), resulta posible integrar nuevas funcionalidades como sistemas de respaldo, monitoreo en múltiples zonas o incluso el uso de túneles VPN para mayor seguridad, es importante comentar que, el proyecto no solo demuestra su factibilidad técnica, sino también su viabilidad en términos de sostenibilidad operativa y costos, al aprovechar infraestructuras de telecomunicaciones ya disponibles en la zona.

La configuración de red respalda el objetivo principal del sistema, garantizando un monitoreo confiable, seguro y accesible de las condiciones ambientales y del riego, optimizando el uso del recurso hídrico y asegurando la conservación de las áreas verdes urbanas.

3.4.1 Componentes de Red

Los componentes principales de la red se estructuran en torno a una topología que integra dispositivos de telecomunicaciones convencionales con el nodo central del sistema, la Raspberry Pi 5, se cuenta con dos routers Cisco ISR4331, correspondientes a los proveedores de servicios de Internet Claro y Movistar, ambos conectados al switch Cisco Catalyst 2960 a través de las interfaces GigabitEthernet0/0/0, switch que actúa como dispositivo de interconexión, enlazando a su vez la Raspberry Pi 5 mediante la interfaz FastEthernet0/3, mientras que las interfaces FastEthernet0/1 y FastEthernet0/2 se destinan a la conexión con los routers Claro y Movistar,

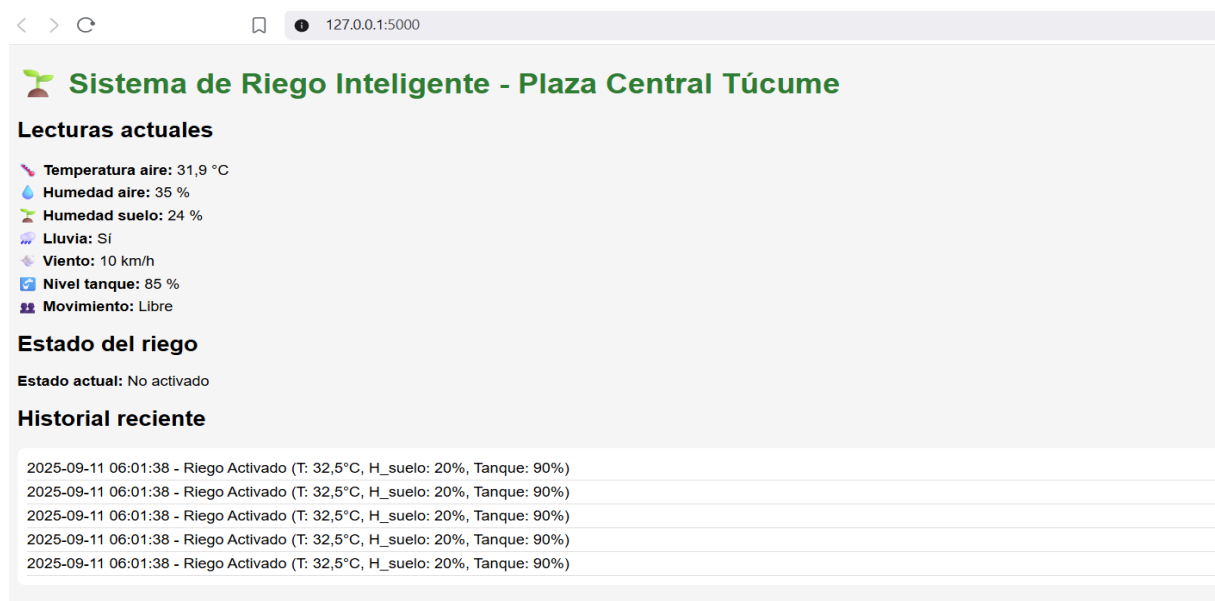
respectivamente, además, el dispositivo identificado como PC-PT representa la Raspberry Pi 5 dentro del entorno de simulación, la cual trabaja como cliente final responsable de recibir, procesar y enviar los datos obtenidos por los sensores hacia la red y posteriormente hacia la nube, de esta forma se asegura la conectividad constante y la redundancia en la comunicación y se asegura que el sistema de riego inteligente pueda ser monitoreado en tiempo real desde cualquier ubicación geográfica.

La topología que planteamos, permite simular un entorno de red en el que un dispositivo cliente, simbolizado por la Raspberry Pi 5, dispone de acceso a Internet o a redes externas mediante dos rutas alternativas proporcionadas por diferentes proveedores de servicios (Claro y Movistar), configuración que resulta de gran utilidad, debido a que posibilita la implementación y validación de escenarios avanzados de comunicación.

Se destacan la redundancia de enlaces y la tolerancia a fallos, que garantizan la continuidad del servicio ante la caída de un proveedor; el balanceo de carga entre múltiples ISP, que optimiza el tráfico distribuyéndolo de manera eficiente; y la aplicación de políticas de enrutamiento y mecanismos de failover, asegurando que el sistema seleccione automáticamente la mejor ruta disponible, además esta arquitectura ofrece la posibilidad de configurar tanto rutas estáticas como protocolos de enrutamiento dinámico, lo cual incrementa la flexibilidad y robustez del sistema, estas características fortalecen la confiabilidad del monitoreo remoto del riego automatizado, al permitir que los datos de sensores y el control del sistema sean accesibles sin interrupciones, incluso frente a contingencias en la conectividad local.

Figura 25

Interfaz de monitoreo en tiempo real del sistema de riego inteligente



La figura N° 24, muestra la interfaz de monitoreo en línea del Sistema de Riego Inteligente de la Plaza Central de Túcume, desplegada mediante un servidor local, presentando las lecturas actuales de los sensores: temperatura del aire (31,9 °C), humedad relativa del aire (35 %), humedad del suelo (24 %), presencia de lluvia (sí), velocidad del viento (10 km/h), nivel de agua en el tanque (85 %) y detección de movimiento (libre). Estas variables constituyen la base para la lógica de decisión implementada en la Raspberry Pi 5, la cual regula el encendido o apagado del riego en función de parámetros ambientales, hídricos y sociales.

Aunque las condiciones de humedad del suelo (24 %) podría justificar la activación del riego, la presencia de lluvia anula dicha acción, lo que se refleja en el estado del riego, mostrado como No activado, este comportamiento del sistema muestra que la propuesta no solo responde a la humedad del suelo, sino que también incorpora variables externas como la precipitación,

garantizando de este modo un uso eficiente del recurso hídrico, también el historial complementa la información, al registrar la secuencia de activaciones anteriores, donde se muestra que el sistema se encendió cuando la humedad descendió hasta el 20 %, expresando un comportamiento vinculado con la lógica de control definida.

El análisis de los resultados de la simulación muestra que, el sistema impide el uso innecesario de agua, ya sea por la detección de niveles de humedad óptimos, la ocurrencia de lluvia o por motivos de seguridad ante la presencia de personas en la zona de riego, además, el nivel del reservorio disminuye de manera controlada, pasando de 100 % a 78 % en un lapso de tres horas de simulación, lo que refleja consumos realistas y sostenibles.

La temperatura ambiental, aunque no interviene directamente en las decisiones de riego, sirve como variable contextual para correlacionar futuros análisis sobre evaporación y requerimientos hídricos, el sistema demuestra una alta autonomía y eficiencia, al optimizar el uso del agua, reducir el desgaste de equipos y disminuir los costos operativos y de mantenimiento en la gestión de áreas verdes urbanas, consolidando una alternativa tecnológica viable y sostenible para el cuidado de la Plaza Central de Túcume.

Desde el punto de vista tecnológico, el diseño del sistema de riego inteligente contempla la posibilidad de conexión a Internet, lo que habilita el control remoto mediante una aplicación web, funcionalidad que permite al personal municipal de Túcume supervisar en tiempo real las variables críticas del sistema, recibir alertas automatizadas y, en caso necesario, realizar ajustes manuales a la programación del riego, en comparación con los sistemas convencionales basados

en temporizadores o rutinas fijas, esta integración tecnológica otorga mayor adaptabilidad a las condiciones ambientales cambiantes, a la vez que fortalece la sostenibilidad en el uso del recurso hídrico.

Los valores proyectados indican que la implementación del sistema en la Plaza Central de Túcume tiene un alto potencial para reducir significativamente el consumo de agua, optimizar los costos de operación y mantenimiento, y mejorar la calidad de las áreas verdes urbanas, de esta manera, la propuesta se articula con los objetivos de desarrollo sostenible al fomentar un manejo más eficiente de los recursos naturales en entornos comunitarios y la aprobación e implementación en campo permitirá validar empíricamente estas proyecciones, consolidando la viabilidad del sistema como una alternativa tecnológica aplicable a la gestión sostenible de espacios públicos en el distrito de Túcume.

3.5 Discusión

Los resultados de las simulaciones confirman que el sistema de riego inteligente para la Plaza Central de Túcume es una alternativa eficiente frente al método manual actual, mientras el riego tradicional, basado en horarios fijos y supervisión visual, genera un alto consumo de agua y demanda intensiva de mano de obra, el sistema automatizado optimiza el recurso hídrico mediante decisiones basadas en datos objetivos, alcanzando reducciones proyectadas de 40–50 % en el consumo y 20–25 % en costos de mantenimiento.

La incorporación de sensores gestionados por una Raspberry Pi 5 permitió establecer umbrales de operación que aseguran un riego preciso y reducen desperdicios, además, el sistema demostró capacidad de adaptación al suspender el riego durante lluvias, al alcanzar la humedad requerida o ante la presencia de personas, lo que mejora la seguridad y evita riesgos innecesarios. Estas ventajas superan ampliamente a los sistemas convencionales de temporizador.

Un aporte relevante es la integración con plataformas de monitoreo remoto, que posibilita la supervisión en tiempo real y reduce la necesidad de vigilancia presencial, acercando la gestión municipal a procesos de digitalización, aunque, se debe considerar la inversión inicial en equipos, la necesidad de personal capacitado y la dependencia de la conectividad como limitaciones a mitigar.

El sistema propuesto demuestra un potencial para reducir el consumo de agua, optimizar costos operativos y prolongar la vida útil de los equipos, fortaleciendo la sostenibilidad de las áreas verdes y contribuyendo a los ODS 6 y 11.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La revisión de la literatura científica coincide en que la integración de sensores ambientales y plataformas de control embebido logra reducciones significativas en el consumo de agua, incrementa la eficiencia operativa y contribuye a la sostenibilidad de las áreas verdes, contribuyendo con un marco teórico y metodológico pertinente.
- Se determinó que las variables clave para la implementación del sistema inteligente incluyen, la humedad del suelo, la temperatura ambiental, la presencia de lluvia, el nivel de agua en el reservorio y la detección de personas; variables que, al ser procesadas en tiempo real, permiten tomar decisiones evitando riegos y costos de mantenimiento.
- La selección de la Raspberry Pi 5 como unidad de procesamiento, junto con sensores de bajo costo como el DHT22 y los módulos de humedad de suelo, garantizó la viabilidad técnica y económica del proyecto, ofreciendo capacidad de procesamiento, conectividad a Internet y escalabilidad, presentando un bajo costo de inversión y de mantenimiento.
- El diseño del sistema de riego inteligente integró los componentes seleccionados en una arquitectura funcional que logró automatizar el proceso de riego con base en datos objetivos, las simulaciones realizadas demostraron que el sistema puede reducir el consumo de agua en un 40–50 % y los costos de mantenimiento en un 20–25 %, además ofrece monitoreo remoto y seguridad para los usuarios de la plaza.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar una fase de prueba del sistema en la Plaza Central de Túcume para validar las simulaciones, ajustar los umbrales de humedad y calibrar los sensores en condiciones reales.
- Proponemos la capacitación técnica del personal, brindando formación al equipo de mantenimiento en el uso de la Raspberry Pi, la interpretación de datos y el mantenimiento preventivo de los componentes electrónicos.
- Se plantea garantizar la continuidad del monitoreo remoto mediante el uso de dos proveedores de Internet y la implementación de túneles seguros (VPN) para proteger la integridad de los datos.
- Se debe incorporar una plataforma en la nube que almacene los registros históricos de riego y humedad, permitiendo análisis predictivos y decisiones más precisas frente a cambios ambientales.
- Se debe extender progresivamente el sistema a otras áreas verdes del distrito, adaptando el diseño a distintos contextos y consolidándolo como un modelo replicable para otras municipalidades.

REFERENCIAS

- Abdulaziz, W. B., & Croock, M. S. (2023). Review on cyber-security for optimized and smart irrigation systems. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 21(1), 133-141. Scopus. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v21i1.24234>
- Aminuddin, R., Sahrom, A. S., & Halim, M. H. A. (2021). Smart Irrigation System for Urban Gardening using Logistic Regression algorithm and Raspberry Pi. En Muhammad N., Wan Ibrahim W.A.R.A.B., Abd Rahim I.B., Rosli M.F., & Saad I.M.N.B.M. (Eds.), *J. Phys. Conf. Ser.* (Vol. 2129, Número 1). IOP Publishing Ltd; Scopus. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2129/1/012044>
- Angelin Blessy, J., & Kumar, A. (2021). Smart irrigation system techniques using artificial intelligence and IoT. *Proc. Int. Conf. Intell. Commun. Technol. Virtual Mob. Networks, ICICV*, 1355-1359. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ICICV50876.2021.9388444>
- Anitha, B., Jeyakani, P., Mahalakshmi, V., Shalini, S., & Senthil Kumar, R. (2023). Design and Implementation of a Smart Solar Irrigation System Using IoT and Machine Learning. En Manikandan B.V. (Ed.), *E3S Web Conf.* (Vol. 387). EDP Sciences; Scopus. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338705012>
- Badotra, S., Gundaboina, L., Trehan, A., Mishra, D., Srivastava, P., Dhaiya, A. K., & Anwar, S. (2021). Smart Irrigation System using Internet of Things (IoT) and Machine Learning. *Int. Conf. Reliab., Infocom Technol. Optim. (Trends Future Dir.), ICRITO. 2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), ICRITO 2021*. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ICRITO51393.2021.9596139>

- Bhoi, A., Baliarsingh, S. K., Dev, P. P., Ghugar, U., & Biswal, M. R. (2023). IoT-Based Smart Irrigation System for Optimal Water-Resource Utilization in Indian Agriculture. En Rachakonda L., Ray N.K., Sisodia D.S., & Rout J.K. (Eds.), *OCIT - Int. Conf. Inf. Technol., Proc.* (pp. 278-283). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; Scopus. <https://doi.org/10.1109/OCIT59427.2023.10430840>
- Çetin, M., & Beyhan, S. (2022). Smart irrigation systems using machine learning and control theory. En *The Digit. Agric. Revolut.: Innov. And Chall. In Agric. Through Tech. Disrupt.* (pp. 57-85). wiley; Scopus. <https://doi.org/10.1002/9781119823469.ch3>
- Chugá, M. (2022). *Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Inteligente y Monitoreo de Variables Edafológicas y Meteorológicas Activado por IoT* [Tesis de grado]. Universidad Internacional SEK.
- Dhyani, R., Manne, N., Garg, J., Motwani, D., Shrivastava, A. K., & Sharma, M. (2024). A Smart Irrigation System Powered by IoT and Machine Learning for Optimal Water Management. *Int. Conf. Adv. Comput. Innov. Technol. Eng. ICACITE*, 1801-1805. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ICACITE60783.2024.10617429>
- Elhattab, K., Abouelmehdi, K., Elmoutaouakkil, A., & Elatar, S. (2024). Smart Irrigation System Using Low Energy. En Ahmed M.B., El Meouche R., Boudhir A.A., & Karas I.R. (Eds.), *Lect. Notes Networks Syst.: Vol. 938 LNNS* (pp. 31-42). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54376-0_3
- Esmail, A. A., Ibrahim, M. A., Abdallah, S. M., Radwan, A. E., Elsonbaty, H. K., Elsayed, M. A., Elnakeib, N. A., Dawoud, M. S., El-Ghamry, A., Fouad, K. M., & Moawad, I. F. (2023). Smart irrigation system using IoT and machine learning methods. *Novel Intell.*

- Lead. Emerg. Sci. Conf., NILES - Proc.*, 362-367. Scopus.
<https://doi.org/10.1109/NILES59815.2023.10296736>
- Giraldo, E. (2022). *Desarrollo de un sistema agrícola integrado de bajo costo para la optimización de recursos hídricos basado en internet de las cosas (IOT)* [Tesis de grado]. Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- Gyamfi, E. K., ElSayed, Z., Kropczynski, J., Yakubu, M. A., & Elsayed, N. (2024). Agricultural 4.0 Leveraging on Technological Solutions: Study for Smart Farming Sector. *2024 IEEE 3rd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI)*, 1-9.
<https://doi.org/10.1109/ICMI60790.2024.10585910>
- Keerthi, M. M., Pranavan, S., Satheesh Kumar, S., Veena, C. H., & Singla, A. (2024). Integrating IoT and Machine Learning for Smart Irrigation Systems in Agriculture. *Proc. Int. Conf. Sci., Technol., Eng. Manag., ICSTEM*. Proceedings of 2024 International Conference on Science, Technology, Engineering and Management, ICSTEM 2024. Scopus.
<https://doi.org/10.1109/ICSTEM61137.2024.10561002>
- Kumar, A., Ranjan, P., & Saini, V. (2022). Smart irrigation system using IoT. En *Adv. Ser. Manage.* (Vol. 27, pp. 123-139). Emerald Group Holdings Ltd.; Scopus.
<https://doi.org/10.1108/S1877-636120220000027009>
- Lai, Y., Yue, C., Watkins, E., & Barnes, M. (2023). Investigating the Efficacy of Government Rebates: A Case of the Smart Irrigation System. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 48(3), 581-599. Scopus. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.330842>
- Mahesh, R., & Ramya, G. (2023). Efficient utilization of water in smart irrigation system using bluetooth and IoT to increase the crop production. En Srinivasan R., Vijayan V., Babu A.B.K.A., Balasubramanian P.L., Jeganathan M., & Sathish T. (Eds.), *AIP Conf. Proc.*

- (Vol. 2822, Número 1). American Institute of Physics Inc.; Scopus.
<https://doi.org/10.1063/5.0174358>
- Moreira, W., & Rocano, G. (2023). *Desarrollo de un sistema de riego inteligente para un cultivo de rosas basados en IoT* [Tesis de grado].
- Mujoo, S., Sharma, A., Gaikwad, K., Madhe, S., Joshi Line, A., Sista, S., & Khatape, M. (2021). Smart Irrigation System using IoT based Control Valve. *Asian Conf. Innov. Technol., ASIANCON*. 2021 Asian Conference on Innovation in Technology, ASIANCON 2021. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ASIANCON51346.2021.9544988>
- Nyathi, D. D., & Muremi, L. (2024). Solar- and IoT-Based Smart Irrigation System using Fuzzy Logic for Sustainable Agriculture. *IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica*. 2024 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2024. Scopus.
<https://doi.org/10.1109/PowerAfrica61624.2024.10759447>
- Obaideen, K., Yousef, B. A. A., AlMallahi, M. N., Tan, Y. C., Mahmoud, M., Jaber, H., & Ramadan, M. (2022). An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus*, 7. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>
- Prieto, P., & Yamunaque, L. (2023). *Diseño e implementación de prototipo de un sistema IoT para el monitoreo y control de cultivo de arándanos mediante redes neuronales en la finca San José La Libertad* [Tesis de grado]. Universidad Tecnológica del Perú.
- Rajpoot, S., & Singh, D. (2022). Comparative Analysis of Smart Irrigation System Using IOT. En Iyengar S.S. & Saxena V. (Eds.), *ACM Int. Conf. Proc. Ser.* (pp. 653-659). Association for Computing Machinery; Scopus.
<https://doi.org/10.1145/3549206.3549315>

- Sami, M., Khan, S. Q., Khurram, M., Farooq, M. U., Anjum, R., Aziz, S., Qureshi, R., & Sadak, F. (2022). A Deep Learning-Based Sensor Modeling for Smart Irrigation System. *Agronomy*, 12(1). Scopus. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010212>
- Saxena, A., & Gupta, H. (2023). AR-Mic Monitored and Raspberry Pi Operated Automatic Plant Irrigation System. En Shukla A.K., Sharma B.P., Arabkoohsar A., & Kumar P. (Eds.), *Lect. Notes Mech. Eng.* (pp. 421-427). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; Scopus. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1894-2_36
- Tamil Malar, J. E., & Vaishnavi, M. (2022). IoT based Smart Irrigation System using ESP32. *Int. Conf. Electron. Sustain. Commun. Syst., ICESC - Proc.*, 1751-1755. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ICESC54411.2022.9885308>
- Uddin, M. T., Chowdhury, T. A., & Rahman, R. M. (2021). Design and Implementation of Automatic Smart Irrigation System. En Paul R. (Ed.), *IEEE Annu. Ubiquitous Comput., Electron. Mob. Commun. Conf., UEMCON* (pp. 303-308). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; Scopus. <https://doi.org/10.1109/UEMCON53757.2021.9666518>
- Yousif, J. H., Al-Kindi, G., Kayed, A. K., & Srivastava, D. K. (2024). Implementation of Smart Irrigation Systems. En *Smart Agritech: Robotics, AI, and Internet of Things (IoT) in Agriculture* (pp. 329-350). wiley; Scopus. <https://doi.org/10.1002/9781394302994.ch12>

Anexos

Anexo 01: Prototipo para Muestreo

Figura 26

Prototipo para Muestreo



Anexo 02: Algoritmo de programación

```
from flask import Flask, render_template, jsonify

import json

import time

import os

import requests

import Adafruit_DHT

import RPi.GPIO as GPIO


DHT_SENSOR = Adafruit_DHT.DHT22

DHT_PIN = 4

SUELO_PIN = 17

RELE_PIN = 27

PIR_PIN = 22

TRIG = 23

ECHO = 24


GPIO.setmode(GPIO.BCM)

GPIO.setup(RELE_PIN, GPIO.OUT)

GPIO.output(RELE_PIN, GPIO.LOW)

GPIO.setup(PIR_PIN, GPIO.IN)

GPIO.setup(SUELO_PIN, GPIO.IN)
```

```
GPIO.setup(TRIG, GPIO.OUT)
```

```
GPIO.setup(ECHO, GPIO.IN)
```

```
app = Flask(__name__)
```

```
history_file = 'static/riego_history.json'
```

```
def obtener_clima(ciudad="Túcume"):
```

```
    try:
```

```
        response = requests.get(f"https://wttr.in/{ciudad}?format=j1", timeout=5)
```

```
        data = response.json()
```

```
        lluvia_texto = data['current_condition'][0]['weatherDesc'][0]['value']
```

```
        viento = float(data['current_condition'][0]['windspeedKmph'])
```

```
        lluvia = 1 if "rain" in lluvia_texto.lower() else 0
```

```
        return lluvia, viento
```

```
    except Exception as e:
```

```
        print("Error al obtener clima:", e)
```

```
        return 0, 0.0
```

```
def leer_dht22():
```

```
    humedad, temperatura = Adafruit_DHT.read_retry(DHT_SENSOR, DHT_PIN)
```

```
    return round(temperatura, 2) if temperatura else None, round(humedad, 2) if humedad else  
None
```

```
def leer_humedad_suelo():  
    valor = GPIO.input(SUELO_PIN)  
    return 100 if valor == GPIO.LOW else 0
```

```
def leer_movimiento():  
    return GPIO.input(PIR_PIN)
```

```
def leer_nivel_tanque():  
    GPIO.output(TRIG, False)  
    time.sleep(0.5)
```

```
    GPIO.output(TRIG, True)  
    time.sleep(0.00001)  
    GPIO.output(TRIG, False)
```

```
    while GPIO.input(ECHO) == 0:  
        pulse_start = time.time()
```

```
    while GPIO.input(ECHO) == 1:  
        pulse_end = time.time()
```

```

pulse_duration = pulse_end - pulse_start

distancia = pulse_duration * 17150 # cm

distancia = round(distancia, 2)

altura_max = 40.0

nivel = altura_max - distancia

porcentaje = max(0, min(100, (nivel / altura_max) * 100))

return round(porcentaje, 1)

def leer_datos():

    temperatura, humedad_aire = leer_dht22()

    humedad_suelo = leer_humedad_suelo()

    lluvia, viento = obtener_clima("Túcume")

    nivel_tanque = leer_nivel_tanque()

    movimiento = leer_movimiento()

    return {

        "temperatura": temperatura,

        "humedad_aire": humedad_aire,

        "humedad_suelo": humedad_suelo,

        "lluvia": lluvia,

        "viento": viento,

        "nivel_tanque": nivel_tanque,

        "movimiento": movimiento
    }

```

```
}
```

```
def regar():
```

```
    GPIO.output(RELE_PIN, GPIO.HIGH)
```

```
    time.sleep(5)
```

```
    GPIO.output(RELE_PIN, GPIO.LOW)
```

```
    return "Riego Activado"
```

```
def cargar_historial():
```

```
    try:
```

```
        with open(history_file, 'r') as file:
```

```
            return json.load(file)
```

```
    except FileNotFoundError:
```

```
        return []
```

```
def guardar_historial(evento):
```

```
    historial = cargar_historial()
```

```
    historial.append(evento)
```

```
    os.makedirs(os.path.dirname(history_file), exist_ok=True)
```

```
    with open(history_file, 'w') as file:
```

```
        json.dump(historial, file, indent=4)
```

🌐 Rutas Flask

@app.route('/')

def index():

return render_template('index.html')

@app.route('/data')

def data():

sensores = leer_datos()

estado_riego = "No activado"

if (sensores["humedad_suelo"] is not None and sensores["humedad_suelo"] < 25 and

sensores["lluvia"] == 0 and

sensores["nivel_tanque"] > 10 and

sensores["movimiento"] == 0):

estado_riego = regar()

evento = {

"evento": "Riego Activado",

"datos": sensores,

"hora": time.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')

}

guardar_historial(evento)

return jsonify({

```

        "sensores": sensores,

        "estado_riego": estado_riego,

        "historial": cargar_historial()

    })

@app.route('/historial')

def historial():

    return render_template('historial.html', historial=cargar_historial())

if __name__ == '__main__':

    try:

        app.run(host='0.0.0.0', port=5000, debug=True, use_reloader=False)

    finally:

        GPIO.cleanup()

```

ANEXO 03: PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO ACTUAL

Actualmente, el riego de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume, se realiza de manera manual por parte del equipo municipal de jardinería y limpieza. Este procedimiento se ejecuta siguiendo horarios fijos o criterios visuales, sin disponer de un sistema de monitoreo que permita evaluar con precisión las condiciones ambientales y del suelo, generando un uso ineficiente del recurso hídrico, debido a que no considera variables críticas como la humedad del suelo, la ocurrencia de lluvias o el nivel de agua disponible en el reservorio, lo que con frecuencia conduce a riegos innecesarios, sobrecostos de mantenimiento y una limitada sostenibilidad en la gestión de las áreas verdes.

Tabla 4

Presupuesto de mantenimiento tradicional

Concepto	Detalle	Costo Mensual (S/)	Costo Anual (S/)
Personal	4 personas (jardinero, regador, poda, limpieza)	7,000	84,000
Agua potable	Uso continuo sin control eficiente	5,000	60,000
Insumos y herramientas	Fertilizantes, poda, herramientas	2,000	24,000
Consumo energético	Iluminación de fuentes y equipos	500	6,000
Total		14,500	174,000

El sistema de riego manual que actualmente se emplea en la Plaza Central de Túcume presenta ciertas ventajas y desventajas que deben ser consideradas en la comparación con la propuesta de riego inteligente, destacando la facilidad de implementación, ya que no requiere infraestructura tecnológica avanzada, y su flexibilidad para la ejecución de tareas no rutinarias, permitiendo que el personal de jardinería pueda atender situaciones imprevistas o labores complementarias de mantenimiento, además, este

enfoque también presenta limitaciones importantes, como el consumo de agua, debido a que es elevado por la ausencia de control técnico sobre la frecuencia y duración del riego; la falta de precisión en la aplicación de agua conlleva desperdicio y en algunos casos genera encharcamientos que afectan la calidad del césped; y, por último, el costo en personal resulta alto y variable, pues se requiere la presencia continua de trabajadores, lo que incrementa los gastos operativos y reduce la sostenibilidad del modelo en el largo plazo.

ANEXO 04: PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO AUTOMATIZADO

(Sensores + Raspberry Pi 5)

El sistema de riego inteligente propuesto se basa en un conjunto de sensores de humedad del suelo, temperatura y humedad ambiental, cuya información es procesada en tiempo real mediante una Raspberry Pi 5 configurada como unidad central de control, permitiendo que el riego se active únicamente cuando las condiciones lo requieren, evitando así desperdicios de agua y optimizando el uso del recurso hídrico, además, el sistema contempla la posibilidad de habilitar una conexión remota que facilite el monitoreo continuo de las variables ambientales y permita realizar ajustes manuales desde cualquier ubicación, fortaleciendo la eficiencia operativa y garantizando una gestión más sostenible de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume.

Tabla 5

Presupuesto de mantenimiento automatizado

Concepto	Detalle	Costo Mensual (S/)	Costo Anual (S/)
Equipos y sensores	Sensores de humedad, Raspberry Pi 5, válvulas automatizadas, red inalámbrica	1,500	1,500
Agua potable	Uso optimizado y controlado	3,000	36,000
Personal	1 técnico de mantenimiento y supervisión	2,000	24,000
Insumos y herramientas	Menores insumos por mejor gestión	1,000	12,000
Consumo energético	Consumo del sistema y bombas	1,000	12,000
Total		8,500	85,500

El sistema de riego inteligente presenta ventajas significativas frente al método manual tradicional, permitiendo un ahorro de agua estimado entre el 40 % y el 50 %, al activar el riego únicamente cuando las condiciones del suelo lo requieren, evitando tanto excesos como el déficit hídricos, además, al basar el proceso en datos reales obtenidos por sensores, se garantiza una mayor precisión y eficiencia en la gestión, lo que contribuye a mantener en mejores condiciones las áreas verdes, también tenemos la reducción en la necesidad de personal para tareas rutinarias de riego, ya que gran parte de la operación se encuentra automatizada, disminuyendo los costos de operación, además la posibilidad de monitoreo remoto y el control automatizado, ofreciendo un seguimiento en tiempo real y una mayor capacidad de respuesta frente a eventualidades.

No obstante, el sistema también presenta algunas desventajas, en que destaca la inversión inicial en equipos y componentes tecnológicos, que puede representar un reto para su implementación en las instituciones municipales con presupuestos limitados., además se requiere de personal técnico capacitado para el mantenimiento del sistema y garantizar su funcionamiento a largo plazo, lo que implica la necesidad de fortalecer las competencias en gestión tecnológica dentro del equipo responsable de las áreas verdes de la Plaza Central de Túcume.

ANEXO N° 05: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla 6

Análisis Comparativo

Aspecto	Tradicional	Automatizado
Costo Anual	S/ 174,000	S/ 85,500
Consumo de Agua	Alto (sin control)	Optimizado (hasta 50% menos)
Personal	4 personas	1 persona + técnico
Precisión en riego	Baja	Alta
Impacto ambiental	Mayor consumo y desperdicio	Menor consumo y sostenibilidad
Monitoreo y control	Manual	Digital y remoto
Inversión inicial	Baja	Media a alta