

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



TESIS:

**Influencia de un sistema de control de riego por goteo manual
y automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*
en un invernadero, Huanta 2025.**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO DE SISTEMAS

PRESENTADO POR:

Bach. Jhour Cristony CARBAJAL PAREJA

ASESOR:

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por ser mi guía y fortaleza inagotable, confiriéndome la resiliencia necesaria para superar las adversidades y alcanzar este momento culminante en la consecución de mis objetivos. A mis queridos padres, Maura y Yuri, su amor incondicional, sacrificio y sabiduría sentaron las bases y los cimientos de mi formación. Este logro es, en gran medida, el reflejo de su esfuerzo. Finalmente, dedico este éxito a mi familia, cuyo apoyo incondicional y motivación constante han sido pilares fundamentales en cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mi alma máter, a la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil; en especial a la gloriosa Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas por la excelente formación académica que me ha brindado. Extiendo mi agradecimiento a cada uno de los docentes por su invaluable guía; sus lecciones se convirtieron en el cimiento de mi crecimiento, tanto en lo profesional como en lo personal.

Agradezco sinceramente al Mg. Ing. Christian Lezama Cuellar, docente de la E.P. Ingeniería de Sistemas y asesor de este trabajo, por su tiempo, paciencia y por brindarme su valiosa guía académica desde el comienzo hasta el final de esta investigación. Mi gratitud a mi amiga Diana, por permitirme colaborar en su proyecto de investigación el cual me proporcionó el contexto y la inspiración para el desarrollo metodológico de la presente tesis.

RESUMEN

La presente investigación se ha planteado bajo el objetivo de comparar la influencia del sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* en un invernadero, 2025. Para tal propósito, se planteó un estudio cuantitativo, explicativo, experimental, prospectivo, longitudinal y analítico con una población de 20 plantaciones de tomate *Solanum lycopersicum* (10 plantaciones para riego por goteo manual y 10 para riego por goteo automatizado), usándose como técnica la observación y medición cuantitativa con el empleo de una ficha de registro de datos. Los resultados revelaron que con el sistema de riego por goteo manual se encontró una altura promedio de 76,23 cm a las 20 semanas de plantación; una cantidad de flores máxima de 16,60 por planta (semana 17) y de frutos de 20,90 por planta (semana 20); el rendimiento promedio fue de 447,90 g/planta y la eficiencia en el uso del agua promedio alcanzo 0,0069 g/cm³; en cambio, con el sistema de riego por goteo automatizado se obtuvo un promedio de altura de la planta de 74,84 cm en la semana 20; la cantidad de flores máxima fue de 18,10 por planta (semana 15) y de frutos de 21,50 por planta (semana 20); con un rendimiento promedio de 366,93 g/planta y eficiencia en el uso de agua promedio de 0,0123 g/cm³. Se concluye que el sistema de riego por goteo automatizado influyó en mayor medida en la eficiencia en el uso del agua con una mejora de 0,0054 g/cm³ ($t = -1,745$, $p < 0,05$), no existiendo diferencias significativas en el resto de los indicadores evaluados.

Palabras clave: Riego automatizado, Riego manual, Riego por goteo, IoT, tomate *Solanum lycopersicum*

ABSTRACT

This research was designed to compare the influence of manual and automated drip irrigation control systems on the cultivation of tomato (*Solanum lycopersicum*) inside a greenhouse in 2025. To this end, a quantitative, explanatory, experimental, prospective, longitudinal, and analytical study was conducted with a population of 20 tomato (*Solanum lycopersicum*) plantations (10 plantations under manual drip irrigation and 10 under automated drip irrigation). The data collection technique employed was observation and quantitative measurement using a data recording sheet. The results revealed that with the manual drip irrigation system, an average plant height of 76,23 cm was observed at 20 weeks after planting; a maximum number of flowers of 16,60 per plant (week 17); and a maximum number of fruits of 20,90 per plant (week 20). The average yield was 447,90 g/plant and average water use efficiency reached 0,0069 g/cm²; in contrast, with the automated drip irrigation system, an average plant height of 74,84 cm was obtained in week 20; the maximum number of flowers was 18,10 per plant (week 15) and of fruits 21,50 per plant (week 20); with an average yield of 366,93 g/plant and average water use efficiency of 0,0123 g/cm³. It is concluded that the automated drip irrigation system had a greater influence on water use efficiency with an improvement of 0,0054 g/cm³ ($t = -1,745$, $p < 0,05$), with no significant differences in the other indicators evaluated.

Keywords: Automated irrigation, manual irrigation, Drip irrigation, IoT, tomato *Solanum lycopersicum*

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1 Problema general.....	18
1.2.2 Problemas específicos.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5 OBJETIVOS	19
1.5.1 Objetivo general.....	19
1.5.2 Objetivo específico	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.2 MARCO CONCEPTUAL	26
2.2.1 Sistema de control de riego por goteo	26
2.2.2 Sistema de riego por goteo manual	27
2.2.3 Sistema de riego por goteo automatizado	27
2.2.4 Cultivo del tomate <i>Solanum lycopersicum</i>	27
2.2.5 Altura de la planta	28
2.2.6 Cantidad de flores.....	28
2.2.7 Cantidad de frutos.....	28
2.2.8 Rendimiento de producción.....	29

2.2.9	Eficiencia en el uso del agua.....	29
2.3	MARCO REFERENCIAL	29
2.3.1	Estrés hídrico	29
2.3.2	Invernadero.....	30
2.3.3	Riego por goteo	30
2.3.4	Tomate <i>Solanum lycopersicum</i>	30
2.3.5	Sensor.....	31
2.3.6	Actuador.....	34
2.3.7	Microcontrolador	37
2.3.8	Shield	38
2.3.9	Plataforma IoT	39
2.4	HIPÓTESIS	39
2.4.1	Hipótesis general	39
2.4.2	Hipótesis específica.....	39
	CAPÍTULO III.....	40
	MATERIAL Y MÉTODOS.....	40
3.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.1	Tipo de investigación	40
3.1.2	Nivel de investigación	41
3.1.3	Enfoque de estudio:.....	41
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.3	VARIABLES	42
3.3.1	Definición conceptual de variables.....	42
3.3.2	Definición operacional de variables.....	43
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	43
3.4.1	Población	43
3.4.2	Muestra	44
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	44

3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.6.1	Técnicas.....	46
3.6.2	Instrumentos	46
3.6.3	Validez del instrumento	47
3.6.4	Confiabilidad de instrumento	47
3.7	PROCEDIMIENTOS	49
3.7.1	Estrategia de prueba de hipótesis.....	49
3.7.2	Técnicas de procesamiento de datos.....	49
3.7.3	Diseño estadístico.....	51
3.7.4	Análisis e interpretación de datos	51
3.8	DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL	51
3.8.1	Metodología:	51
3.8.2	Recopilación de información del área experimental	52
3.8.3	Diseño de hardware.....	57
3.8.4	Calibración	59
3.8.5	Desarrollo de software.....	64
3.8.6	Integración con Plataforma IoT ThingSpeak.....	67
3.8.7	Instalación de los sistemas de control de riego:	68
3.8.8	Cultivo del tomate	73
3.8.9	Recolección de datos en la ficha de registros:	76
	CAPÍTULO IV	82
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
4.1.	RESULTADOS	82
4.1.1.	Parámetro meteorológico durante el periodo experimental.....	82
4.1.2.	Humedad del suelo durante el periodo experimental	83
4.1.3.	Influencia del sistema de control de riego por goteo manual en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>	84
4.1.4.	Influencia del sistema de control de riego por goteo automatizado en el	

cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>	88
4.1.5. Análisis de normalidad de las variables	94
4.1.6. Comparación entre sistema de control de riego por goteo manual y por goteo automatizado en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>	95
4.2. DISCUSIÓN	101
CAPÍTULO V	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
5.1. CONCLUSIONES	106
5.2. RECOMENDACIONES.....	107
Referencias bibliográficas.....	108
Lista de abreviaturas.....	112
Glosario.....	113
Anexos	114
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	114
Anexo 2. Ficha observacional: Juez 01	116
Anexo 3. Ficha observacional: Juez 02	118
Anexo 4. Ficha observacional: Juez 03	120
Anexo 5. Ficha observacional: Juez 04	122
Anexo 6. Ficha observacional: Juez 05	124
Anexo 7. Cálculo de la V de Aiken	126
Anexo 8. Coeficiente de correlación intraclase de altura.....	127
Anexo 9. Coeficiente de correlación intraclase de conteo de flores.....	127
Anexo 10. Coeficiente de correlación intraclase de conteo de frutos	128
Anexo 11. Coeficiente de correlación intraclase de peso de frutos	129
Anexo 12. Análisis de Agua.....	130
Anexo 13. Análisis Físico de Suelo (humedad)	131
Anexo 14. Análisis Físico de Suelo (capacidad de campo y punto de marchites).....	132
Anexo 15. Código en Arduino IDE del sistema de control manual y automatizado.....	133

Anexo 16. Etiquetado de las plantas de tomate del sistema de riego manual.....	140
Anexo 17. Etiquetado de las plantas de tomate del sistema de riego automatizado.....	141

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones técnicas del sensor de humedad del suelo	32
Tabla 2	Especificaciones técnicas del sensor de flujo de agua 1/2"	33
Tabla 3	Especificaciones técnicas del sensor de temperatura de ambiente	34
Tabla 4	Especificaciones técnicas de la válvula solenoide 1/2"	35
Tabla 5	Especificaciones técnicas del módulo relay 1CH.....	36
Tabla 6	Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 REV3.....	37
Tabla 7	Especificaciones técnicas del Shield Ethernet W5100	38
Tabla 8	Operacionalización de variables	44
Tabla 9	Herramientas de procesamiento de datos.....	50
Tabla 10	Resultados de análisis físico del suelo	55
Tabla 11	Resultados de análisis de humedad del suelo	55
Tabla 12	Datos recolectados del CU de riego automatizado	56
Tabla 13	Datos recolectados del CU de riego manual	57
Tabla 14	Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo manual	84
Tabla 15	Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo manual	85
Tabla 16	Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de riego por goteo manual.....	86
Tabla 17	Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo manual	87
Tabla 18	Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo manual....	88
Tabla 19	Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo automatizado	89
Tabla 20	Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo automatizado	90
Tabla 21	Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de riego por goteo automatizado.....	91
Tabla 22	Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo automatizado ..	92
Tabla 23	Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo automatizado	93
Tabla 24	Prueba de Shapiro-Wilk: Análisis de normalidad de las dimensiones evaluadas.....	94
Tabla 25	Comparación del desarrollo semanal de la altura de la planta entre sistemas de riego.....	96

Tabla 26 Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de flores entre sistemas de riego.....	97
Tabla 27 Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de frutos entre sistemas de riego.....	98
Tabla 28 Comparación del rendimiento de producción entre sistemas de riego.....	99
Tabla 29 Comparación del desarrollo semanal de la eficiencia en el uso del agua entre sistemas de riego	100
Tabla 30 Matriz de consistencia	114
Tabla 31 Valores de altura de prueba de confiabilidad inter-observador	127
Tabla 32 Resultado del CCI en altura de planta.....	127
Tabla 33 Valores de conteo de flores de prueba de confiabilidad inter-observador	127
Tabla 34 Resultado del CCI en conteo de flores.....	128
Tabla 35 Valores de conteo de frutos de prueba de confiabilidad inter-observador	128
Tabla 36 Resultado del CCI de conteo de frutos.....	128
Tabla 37 Valores de peso de frutos de prueba de confiabilidad inter-observador	129
Tabla 38 Resultado del CCI de peso de frutos.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sensor de humedad del suelo	32
Figura 2 Sensor de flujo de agua 1/2"	33
Figura 3 Sensor de temperatura de ambiente	34
Figura 4 Válvula solenoide 1/2"	35
Figura 5 Módulo relay 1CH.....	36
Figura 6 Arduino Mega 2560 REV3.....	37
Figura 7 Shield Ethernet W5100	38
Figura 8 Ubicación del invernadero	52
Figura 9 Reservorios de agua.	53
Figura 10 Cabezales de riego.....	53
Figura 11 Toma interna del invernadero	54
Figura 12 Toma externa del invernadero	54
Figura 13 Arquitectura del sistema de control de riego completo.....	58
Figura 14 Arquitectura del sistema de control de riego automatizado	58
Figura 15 Arquitectura del sistema de control de riego manual	59
Figura 16 Recolección de datos para ajustar las lecturas del sensor de humedad de suelo.....	60
Figura 17 Calibración del sensor de humedad de suelo para control automatizado	60
Figura 18 Calibración del sensor de humedad de suelo para control manual	61
Figura 19 Recolección de datos para ajustar las lecturas del sensor de flujo de agua	62
Figura 20 Calibración del sensor de flujo de agua para control automatizado	62
Figura 21 Calibración del sensor de flujo de agua para control manual	63
Figura 22 Recolección de datos para ajustar las lecturas del sensor de temperatura	63
Figura 23 Calibración del sensor DHT11 de temperatura	64
Figura 24 Diagrama de flujo del sistema de riego por goteo manual y automatizado	66
Figura 25 Panel de control de ThingSpeak	67
Figura 26 Envío de datos a ThingSpeak	68
Figura 27 Implementación de los sistemas de control de riego diseñado para este estudio.....	69
Figura 28 Estación de control central.....	69

Figura 29 Instalación del sensor de humedad de suelo	70
Figura 30 Instalación de la válvula solenoide 1/2"12VDC	70
Figura 31 Instalación del sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201.....	71
Figura 32 Instalación del sensor de temperatura DHT11	71
Figura 33 Conexión al router y al estabilizador.....	72
Figura 34 Pruebas de funcionamiento.....	72
Figura 35 Trasplante de plántulas	73
Figura 36 Riego del cultivo	74
Figura 37 Riego del sistema de control automatizado.....	74
Figura 38 Riego del sistema de control manual.....	75
Figura 39 Manejo de enfermedades.....	75
Figura 40 Recolección de datos de altura de la planta.....	76
Figura 41 Recolección de datos de conteo de flores y frutas.....	76
Figura 42 Cosecha de tomates del sistema de riego manual.....	78
Figura 43 Cosecha de tomates del sistema de riego automatizado.....	79
Figura 44 Agrupación de los frutos por planta antes del pesaje.....	80
Figura 45 Proceso de pesaje.....	80
Figura 46 Resultados de la temperatura durante el experimento.	82
Figura 47 Resultados de humedad de suelo en sistema automatizado durante el experimento.	83
Figura 48 Resultados de humedad de suelo en sistema manual durante el experimento.	83
Figura 49 Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo manual	84
Figura 50 Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo manual	85
Figura 51 Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de riego por goteo manual.....	86
Figura 52 Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo manual.....	87
Figura 53 Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo manual..	88
Figura 54 Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo automatizado	89
Figura 55 Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo automatizado	90
Figura 56 Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de	

riego por goteo automatizado	91
Figura 57 Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo automatizado .	92
Figura 58 Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo automatizado	93
Figura 59 Comparación del desarrollo semanal de la altura de la planta entre sistemas de riego.....	96
Figura 60 Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de flores entre sistemas de riego.....	97
Figura 61 Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de frutos entre sistemas de riego.....	98
Figura 62 Comparación del rendimiento de producción entre sistemas de riego .	100
Figura 63 Comparación del desarrollo semanal de la eficiencia en el uso del agua entre sistemas de riego	101
Figura 64 Puntuación asignada por el juez 01 al instrumento.....	116
Figura 65 Puntuación asignada por el juez 02 al instrumento.....	118
Figura 66 Puntuación asignada por el juez 03 al instrumento.....	120
Figura 67 Puntuación asignada por el juez 04 al instrumento.....	122
Figura 68 Puntuación asignada por el juez 05 al instrumento.....	124
Figura 69 Resultado de V de Aiken.....	126
Figura 70 Resultados de análisis de agua en laboratorio.....	130
Figura 71 Resultados de análisis físico de suelo (humedad) en laboratorio.....	131
Figura 72 Resultados de análisis físico general de suelo en laboratorio	132

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura, parte fundamental de la sociedad, enfrenta una amenaza crítica debido al cambio climático. Los recientes impactos del cambio climático han generado diversos problemas que enfrentan los sistemas agrícolas en todo el mundo, manifestándose como patrones erráticos de lluvia y en consecuencia una disminución de la eficiencia en el uso del agua (Abdoulaye et al., 2021). La escasez de este recurso ya no es una proyección futura, sino una realidad presente. La Fundación Aquae (2021) menciona que a nivel global “Se contempla que el déficit pueda incrementar del 40 % al 70 % en 2040. Australia, (...), Perú, Chile y distintos países del norte de África también se enfrentan a un elevado riesgo de escasez de agua para 2040.” En el contexto peruano, la situación es particularmente alarmante. En el 2019 Perú ocupó el cuarto lugar en el ranking del nivel de estrés hídrico en América Latina, registrando un nivel medio-alto (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2023). En las naciones que experimentan esta condición, “(...) la agricultura bajo riego, las industrias y los municipios extraen más del 80 % del suministro disponible por año” (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2023, p.15). Analizando por regiones en el Perú, en el año 2019:

Los departamentos del Perú que presentan un nivel extremadamente alto de estrés hídrico son Lambayeque (...) y Arequipa (...). En estos departamentos se extrae más del 80 % del suministro de agua disponible. Los departamentos que presentan un nivel alto de estrés hídrico son Moquegua, Tacna, Piura y La Libertad (se extrae entre el 40% y 80 % del suministro de agua disponible). Los que presentan un nivel medio alto de estrés hídrico son Ayacucho, Apurímac, Tumbes, Huancavelica, Cajamarca,

Ica, Junín y Áncash (se extrae entre el 20 % y 40 % del suministro de agua disponible). (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2023, p.19-20). Ante la creciente escasez de agua dulce para la agricultura de regadío y la creciente demanda mundial de alimentos, la necesidad de mejorar la producción alimentaria con menos agua se vuelve crucial (Rana et al., 2023).

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas más importantes a nivel global y nacional. Según FAO (2020) el tomate ocupa el segundo lugar con 182 millones de toneladas producidas a nivel mundial; su mayor área cosechada se concentra en Asia Oriental, Meridional y Sudeste asiático. Y en Perú, “durante el año 2019, la superficie nacional de siembras fue de 4,832 Ha, con una producción de 201'951 toneladas de tomate” (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021, p.5). Sin embargo, su cultivo enfrenta un dilema hídrico significativo. En la región de Ayacucho, las prácticas de riego varían; mientras muchos productores todavía dependen de métodos tradicionales como el riego por surcos, otros han comenzado a adoptar el riego tecnificado. De hecho, el Ministerio de Agricultura y Riego (2016) menciona que “a través del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI) ha concretado 10 proyectos de infraestructura hídrica (...). Se trata de obras que beneficiarán a 8112 agricultores (...). El PSI ha realizado asesoramiento en la reformulación del Programa de Riego Tecnificado”, esto da a entender que el tipo de riego más empleado en Ayacucho es el riego tecnificado, que incluye métodos como sistemas de aspersión, goteo y otras tecnologías modernas diseñadas para optimizar el uso del agua en la agricultura. A pesar de estos avances en infraestructura, la operación de muchos de estos sistemas de goteo sigue siendo mayoritariamente manual, basándose en la experiencia del agricultor y no en las necesidades hídricas reales de la planta. Los agricultores siempre riegan en exceso los tomates en el invernadero para lograr un alto rendimiento (Wu et al., 2021). Esta práctica no solo es ineficiente, ya que un aumento en el suministro de agua no aumenta el rendimiento proporcionalmente (Ullah et al. 2021), por el contrario, el riego excesivo daña las raíces, retrasando la floración y fructificación (López, 2016). Por lo tanto, un riego deficiente afecta el crecimiento, la floración y el desarrollo de los racimos. Es imperativo optimizar la cantidad de agua y aplicarla con una frecuencia de riego adecuada para lograr un equilibrio entre el crecimiento de las plantas y el rendimiento para mejorar la eficiencia del uso del agua.

Para abordar esta problemática, la tecnología ofrece soluciones prometedoras. La gestión adecuada del agua es un factor importante para garantizar la sostenibilidad y la rentabilidad de la producción de tomate (Maureira et al.,2022), y los sistemas de riego automatizados emergen como una herramienta fundamental. Los sistemas agrícolas basados en el IoT recopilan y almacenan datos de sensores en el campo; esta información es crucial para implementar sistemas automatizados, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos (Catota et al. 2024). De hecho, la aplicación de tecnologías IoT puede minimizar la mano de obra y ahorrar hasta un 90% de agua en comparación con métodos tradicionales, siendo la combinación de sensores de humedad con microcontroladores una de las implementaciones con gran potencial (Seyar y Ahamed, 2023). A pesar del enorme potencial de estas tecnologías, existe una brecha en la investigación que compare de manera directa y cuantitativa el impacto de un sistema de riego por goteo automatizado frente a un sistema de goteo manual (en base a la experiencia del agricultor) en las condiciones específicas de un invernadero.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuál sistema de control de riego por goteo influye más en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*, 2025?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera el sistema de control de riego por goteo manual influye en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*?
- ¿De qué manera el sistema de control de riego por goteo automatizado influye en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación buscó llenar un vacío de conocimiento al comparar de manera cuantitativa la influencia de dos tipos de sistemas de control (manual y automatizado) en sistemas de riego por goteo para el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*. El estudio permitió analizar variables importantes como el desarrollo de las plantas, el rendimiento de la producción y la eficiencia en el uso del agua. Los resultados obtenidos ayudaron a identificar qué método de riego emplea el agua de manera más eficiente, con el fin de hacer frente a la creciente escasez

hídrica. Dicha optimización en la producción es vital, puesto que el tomate es uno de los cultivos más consumidos a nivel mundial, por lo que se busca generar un impacto positivo tanto para productores como para consumidores.

1.4 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se llevó a cabo dentro de un invernadero ubicado en el distrito de Huanta, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. El experimento se realizó en hileras con características de suelo y condiciones microclimáticas homogéneas para garantizar que las diferencias observadas se deban principalmente a los tratamientos de riego y no a variaciones ambientales.

El estudio se realizó durante el ciclo de vida del tomate, abarcando un periodo de 20 semanas desde el 07 de junio al 25 de octubre del año 2025. Este rango temporal comprende todas las etapas de desarrollo del cultivo de *Solanum lycopersicum*, desde el trasplante de las plántulas hasta la cosecha, permitiendo una evaluación completa del impacto de los sistemas de riego en el desarrollo y rendimiento de la planta.

La investigación se centró exclusivamente en la comparación de la influencia de dos sistemas de control para riego por goteo (manual y automatizado) sobre el cultivo (altura de la planta, cantidad de flores, cantidad de frutos, el rendimiento de la producción y la eficiencia en el uso del agua) de tomate *Solanum lycopersicum*. No se empleó otro sistema de control de riego ni se tomó en cuenta otro parámetro de crecimiento de la planta.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Comparar la influencia del sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*, 2025.

1.5.2 Objetivo específico

- Determinar la influencia del sistema de control de riego por goteo manual en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.
- Determinar la influencia del sistema de control de riego por goteo automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En ese sentido se presentan los antecedentes a nivel internacional. En el país de Ghana en África Occidental, los autores Bwambale et al. (2023) en su artículo de investigación denominado *“Model-based smart irrigation control strategy and its effect on water use efficiency in tomato production”* lograron examinar los efectos de tres enfoques distintos de control del riego (manual, basado en modelos y de circuito abierto) en plantas de tomate con riego por goteo en un contexto agrícola de campo abierto empleando Internet de las Cosas (Iot). El control manual implica que una persona riegue, mientras que el control de lazo abierto implica que el sistema se riega por sí misma en función a periodos establecidos de riego en su programación. Midieron los efectos en la altura de la planta, el número de flores y frutos, el rendimiento (producción) y la eficiencia del uso del agua. En cuanto a la altura de la planta, la altura promedio en el tratamiento de control manual fue de 68 cm, en el tratamiento de control de lazo abierto, la altura media de las plantas fue de 73 cm (Bwambale et al, 2023). El número medio de flores por planta para el control manual y el control de circuito abierto fueron 17 y 27, respectivamente (Bwambale et al, 2023). El número medio de frutos por planta para el control manual y el control de circuito abierto fueron 56,2 y 66,2, respectivamente (Bwambale et al, 2023). Los resultados del análisis de las estrategias de control manual y control de lazo abierto sobre el rendimiento promedio de 14 y 16 t/ha, respectivamente (Bwambale et al, 2023). El análisis de la eficiencia del uso del agua de las estrategias de control manual y control de lazo abierto con valores promedio de 5,6 y 7,1 kg/m³, respectivamente (Bwambale et al, 2023). Los resultados demostraron que el control de lazo abierto tiene un impacto mayor en el

crecimiento, rendimiento y eficiencia del consumo de agua de las plantas de tomate en comparación con el control manual.

De acuerdo con la investigación desarrollada en el país de Turquía, Acar et al. (2022) en su artículo de investigación *“Increasing the plant productivity using the automatic controlled irrigation system: a comparative experimental study”*, diseñaron y compararon un sistema de riego por goteo automatizado con IoT frente a un método de riego convencional en cultivos de pimiento, tomate y berenjena. El sistema automático utilizaba un microcontrolador Arduino y sensores de humedad para activar el riego solo cuando el suelo lo necesitaba. Los resultados demostraron que el sistema de riego automático fue superior en todos los aspectos medidos, el ahorro total de agua fue del 19% con riego por goteo controlado automático (Acar et al., 2022), y se observó que el peso de los cultivos regados con riego automático controlado es mayor que el de los regados con medios convencionales para las tres plantas y los dos períodos de cosecha. Los rendimientos con riego automático controlado para pimiento, tomate y berenjena son del 53%, 69% y 13% para el primer período de cosecha, respectivamente. Los rendimientos para el segundo período de cosecha son del 42%, 30% y 15% para pimiento, tomate y berenjena (Acar et al., 2022). El estudio concluyó que el sistema de riego automático es más eficiente en el uso del agua y aumenta el rendimiento de la producción en comparación con el riego convencional.

De la misma manera la investigación desarrollada en China, los autores Guo y Chen (2024) en su artículo de investigación denominado *“Research on the application of Internet of Things (IoT) for water and fertilizer integration and smart irrigation system in cotton production”* lograron implementar Internet de las Cosas (IoT) integrando agua y fertilizantes en un sistema de riego inteligente para la producción de algodón. Implementaron un algoritmo de control PID que estima la información de tendencia futura basándose en la información de control anterior y actual para que el sistema sepa en que momentos regar. El rendimiento total de algodón del campo experimental con un sistema de riego inteligente fue de 1728,1 kg, lo que fue un 66,98% más alto que el método de riego tradicional. El volumen de riego del método de riego inteligente fue de 329,6 mm, lo que fue un 11,59% más bajo que el método de riego tradicional (Guo y Chen, 2024). Esto demuestra que la automatización de riego puede ser mejor que el tradicional.

Asimismo, la investigación desarrollada en Qatar de Pereira et al. (2023) en su artículo de investigación denominado *“IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32”* diseñaron e implementaron un sistema de riego por goteo inteligente habilitado por IoT utilizando un microcontrolador ESP32 para automatizar el proceso de irrigación. El sistema integró sensores de humedad del suelo, temperatura, humedad del aire y flujo de agua, comunicándose con la aplicación Blynk para la recolección de datos y control manual. Los autores programaron el sistema para regar solo cuando la humedad del suelo era baja y la temperatura del suelo estaba en el rango ideal de 27 a 32°C. Los resultados demostraron que el sistema funcionó satisfactoriamente durante las pruebas de campo, logrando cultivar exitosamente cebollas verdes que recibieron 0,676 galones de agua por semana, cantidad que coincidió con las recomendaciones estándar de riego. Se logró construir un sistema de riego por goteo inteligente con IoT. Este sistema ofrece una función de automatización mejorada: si el suelo está seco, la temperatura se encuentra en el rango ideal para la máxima absorción de agua y el horario coincide con las ventanas de riego designadas (mañana o tarde) (Pereira et al., 2023). El sistema mostró capacidad para prevenir el sobre riego, demostrando que la automatización del riego por goteo puede proporcionar un suministro de agua preciso y eficiente comparado con métodos tradicionales.

En el país de Bangladesh en Asia del Sur, los autores Rana et al. (2023) en su artículo de investigación denominado *“Development and evaluation of the first automated irrigation system for alternate wetting and drying technique in rice cultivation in Bangladesh”* lograron desarrollar una versión automatizada de un sistema de riego por humectación y secado alternados, y evaluar su impacto en el crecimiento, rendimiento y eficiencia del uso del agua en el cultivo de arroz. Para ello experimentaron tres tratamientos: Riego convencional (CI), riego por humectación y secado alternados (AWD), y riego por humectación y secado alternados automatizados (AAWD); cada uno replicado cuatro veces. Los tratamientos más relevantes acordes al presente estudio son AWD y AAWD. Los resultados demuestran que existe una variación mínima en los parámetros de crecimiento y rendimiento entre los tratamientos. Según su tabla, el AWD obtuvo 6,46 t/ha de rendimiento de grano mientras que AAWD obtuvo 6,52 t/ha. El estudio reveló la mayor eficiencia de uso del agua (EUA) de 65,20 kg/ha/cm en el

tratamiento AAWD. El Tratamiento AWD mostró el segundo WUE más alto (61,52 kg/ha/cm) (Rana et al., 2023). Cabe destacar que el tratamiento AAWD ahorró alrededor de un 5% de agua de riego en comparación con el tratamiento AWD (Rana et al., 2023). Ello demuestra que la automatización de riego tiene un impacto positivo mayor a los riegos tradicionales.

De la misma manera, en el país de India, Kumar et al. (2021) en su artículo de investigación titulado “*Development and evaluation of automation system for irrigation scheduling in broccoli (Brassica oleracea)*”, desarrollaron y evaluaron un sistema de automatización de riego en tiempo real utilizando sensores de humedad del suelo, un sistema de apoyo a la decisión e IoT. Sus experimentos en el cultivo de brócoli, comparando métodos manuales y automatizados (cuenca de control, surco y goteo), Los resultados demostraron que en los métodos de riego automatizados basados en sensores, la productividad máxima del agua de riego (9,7 kg/m³), este valor contrasta con los 6,3 kg/m³ obtenidos por el sistema de riego por goteo manual (Kumar et al., 2021). Además, el ahorro de agua fue del 44,75% utilizando riego por goteo automatizado en comparación con riego manual por cuenca de control en el cultivo de brócoli (Kumar et al., 2021). Esto concluye que la implementación de un sistema de riego automatizado y basado en sensores es eficaz para una gestión eficiente del riego, optimizando el uso del agua y mejorando la productividad de los cultivos al asegurar un suministro preciso según las necesidades de la planta.

Asimismo, en el país de Japón, los autores Seyar y Ahamed (2023) en su artículo de investigación titulado “*Development of an IoT-Based Precision Irrigation System for Tomato Production from Indoor Seedling Germination to Outdoor Field Production*”, desarrollaron un sistema de riego de precisión basado en IoT para la producción de tomates, desde la germinación de plántulas en interiores hasta la producción en campo abierto. En su investigación, concluyeron que un umbral de humedad del suelo del 12% (nivel mínimo de humedad) aplicado a través de un sistema de riego por goteo aumentaba significativamente el crecimiento de las plántulas de tomate. En los experimentos de campo, el sistema de riego por goteo subterráneo resultó en una mayor producción de tomate. Cada planta produjo aproximadamente 1243 g y 1061 g en los sistemas de riego por goteo subterráneo y superficial, respectivamente (Seyar y Ahamed, 2023). Los resultados demuestran la viabilidad de producción de tomate empleando riego por goteo automatizado y

IoT.

La creciente demanda de alimentos debido al aumento poblacional ha hecho crucial optimizar la eficiencia y calidad en la producción de cultivos en cortos períodos. En este contexto, la investigación desarrollada en el país de Ecuador de Catota et al. (2024) en su artículo "*Sustainability of precision agriculture as a proposal for the development of autonomous crops using lo*" propuso un prototipo integral con un sistema de monitoreo y control basado en la plataforma IoT Arduino Cloud y una placa ESP32 para optimizar la gestión de recursos en la producción de frijol. Las pruebas realizadas en los tres meses demuestran que el crecimiento del cultivo de frijol en comparación con un cultivo tradicional es más beneficioso porque se acorta el tiempo de cosecha. La agricultura de precisión permite una gestión más precisa de los recursos, como el agua y los fertilizantes, al conocer las necesidades exactas de cada zona del campo. Con una red de sensores basados en IoT, es posible monitorear las condiciones del suelo en tiempo real y ajustar la calidad del mismo para evitar plagas y enfermedades (Catota et al., 2024). Asimismo, destacaron que un 55,8% de humedad promedio en el suelo es óptimo y que la plataforma IoT permite el monitoreo en tiempo real de la humedad y temperatura, asegurando un ambiente ideal para el cultivo.

En el país de Ecuador, los autores Colimba et al. (2022) en su artículo de investigación denominado "*Optimal Irrigation Scheduling for Greenhouse Tomato Crop (Solanum Lycopersicum L.) in Ecuador*" lograron encontrar una programación óptima de riego en el cultivo del tomate equilibrando la producción, la calidad del fruto y la eficiencia en el uso del agua. En el primer experimento compararon cuatro dosis de agua (80%ET, 100% ET, 120% ET y 140% ET) y dos tipos de frecuencias de riego (uno y dos riegos por día). En el segundo experimento compararon dos dosis de agua (100% ET y 120% ET) y cuatro frecuencias de riego (uno y dos riegos por día, un riego cada dos días, un riego cada tres días). La investigación concluyó que es recomendable aplicar el 100% ET de dosis con una frecuencia de un riego al día en tomate de invernadero. Esta dosis mostró un equilibrio entre producción, calidad nutricional y eficiencia en el uso del agua (Colimba et al., 2022). Cabe destacar que esta alta frecuencia de aplicación es un comportamiento propio de la gestión de un sistema de riego automatizado.

Por su parte, en el país de India, Singh et al. (2023) en su artículo de investigación *“Effect of Drip Irrigation and Fertigation on Soil Water Dynamics and Productivity of Greenhouse Tomatoes”*, evaluaron el efecto de diferentes programas de riego por goteo y fertirrigación en la productividad de tomates en invernadero. Con base en los resultados del presente estudio, se puede concluir que la aplicación del riego por goteo sobre la base del 100% de la evaporación fue el tratamiento más adecuado, con un mayor contenido de humedad del suelo que resultó en un mayor rendimiento del cultivo (Singh et al.,2023). Sin embargo, los autores obtienen la siguiente conclusión, es difícil obtener simultáneamente la máxima eficiencia hídrica, así como el mayor rendimiento, ya que una menor cantidad de agua conlleva una mayor eficiencia del agua; sin embargo, no se puede lograr un mayor rendimiento con una tasa de riego menor (Singh et al.,2023). Esto contrasta con los resultados de los autores anteriores quienes obtuvieron un mayor rendimiento y eficiencia del consumo de agua con el sistema de riego automatizado.

A nivel nacional resaltan los siguientes estudios. En Huancayo los autores Sanchez y Manrique (2024) en su trabajo de titulación denominado “Diseño de un sistema inteligente para el control del riego por goteo en una parcela de lechugas”, implementaron un sistema de riego automatizado de bajo costo para optimizar el uso del agua en cultivos de lechuga. Utilizando una placa ESP32, sensores de humedad y una aplicación móvil (IoT), lograron controlar el riego de manera eficiente. Las conclusiones de su estudio demostraron que hubo “una reducción del 55% en el consumo de agua con el uso del sistema inteligente, utilizando un total de 302,4 litros en comparación con los 672 litros requeridos por el riego tradicional en el mismo periodo.” (Sanchez y Manrique, 2024, p.116). Este resultado evidencia una gestión más eficiente del agua. “El sistema inteligente garantizó una tasa de cosecha del 100%, cosechando 12 de 12 lechugas sembradas, en contraste con el 75% de tasa de cosecha (9 de 12 lechugas) logrado con el riego tradicional.” (Sanchez y Manrique, 2024, p.116). Esto refleja la eficacia del sistema en asegurar el desarrollo completo de todas las plantas. “Las lechugas regadas con el sistema inteligente mostraron un aumento promedio del 45,73% en el tamaño (...) y un incremento del 74,31% en el peso promedio (0,54 kg frente a 0,31 kg) en comparación con el riego tradicional.” (Sanchez y Manrique, 2024, p.116). Estos resultados sugieren que el sistema inteligente proporciona condiciones óptimas para el desarrollo vegetal. Cabe mencionar que los autores resaltan la necesidad de

realizar mantenimiento periódico a los sensores para asegurar su correcto funcionamiento, lo que subraya la dependencia del sistema en la fiabilidad del hardware como un factor a considerar frente a la simplicidad del método tradicional.

En Arequipa Cusi et al. (2024) en su trabajo de titulación denominado “Diseño y desarrollo de un sistema integrado de monitoreo y riego automatizado con tecnologías IoT para la agricultura sostenible en Arequipa, Perú”, desarrollaron e implementaron un sistema de riego por goteo automatizado basado en Raspberry, ESP32 y sensores conectados a internet (IoT) para optimizar el cultivo de papas. La investigación demostró que el sistema automatizado, “(...) permitió una reducción del 16,12% en el consumo de agua (...). Además, el aumento del 18% en el rendimiento de los cultivos de papa (...)” (Cusi et al., 2024, p. 9) en comparación al riego tradicional. Ello demuestra que un sistema de riego automatizado puede conservar mejor los recursos y mejorar la productividad.

A nivel local resalta el siguiente estudio. En Ayacucho la tesis “Implementación y monitoreo con microcontrolador Arduino para automatizar el riego por goteo en parcela de hortalizas, Tambo, Ayacucho-2024” realizado por Loayza (2024), se enfocó en demostrar cómo un sistema de riego automatizado con tecnología Arduino optimiza el uso del agua y mejora la producción de zanahorias mediante un monitoreo constante. El riego automatizado con control continuo incrementó significativamente el rendimiento de zanahoria *Chantenay Red Core* a 7 kg/m². Este resultado superó el promedio nacional de 2,52 kg/m² (MIDAGRI, 2020) y el rendimiento de 6,19 kg/m² (Nina, 2020) en condiciones de invernadero (Loayza, 2024). Esta investigación subraya la importancia de integrar tecnologías de automatización y monitoreo para el control en tiempo real de variables críticas como el volumen del reservorio, la presión y flujo de agua, la temperatura ambiente y la humedad del suelo. Dicha integración resulta fundamental para garantizar una gestión hídrica precisa y sostenible.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Sistema de control de riego por goteo

Se define como el conjunto de componentes y lógicas de decisión utilizadas para gestionar la aplicación precisa y localizada de agua directamente a la zona radicular de las plantas. La zona radicular hace mención al área del suelo donde las raíces

se desarrollan y absorben nutrientes. Según Acar et al. (2022) “El método de riego se refiere a la forma en que el agua de riego llega a la zona radicular de la planta [traducción propia]” (p.2). En adición, según López (2016) “El riego por goteo permite un suministro constante y uniforme de agua gota a gota, (...). Resulta más eficiente porque se pierde menos líquido, evita excesos de humedad y reduce la incidencia de enfermedades” (p. 54). El sistema de control, por lo tanto, es quien gobierna la aplicación del agua. Este control puede variar desde métodos manuales hasta complejos sistemas automatizados.

2.2.2 Sistema de riego por goteo manual

Un sistema de riego por goteo manual se define como un método de aplicación de agua en el que la decisión de iniciar, durar y finalizar cada evento de riego es ejecutada directamente por un operador humano. De acuerdo con Fereres y Soriano (2007), una práctica común en el control manual es el riego basado en un calendario, donde se aplica un volumen de agua fijo en intervalos de tiempo regulares. En ese sentido, este sistema, aunque utiliza componentes del riego localizado (cintas, goteros, filtros), el proceso de control depende del juicio humano.

2.2.3 Sistema de riego por goteo automatizado

Un sistema de riego por goteo automatizado es un método de irrigación que utiliza tecnología para gestionar el suministro de agua a las plantas de forma autónoma, minimizando la intervención humana. Según Bwambale et al. (2023) un sistema de riego automatizado implica “(...) la programación de riego mediante sensores de humedad del suelo para optimizar el riego midiendo el contenido de humedad del suelo y aplicando agua cuando fuera necesario [traducción propia]” (p. 3). Este sistema integra los componentes del riego por goteo con una red de sensores, controladores (Arduino) y actuadores (válvulas solenoides) para tomar decisiones de riego basadas en datos en tiempo real. De la misma forma, Seyar y Ahamed (2023) afirman que “El sistema puede ayudar a obtener una medición precisa de la humedad del suelo en la zona radicular de las plantas y a aplicar la proporción de agua necesaria en el momento oportuno [traducción propia]” (p. 3).

2.2.4 Cultivo del tomate *Solanum lycopersicum*

Representa el conjunto de respuestas fisiológicas y productivas de la planta (*Solanum lycopersicum*) que se observan y miden para cuantificar el efecto de los diferentes sistemas de control de riego. La correcta gestión del riego influye directamente en cada una de estas dimensiones.

Cuando hay escasez de agua en el cultivo de tomate se produce una

reducción del crecimiento de las plantas, la absorción del calcio se ve disminuida y se genera un desequilibrio por deficiencia de calcio. La floración se ve afectada y se pueden perder algunos racimos. Por el contrario, cuando se aplica agua en exceso, las raíces se mueren y se presenta un retraso en la floración y en los frutos. (López, 2016, p.54-55)

Por lo tanto, el cultivo del tomate como variable es la manifestación medible de cómo la planta integra los recursos hídricos disponibles para crecer y producir.

2.2.5 Altura de la planta

La altura de la planta es un parámetro biométrico que cuantifica la elongación vertical del tallo principal. Según Pérez-Harguindeguy et al. (2013) menciona que “La altura de una planta es la distancia más corta entre el límite más alto de los tejidos fotosintéticos principales de esa planta (excluyendo las inflorescencias) y el nivel del suelo, expresado en metros [traducción propia]” (p.175). Esto quiere decir que la medición se hace del nivel del suelo hasta la hoja más alta, excluyendo cualquier parte floral que la sobrepase. Se considera un indicador primario del crecimiento vegetativo de la planta a lo largo de su ciclo de vida.

2.2.6 Cantidad de flores

Consiste en el recuento total de flores abiertas y funcionales en una planta en un momento determinado. Para identificarlos bien, se toma referencia a lo descrito por López (2016) que dice “Es normal que se forme la primera flor en la yema apical, mientras que las demás aparecen en posición lateral y por debajo de la primera, siempre colocándose alrededor del eje principal, siendo el pedicelo el que une la flor al eje floral” (p.15). Esto quiere decir que las flores de tomate normalmente se desarrollan de forma secuencial: la primera surge en la punta del tallo, y las siguientes aparecen lateralmente y más abajo, todas unidas al eje principal por un pequeño tallo llamado pedicelo. Se considera un indicador primario del crecimiento vegetativo de la planta a lo largo de su ciclo de vida.

2.2.7 Cantidad de frutos

Consiste en el recuento total de frutos producidos por la planta en un momento determinado. Para identificarlos bien, se toma referencia a lo descrito por López (2016) que dice “Es una baya bilocular o plurilocular, subesférica globosa (...) o alargada (...). En estado inmaduro es verde y, cuando madura, es rojo”. (p.15). Se considera un indicador primario de la producción vegetativa de la planta a lo largo de su ciclo de vida.

2.2.8 Rendimiento de producción

El rendimiento de producción es el indicador agronómico que cuantifica la producción total de frutos cosechados de una planta. Investigaciones recientes confirman que el método de riego y el manejo de la humedad del suelo influyen de manera significativa y directa en el rendimiento final del tomate. Según Mukherjee et al. (2023), tanto el sistema de irrigación empleado como el régimen de humedad del suelo tienen un impacto directo y cuantificable sobre el crecimiento de la planta y, consecuentemente, en el rendimiento de los frutos. “A partir del peso promedio de frutos y el número de frutos totales por planta se obtuvo el rendimiento por planta” (Alemán et al, 2016, p.73). De igual manera Bwambale et al (2023) mencionan que para hallar el rendimiento total “Se utilizó una balanza para medir el peso de los tomates cosechados de cada una de las plantas” (p. 6). Esto quiere decir que se debe sacar el peso total de los frutos de cada planta para obtener su rendimiento de producción.

2.2.9 Eficiencia en el uso del agua

Es un indicador de rendimiento que mide la relación entre la biomasa producida (en este caso, el rendimiento del cultivo) y la cantidad de agua utilizada para producirla. Este indicador es fundamental para evaluar la sostenibilidad de un sistema agrícola. No se limita a medir cuánta agua se consume, sino qué tan productivamente se utiliza. Según Hatfield y Dold (2019), mejorar la eficiencia en el uso del agua es un objetivo crítico a nivel mundial para poder satisfacer la creciente demanda de alimentos con recursos hídricos limitados. Para obtener el valor, Bwambale et al (2023) menciona que la eficiencia del uso del agua se expresa comúnmente en kilogramos de producto por metro cúbico de agua (kg/m^3). La cita quiere decir en este contexto la eficiencia se define como la producción de cultivo obtenida por cada unidad de agua aplicada.

2.3 MARCO REFERENCIAL

2.3.1 Estrés hídrico

“El estrés hídrico es una de las principales causas de muerte en plantas, ocurre cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces.” (Luna et al., 2012, p.1). En otras palabras, es la falta de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo. Según Seyar y Ahamed (2023), el estrés hídrico puede dañar permanentemente el crecimiento de las plantas al interrumpir el desarrollo de las raíces y los tallos, y al reducir el ancho y el número de hojas.

2.3.2 Invernadero

Un invernadero es una estructura cubierta con un material translúcido como el plástico diseñado para el cultivo de plantas bajo condiciones ambientales controladas. Su función principal es crear un microclima artificial que optimice el desarrollo de los cultivos, protegiéndolos de factores externos adversos. Según López (2016) las condiciones como cambios bruscos de temperatura y humedad se pueden controlar mejor en un invernadero; además, ese sistema permite la siembra en cualquier época del año y el producto es de mejor calidad que el obtenido en campo abierto. En el contexto de esta investigación, el invernadero es el entorno de control que permite aislar las variables, asegurando que las diferencias observadas en el cultivo de tomate se deban a la manipulación de los sistemas de riego y no a factores externos no controlados.

2.3.3 Riego por goteo

Según Liotta (2015) "Los sistemas de riego por goteo permiten conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicarla a los cultivos a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica." (p. 5). Este método asegura una aplicación eficiente y localizada del agua, optimizando su uso y favoreciendo el desarrollo de los cultivos. Los componentes del sistema según Liotta son los siguientes. Fuente de abastecimiento de agua, "su función es la de abastecer de agua en forma permanente al sistema." (Liotta, 2015, p.8). Cabezal principal, "sirve para proveer presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizantes, medir volúmenes y presiones, y controlar en forma manual o automática el funcionamiento del equipo." (Liotta, 2015, p.9). Tuberías de conducción son las que transportan el agua, aquí se tiene a las tuberías laterales de riego "Son las tuberías que se ubican dentro del cultivo a lo largo de la hilera de plantas. Normalmente son de 16 y 20 mm en función del caudal a distribuir y la longitud de riego." (Liotta, 2015, p.18) Cabezales de campo, "son los dispositivos instalados (...) que controlan la salida del agua." (Liotta, 2015, p.19), incluye a la válvula solenoide y a los goteros. En el gotero tipo vortex (de botón) "el agua después de atravesar un orificio, ingresa a una pequeña cámara en forma tangencial originando un movimiento en espiral que ocasiona una pérdida de carga y luego sale al exterior en forma de gota" (Liotta, 2015, p.20). Todas las partes previamente mencionadas son parte de un sistema de riego por goteo.

2.3.4 Tomate *Solanum lycopersicum*

En el manual técnico del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* por López (2016),

se detalla que el tomate pertenece a la familia *Solanaceae*. Es una planta dicotiledónea y herbácea perenne, que se cultiva en forma anual para el consumo de sus frutos. Su fruto es una baya bilocular o plurilocular, subesférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 g. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En estado inmaduro es verde y, cuando madura, es rojo. La altura de la planta puede alcanzar 1,5 m. El periodo vegetativo según el Ministerio del Ambiente, tras realizar un experimento en la sierra del distrito Cochabamba, departamento de Cajamarca, muestra:

- Desarrollo del semillero (germinación): 38 días (se hace almacigo para evitar enfermedades).
- Crecimiento vegetativo: 30 días.
- Floración: 23 días.
- Fructificación: 55 días.

2.3.5 Sensor

Un sensor es un dispositivo que tiene la capacidad de medir magnitudes físicas o químicas para convertirlas en magnitudes eléctricas, que pueden ser manejadas por una placa como Arduino (Peña, 2017). Existen dos tipos principales de sensores: los sensores digitales que “son aquellos capacitados para cambiar de estado de cero a uno o de uno a cero” (Peña, 2017, p. 202). y los sensores analógicos que “son capaces de diferenciar cualquier valor, por lo tanto, resultan adecuados para medir variables de instrumentación como temperatura, ph o luz, entre otras magnitudes” (Peña, 2017, p. 203). Para este estudio se usan sensores como sensor de humedad de suelo, sensor de temperatura de ambiente DHT11 y sensor de Flujo de Agua 1/2" YF-S201.

2.3.5.1 Sensor de humedad del suelo

Es un higrómetro diseñado para el control de la humedad en la tierra. Sus puntas han sido tratadas contra la corrosión para asegurar una vida útil prolongada. El módulo procesa la medición, proporcionando una salida analógica y digital, y es ideal para la creación de sistemas de riego automático con sensibilidad ajustable.

Figura 1
Sensor de humedad del suelo



Nota: De sensor de humedad de suelo resistente a la corrosión, por Intecx (2025).

Tabla 1
Especificaciones técnicas del sensor de humedad del suelo

Especificaciones técnicas	
Modelo	HD-38
Corriente de operación	< 20 mA
Corriente de salida	< 30 mA
Voltaje de alimentación	3,3-12VDC
Puerto de conexión:	Vcc, GND, DO, AO. DO es salida digital y AO es salida analógica.

Nota: De sensor de humedad de suelo resistente a la corrosión, por Intecx (2025).

2.3.5.2 Sensor de flujo de agua 1/2"

Es un sensor para medir el caudal volumétrico (volumen de un fluido por unidad de tiempo expresado en L/min o m³/h). Es un sensor electrónico tipo turbina compatible con plataformas como Arduino, diseñado para medir el flujo de agua y líquidos de baja viscosidad. Su funcionamiento se basa en que el líquido hace girar una turbina interna, la cual activa un sensor de efecto Hall aislado del fluido, emitiendo una serie de pulsos eléctricos proporcionales al caudal. Al contar estos pulsos por unidad de tiempo (frecuencia, Hz), se puede calcular el flujo utilizando una constante de conversión:

$$\text{Flujo del agua en L/min} = \frac{\text{Pulsaciones del sensor (Hz)}}{7,5}$$

Figura 2
Sensor de flujo de agua 1/2"



Nota: De sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201, por Naylampmechatronics (2025).

Tabla 2
Especificaciones técnicas del sensor de flujo de agua 1/2"

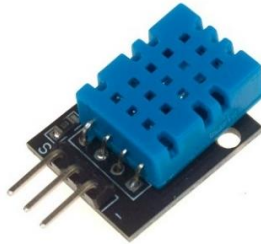
Especificaciones técnicas	
Modelo	YF-S201
Voltaje de operación	5V - 18V DC
Consumo de corriente	15mA (5V)
Capacidad de carga	10mA (5 VDC)
Salida	Onda cuadrada pulsante
Rango de Flujo	1-30L/min
Volumen promedio por pulso	2,25mL
Pulsos por litro	450
Factor de conversión	7,5
Rosca externa	1/2" NPS
Presión de trabajo máx	1,75MPa (17 bar)
Temperatura de funcionamiento	de -25°C a 80°C
Material	Plástico color negro

Nota: De sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201, por Naylampmechatronics (2025).

2.3.5.3 Sensor de temperatura de ambiente

Es un dispositivo digital diseñado para medir la temperatura (usando un termistor). Este sensor entrega una única señal digital a través de un solo pin de datos (protocolo "Single bus"), y es ideal para proyectos académicos de monitoreo ambiental y control automático con plataformas como Arduino. Solo requiere la conexión a alimentación (3-5 V), tierra y un pin digital del microcontrolador.

Figura 3
Sensor de temperatura de ambiente



Nota: De sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 con base KY-015, por Naylampmechatronics (2025).

Tabla 3
Especificaciones técnicas del sensor de temperatura de ambiente

Especificaciones técnicas	
Modelo	DHT11
Voltaje de Operación	3V - 5V DC
Rango de medición de temperatura	0 a 50 °C
Precisión de medición de temperatura	±2,0 °C
Resolución Temperatura	0,1°C
Rango de medición de humedad	20% a 90% RH.
Precisión de medición de humedad	5% RH.
Resolución Humedad	1% RH
Tiempo de sensado	1 seg.
Interface digital	Single-bus (bidireccional)
Resistencia Pull-up	10k ohm
Dimensiones	22*16*7 mm
Peso	2 gr.

Nota: De sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 con base KY-015, por Naylampmechatronics (2025).

2.3.6 Actuador

“Los actuadores son los elementos que convierten las señales eléctricas del equipo de control en acciones físicas sobre el proceso. (...). Los más utilizados en la

industria son aquellos que permiten regular el paso de fluidos por un conducto (...). (Sanchis et al., 2010, p.55). Tal es el caso de la válvula solenoide que permite regular el paso del agua a través del conducto.

2.3.6.1 Válvula solenoide 1/2"

La Válvula Solenoide de 1/2" a 12 VDC es un tipo de electroválvula que permite controlar el flujo de agua en tuberías domésticas. Su mecanismo consta de un solenoide (electroimán) que, al ser energizado, desplaza el diafragma y abre el paso del fluido, regresando a su posición cerrada mediante un resorte cuando se interrumpe la alimentación. Para controlar esta válvula mediante microcontroladores como Arduino es indispensable el uso de un driver de potencia como un relé, debido a que los requerimientos de corriente y voltaje de la válvula son superiores a los que el microcontrolador puede suministrar. Esta válvula es ideal para sistemas de automatización, incluyendo la integración con protocolos de comunicación inalámbrica (WiFi, RF) para control remoto.

Figura 4

Válvula solenoide 1/2"



Nota: De válvula solenoide 1/2" 12VDC (NC), por Naylampmechatronics (2025).

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la válvula solenoide 1/2"

Especificaciones técnicas	
Voltaje de operación	12V DC
Corriente de operación	0,6A
Potencia consumo	8W
Temperatura de funcionamiento	de 5°C a 60°C
Presión de funcionamiento mínima	0 MPa (0 Bar = 0 mca)
Presión de funcionamiento máximo	0,01 MPa (0,1 Bar = 1,02 mca)
Tiempo de respuesta	≤ 0,15 s

(apertura)	
Tiempo de respuesta	≤ 0,3 s
(cerrado)	
Conector tubería	Rosca externa 1/2" NPS Macho
Reposo	Normalmente cerrado
Tipo de válvula	Diafragma
Material cuerpo	Plástico ABS
Dimensiones	85*60*26 mm

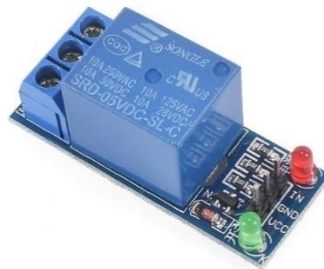
Nota: De válvula solenoide 1/2" 12VDC (NC), por Naylampmechatronics (2025).

2.3.6.2 Módulo Relay 1CH

Es un componente esencial para proyectos con microcontroladores (como Arduino) que necesitan controlar cargas de alto voltaje o alto amperaje (hasta 250 V/10 A), como bombas de agua, solenoides o luminarias. Este módulo, que utiliza un transistor para la activación en lugar de un optoacoplador, permite controlar estas cargas de manera segura con una señal lógica baja de 5 V. Su característica más notable es que la activación de su salida Normalmente Abierta (NO) ocurre con un "0" lógico (0 Voltios).

Figura 5

Módulo relay 1CH



Nota: De Módulo Relay 1CH 5VDC, por Naylampmechatronics (2025).

Tabla 5

Especificaciones técnicas del módulo relay 1CH

Especificaciones técnicas	
Voltaje de Operación	5V DC
Señal de Control	5V TTL (no trabaja con 3,3V)
Nº de Relays (canales)	1 CH
Capacidad máx	10A/250VAC, 10A/30VDC

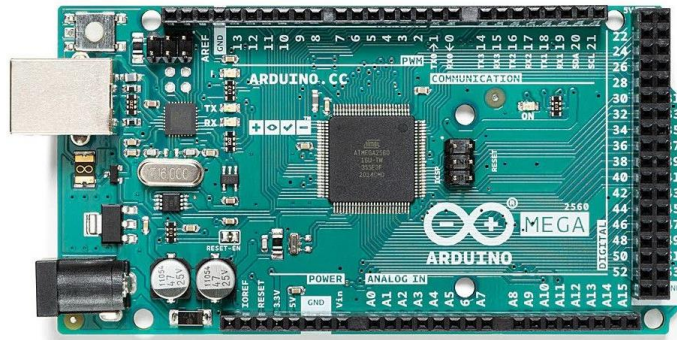
Corriente máx	10A (NO), 5A (NC)
Tiempo de acción	10 ms / 5 ms
Para activar salida NO	0 Voltios

Nota: De Módulo Relay 1CH 5VDC, por Naylampmechatronics (2025).

2.3.7 Microcontrolador

“Los microcontroladores son circuitos integrados programables que pueden ejecutar las tareas que han sido grabadas en su memoria. Dentro (...) encontramos (...) unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida” (Peña, 2017, p.23). La implementación de esta lógica de control se realiza a través de Arduino, que se define como “(...) una plataforma de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo” (Peña, 2017, p.28). Existe diversos modelos de placas, para este estudio se empleó el Arduino Mega 2560 R3 que, según Peña (2017), es un modelo que tiene un microcontrolador ATmega 2560 con 54 entradas/salidas digitales, 16 entradas/salidas analógicas y 256kb de memoria flash. En este contexto, el Arduino funciona leyendo datos del entorno mediante sensores, procesando esa información según las instrucciones de un programa previamente cargado, y luego tomando decisiones para controlar dispositivos externos o actuadores.

Figura 6
Arduino Mega 2560 REV3



Nota: De Arduino Mega 2560 REV3, por Naylampmechatronics (2025).

Tabla 6
Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 REV3

Especificaciones técnicas	
Microcontrolador	ATmega2560 (8-bit)
Chip USB	ATmega16U2
Conector USB	Tipo B

Voltaje de operación	5V DC
Voltaje de alimentación	6V - 20V DC(7-12V recomendado)
Pines digitales I/O	54 (15 salidas PWM)
Entradas analógicas	16 (ADC 10-bit)
Corriente entrada/salida por pin	40mA máx.
Memoria FLASH	256KB
Memoria SRAM	8KB
Memoria EEPROM	4KB
Frecuencia de reloj	16MHz
Procedencia	ITALIA (Arduinio INC)
Dimensiones	101,5*53,3 mm
Peso	37 gramos

Nota: De Arduino Mega 2560 REV3, por Naylampmechatronics (2025).

2.3.8 Shield

Es “(...) una placa electrónica que puede ser conectada encima de la plata Arduino, para extender sus capacidades” (Peña, 2017, p. 294). Los Shields están diseñados con pines que coinciden con los de la placa base, lo que permite apilarlos fácilmente. El Ethernet Shield “es adecuado para trabajar en proyectos de domótica como (...) conexión con servicios en la nube (...)” (Peña, 2017, p. 297). Esta placa es necesaria para enviar los datos a plataformas IoT como ThingSpeak.

Figura 7

Shield Ethernet W5100



Nota: De Shield Ethernet W5100, por Naylampmechatronics (2025).

Tabla 7

Especificaciones técnicas del Shield Ethernet W5100

Especificaciones técnicas		
Voltaje de operación		5V DC
Chip controlador	Wiznet	W5100

Ethernet	
Memoria Buffer TX/RX	16KB
Ancho de banda	10Mbps/100Mbps (Half o Full Duplex)
Soporte en hardware del Stack TCP/IP	TCP, UDP, IPv4, ICMP, ARP, IGMP, PPPoE
Cristal	25MHz
Conector	RJ45 HR911105A con transformadores de aislación incorporados
Leds	TX,RX,COLL.FULLD,100M,LINK,PWR,L(PIN 13)
Dimensiones	70*54*24 mm
Peso	27 gramos
Compatibilidad	Arduino Uno, Mega, Leonardo

Nota: De Shield Ethernet W5100, por Naylampmechatronics (2025).

2.3.9 Plataforma IoT

Las plataformas permiten la comunicación entre dispositivos sin necesidad de intervención humana. “Los productos de plataforma de IoT suelen proporcionar conectividad de datos básica de MQTT y HTTPS. También te permiten aprovisionar dispositivos y proporcionan autenticación y administración, almacenamiento y visualización de métricas, procesamiento de datos y alertas.” (Google Cloud, 2024). Estas plataformas facilitan el monitoreo y registro de los datos a los cuales se puede acceder desde cualquier dispositivo.

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 Hipótesis general

El sistema de control de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*, 2025.

2.4.2 Hipótesis específica

- El sistema de control de riego por goteo manual influye en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.
- El sistema de control de riego por goteo automatizado influye en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación experimental es “un estudio de investigación en el que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (...), dentro de una situación de control para el investigador” (Carrasco, p.60, 2005). Por esa razón, el presente estudio es experimental, porque se manipulará deliberadamente la variable independiente (el sistema de control de riego por goteo), al implementar y comparar un método manual frente a uno automatizado. Esta manipulación se realiza para analizar sus consecuencias directas sobre las variables dependientes (altura de la planta, cantidad de flores, cantidad de frutos, rendimiento de producción y eficiencia hídrica), todo dentro de la situación de control que proporciona el invernadero, permitiendo aislar el efecto estudiado.

Según Supo (2012), la planificación de la toma de datos prospectivo, es cuando los datos necesarios para el estudio son recogidos a propósito para la investigación. Por lo que, posee control del sesgo de medición. Los datos de altura de la planta, cantidad de flores, cantidad de frutos, rendimiento de producción y eficiencia en el uso del agua en el cultivo del tomate son recolectados posterior a cultivar dentro de los sistemas de control de riego por goteo, entonces el tipo es prospectivo.

Según Supo (2012), la toma de datos de tipo longitudinal es cuando la variable de estudio es medida en dos o más ocasiones. El registro de altura de la planta, cantidad de flores, cantidad de frutos, rendimiento de producción y eficiencia en el

uso del agua en el cultivo del tomate se captura cada semana para registrar su desarrollo, por esto, el tipo es longitudinal.

Según Supo (2012), de acuerdo al número de variables analíticas, el estudio es analítico cuando “El análisis estadístico por lo menos es bivariado; porque plantea y pone a prueba hipótesis, su nivel más básico establece la asociación entre factores”. En el estudio se tiene dos variables; sistema de control riego por goteo y cultivo de tomate, siendo bivariado y considerando su hipótesis, por estas consideraciones el estudio es analítico.

3.1.2 Nivel de investigación

En una investigación explicativa se busca determinar las causas de los eventos; específicamente, explica por qué ocurre un fenómeno, y en qué condiciones se da este y porqué dos o más variables están relacionadas (Hernández et al., 2014). La causa son dos sistemas de control de riego por goteo, donde el efecto es el cultivo del tomate, entonces el nivel es explicativo. La investigación busca explicar cuál de los sistemas de control de riego por goteo, manual y automatizado, influye más en la altura de la planta, cantidad de flores, cantidad de frutos, rendimiento de producción y eficiencia en el uso del agua.

3.1.3 Enfoque de estudio:

El enfoque cuantitativo es secuencial, riguroso y probatorio. Parte de una idea que se delimita dando origen a los objetivos y preguntas de investigación. Esto lleva a la revisión de la literatura y a la construcción de la perspectiva teórica. Posteriormente, se establecen las hipótesis y las variables, se traza el plan de prueba, se miden las variables, se analizan los datos con métodos estadísticos, y finalmente, se extraen las conclusiones respecto a las hipótesis (Hernández et al., 2014). El presente estudio se fundamenta en un enfoque cuantitativo, dado que se centra en la medición numérica y el análisis estadístico para determinar de qué manera influye un sistema de control de riego sobre el cultivo del tomate. Concretamente, se recolectarán datos objetivos y medibles para todas las variables dependientes, tales como la altura de la planta (cm), el conteo de flores y frutos (unidades), el rendimiento de la cosecha (gr) y la eficiencia en el uso del agua (gr/cm³).

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño del estudio es experimental, prospectivo y longitudinal. El estudio consiste en comparar dos grupos de tratamiento en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*: un grupo control con un sistema de riego por goteo operado manualmente por el investigador y un grupo experimental gestionado por un sistema de riego por goteo automatizado. Para evaluar la influencia de cada sistema, se realizarán mediciones semanales de las siguientes variables: altura de la planta, cantidad de flores, número de frutos, rendimiento final de la producción y eficiencia del uso del agua. El análisis comparativo de estos datos permitirá determinar la existencia de diferencias significativas atribuibles entre los dos tipos de sistema de control de riego empleado.

3.3 VARIABLES

3.3.1 Definición conceptual de variables

Variable independiente

Sistema de control de riego por goteo: Se define como el método utilizado para decidir cuándo y cuánta agua aplicar al cultivo a través de un sistema de goteo.

Dimensiones

Sistema de riego por goteo manual: Es un método donde la decisión de cuándo y cuánto regar depende completamente del juicio y la acción directa del agricultor.

Sistema de riego por goteo automatizado: Es un método que utiliza una programación, sensores y controlador para gestionar el riego de forma autónoma basándose en datos en tiempo real.

Variable dependiente

Cultivo del tomate: Corresponde al conjunto de respuestas fisiológicas cuantificables de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum*) que se observan y miden para determinar el efecto del sistema de riego aplicado.

Dimensiones

Altura de la planta: Es la medida vertical del tallo principal desde la base del tallo hasta la hoja más alta, utilizada como indicador del crecimiento vegetativo.

Cantidad de flores: Es el recuento total de flores abiertas en la planta, sirviendo como un indicador directo de su productividad.

Cantidad de frutos: Es el número total de frutos que ha producido la planta, sirviendo como un indicador directo de su productividad.

Rendimiento de producción: Es el peso total de los frutos de cada planta, que cuantifica la producción final influenciada por el método de riego.

Eficiencia en el uso del agua: Mide la productividad del uso del agua relacionando el peso total de los frutos por planta con la cantidad de agua aplicada en dicha planta.

3.3.2 Definición operacional de variables

Variable causa

Sistema de control de riego por goteo.

Dimensiones

Sistema de riego por goteo manual: Valores empíricos del umbral de humedad del suelo en porcentaje.

Sistema de riego por goteo automatizado: Valores del umbral de humedad del suelo en porcentaje.

Variable efecto

Cultivo del tomate.

Dimensiones

Altura de la planta: se expresa en centímetros.

Cantidad de flores: se expresa en cantidad numérica.

Cantidad de frutos: se expresa en cantidad numérica.

Rendimiento de producción: se expresa en peso total de los frutos por planta (gr/planta).

Eficiencia en el uso del agua: se expresa en peso total de los frutos de la planta por centímetro cubico de agua (gr/cm³).

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 Población

Para Miranda et al. (2016) “la población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados” (p.2). Es necesario aclarar que cuando se habla de población de estudio, el término no se refiere exclusivamente a seres humanos, sino que también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc. En esta investigación, la población en estudio fue constituida por 20 plantaciones de tomate *Solanum lycopersicum*.

3.4.2 Muestra

La muestra es un subgrupo de la población. Existen pocas veces donde es posible medir a toda la población, por lo que se aplican procedimientos probabilísticos para obtener una muestra representativa de una población. (Hernández et al., 2014). Precisamente en esta investigación se mide toda la población, quiere decir un censo, puesto que se emplearon las 20 plantaciones de tomate *Solanum lycopersicum*, 10 plantaciones para riego por goteo manual y 10 para riego por goteo automatizado.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 8

Operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Instrumentos
Variable independiente: Sistema de control de riego por goteo.	Se define como el método utilizado para decidir cuándo y cuánta agua aplicar al cultivo a través de un sistema de goteo.	Sistema de riego por goteo manual.	Valores empíricos del umbral de humedad del suelo en porcentaje.	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) considerados por el agricultor?	Ficha observacional
Variable dependiente: Cultivo del tomate.	Corresponde al conjunto de respuestas fisiológicas cuantificables	Altura de la planta.	Altura en centímetros.	¿Cuál es la longitud vertical (en cm) desde la base del tallo	Ficha observacional
		Sistema de riego por goteo automatizado.	Valores del umbral de humedad del suelo en porcentaje.	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) a configurar en el controlador?	Análisis documental Ficha observacional

de la planta de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) que se observan y miden para determinar el efecto del sistema de riego aplicado.	Cantidad de flores.	Número de flores.	¿Cuál es el número total de flores abiertas contadas en la planta?	Ficha observacional
	Cantidad de frutos.	Número de frutos.	¿Cuál es el número total de frutos contados en la planta?	Ficha observacional
	Rendimiento de producción.	Peso total de los frutos por planta (gr/planta).	¿Cuál es el peso total (en gr) de todos los frutos cosechados de cada planta?	Ficha observacional
	Eficiencia en el uso del agua.	Peso total de los frutos de la planta por centímetro cubico de agua. (gr/cm ³)	¿Cuál es el volumen total de agua (cm ³) aplicada en la planta? ¿Cuál es el valor resultante de dividir el peso total (gr) de los frutos por planta entre el volumen de agua (cm ³) aplicada en dicha planta?	Ficha observacional

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1 Técnicas

“Una técnica de investigación, es un procedimiento sistemático utilizado para recopilar y analizar información con el fin de resolver un problema o responder a una pregunta de investigación. Hay diferentes técnicas de investigación, tales como encuestas, entrevistas, observación (...).” (Medina et al., 2023, p.13). En este caso, la técnica principal empleada fue la observación y medición cuantitativa, aplicada de manera longitudinal a lo largo del ciclo del cultivo. Este procedimiento consistió en el registro periódico y estandarizado de los indicadores de crecimiento, desarrollo y producción. Semanalmente, se aplicó las técnicas de medición para determinar la altura de las plantas, el conteo para cuantificar el número de flores y frutos, y el monitoreo para registrar el volumen de agua utilizado en cada sistema de riego. Y continuamente se registró la humedad del suelo con un sensor para determinar el umbral de humedad en porcentaje en cada sistema de control. Además, continuamente se registró la temperatura del ambiente para conocer las condiciones ambientales en las que se desarrollan los tomates. Al finalizar el experimento, se empleó la técnica de pesaje para determinar el rendimiento de la cosecha por planta. Finalmente, se utilizó una fórmula para determinar la eficiencia en el uso del agua, relacionando el rendimiento obtenido con el consumo hídrico.

3.6.2 Instrumentos

“Un instrumento de investigación es una herramienta específica utilizada para recopilar y analizar información (...). Estos instrumentos pueden incluir fichas de cotejo, cuestionarios, (...). Los instrumentos de investigación ayudan a los investigadores a obtener información precisa y confiable (...).” (Medina et al., 2023, p.13). En este caso se utilizó la ficha de registro de datos, diseñada para consignar de manera ordenada todas las mediciones semanales. Para la recolección de datos específicos se empleó una cinta métrica para la altura, una balanza de precisión digital para el peso de los frutos cosechados, un sensor de temperatura de ambiente, un sensor de flujo de agua para medir el volumen exacto de agua suministrado a cada grupo y un sensor de humedad de suelo para determinar el umbral de humedad en porcentaje. Adicionalmente, se utilizó una hoja de cálculo en Excel como instrumento para el registro y cálculo de la eficiencia hídrica, consolidando así toda la información recopilada.

3.6.3 Validez del instrumento

“La validez (...) se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir. (...) la validez de expertos (...) se refiere al grado en que un instrumento mide la variable, de acuerdo con ‘voces calificadas’.” (Hernández et al., 2014, p.200-204). La validez de los instrumentos de esta investigación se garantizó de la siguiente manera:

Validez de los instrumentos físicos: Se utilizó instrumentos estandarizados y calibrados para la recolección de datos. Se empleó una balanza digital (precisión de $\pm 0,01$ gr), una cinta métrica estándar (cm) para la altura de la planta cuya validez está garantizada por el fabricante y su conformidad con los sistemas de medición estandarizados. También se usó un sensor de flujo de agua donde se realizó un procedimiento de calibración, se comparó el volumen registrado por el sensor contra un volumen de referencia medido con una probeta de 250ml. De manera similar se calibró el sensor de humedad de suelo, comparando el porcentaje de humedad registrada por el sensor contra los resultados emitidos por el laboratorio Agrolab. De igual manera se calibró el sensor de temperatura de ambiente DHT11 comparando los grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) registrada por el sensor contra los resultados emitidos por el medidor digital de temperatura ($\pm 1^{\circ}\text{C}$). Este proceso se repitió cinco veces para los sensores de flujo de agua y sensor de temperatura, y tres veces para los sensores de humedad de suelo, para establecer una función de corrección asegurando que los datos recopilados por ambos tipos de sensores fueran precisos y fiables.

Validez de contenido de la ficha de observación: Para asegurar que la ficha de observación contenga todos los indicadores necesarios para responder a los objetivos del estudio, el diseño de estos instrumentos fue evaluado por cinco expertos del área, quienes dictaminaron una aceptable validez en cuanto a la pertinencia y claridad de todos los ítems. Del anexo 2 al anexo 6 se muestran las evaluaciones de validez del instrumento por los jueces y el anexo 7 se muestra el cálculo de la V de Aiken.

3.6.4 Confiabilidad de instrumento

“La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales.” (p.200). La confiabilidad de los datos recolectados se aseguró a través de la estandarización del procedimiento de medición, los cuales se listan a continuación:

Único Observador: Todas las mediciones de altura, conteo de flores, frutos y pesaje fueron realizados por el mismo investigador.

Medición: Para la humedad del suelo, lo capturó el sensor de humedad debidamente calibrado. Para la altura, se midió desde la base del tallo hasta la hoja más alta. Para el pesaje, se utilizó siempre la misma balanza y se registró el peso inmediatamente después de la cosecha de cada planta. Para la temperatura de ambiente, lo capturó el sensor de temperatura DHT11. Para el volumen de agua, lo capturó el sensor de flujo de agua debidamente calibrado.

Condiciones constantes: Las mediciones se realizaron los sábados de cada semana a las 8:00 a.m.

Coefficiente de correlación intraclase: Para establecer la confiabilidad de la ficha de registro observacional, se aplicó un método de Confiabilidad Inter-Observador. “El concepto de confiabilidad está estrechamente relacionado con el de reproducibilidad de la evaluación, es decir, si un mismo observador realiza una medición en diferentes momentos (confiabilidad intraobservador) o si varios observadores la realizan simultáneamente (confiabilidad interobservador, IOR).” (Giammarino et al., 2021, p.2). Para esta investigación, esta prueba involucró a dos observadores quienes, de forma independiente, midieron una muestra de 10 plantas en momentos clave de su desarrollo: la altura de la planta se registró el 14 de junio, el conteo de flores el 23 de agosto, el conteo de frutos el 13 de setiembre y el pesaje de frutos se realizó el 25 de octubre. Los datos recolectados se analizaron estadísticamente para obtener el Coeficiente de Correlación Interclase (CCI). “El coeficiente de correlación intraclase permite medir la concordancia general entre dos o más mediciones que implican variables de carácter cuantitativo, obtenidas estas con diferentes instrumentos de medida o evaluadores.” (Martínez y Pérez, 2022). Dado que en el experimento las mediciones fueron realizadas por un único investigador, se reportan los valores de medidas únicas obteniendo los siguientes resultados: altura (CCI = 0,929, anexo 8), conteo de flores (CCI = 0,988, anexo 9), conteo de frutos (CCI = 0,980, anexo 10) y peso de frutos (CCI=1,000, anexo 11), todos los cuales indican una confiabilidad de nivel excelente al ser mayor que 0,7. Es importante precisar que esta prueba de confiabilidad no se aplicó a las variables de humedad del suelo ni de volumen de agua, ya que estas no dependen del juicio del observador, sino que son registradas por sensores calibrados cuya precisión se demuestra en la sección desarrollo del sistema de control.

3.7 PROCEDIMIENTOS

3.7.1 Estrategia de prueba de hipótesis

Para el contraste de hipótesis se empleará la prueba t-Student de comparación de muestras independientes (prueba paramétrica) y la prueba U de Mann-Whitney (prueba no paramétrica) en función de los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk que es eficiente para muestras pequeñas (≤ 50 elementos), partiendo de:

H0: El sistema de riego por goteo automatizado no influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

H1: El sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.
Significancia establecida o α : 0,05 (5%).

Decisión: se comprueba H0 si la Sig de la prueba es mayor o igual a α ; es decir, si Sig. $\geq 0,05$.

3.7.2 Técnicas de procesamiento de datos

3.7.2.1 Técnicas para procesamiento de datos

El procesamiento de los datos, desde su recolección en las fichas de registro hasta su preparación para el análisis, siguió la siguiente secuencia:

Los datos registrados manualmente en las fichas de campo (altura, peso de cosecha, conteo de flores y frutos) fueron transcritos a una hoja de cálculo en Microsoft Excel. Además, se descargó los datos de temperatura ambiental, humedad de suelo y consumo de agua de ambos sistemas de control de riego de la plataforma ThingSpeak y se pasó al formato Excel. Los datos de altura, conteo de flores y frutos se estructuró de manera que cada fila represente una unidad experimental en un punto específico en el tiempo (semanal), y cada columna representa una de las variables medidas. El peso de producción y volumen de agua se representaron en filas, y cada columna se representó una planta.

Se realizó una revisión exhaustiva de la base de datos para identificar y corregir posibles errores de digitación, valores atípicos o datos faltantes.

Se procedió a sacar el promedio de altura, conteo de flores y frutos de todas las plantas, estos datos fueron analizados. Luego, se procedió a obtener el rendimiento de producción mediante la siguiente fórmula propuesta por Bwambale et al. (2023):

$$\text{Rendimiento de producción} \left(\frac{\text{gr}}{\text{planta}} \right) = \sum_{i=1}^n w_i$$

w_i : peso del fruto individual i (gr)

n : número total de frutos en la planta

De la misma forma se procedió a obtener la eficiencia del consumo de agua mediante la siguiente fórmula propuesta por Bwambale et al. (2023):

$$\text{Eficiencia del uso del agua} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{VA}$$

w_i : peso del fruto individual i (gr)

n : número total de frutos en la planta

VA : volumen total de agua consumida por la planta (cm^3)

Finalmente, la base de datos limpia y completa fue importada al software estadístico IBM SPSS Statistics para su análisis inferencial. En la tabla 9 se muestran las herramientas a utilizar.

Tabla 9
Herramientas de procesamiento de datos

Software	Fabricante	Servicio
Arduino IDE	Arduino	Se usó para escribir, compilar y cargar programas en la placa Arduino Mega. También se usó el monitor serial para enviar y recibir datos de la placa.
ThingSpeak	MathWorks	Es una plataforma gratuita de análisis de IoT que permitió agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube; permitió enviar datos a ThingSpeak desde dispositivos como Arduino.
Microsoft Excel	Microsoft	Se utilizó para la digitalización, organización, depuración inicial de los datos y el cálculo de la variable derivada (rendimiento y eficiencia). Permitted generar tablas y gráficos descriptivos.
IBM SPSS Statistics	IBM	Es el software principal que se empleó para el análisis estadístico. Facilitó la gestión de la base de datos y la ejecución de pruebas inferenciales complejas para el contraste de hipótesis.

Nota. Tecnologías usadas para procesar la información y los datos.

3.7.2.2 Técnicas para análisis de datos

Para analizar los resultados entre los dos grupos de riego y tomar una decisión sobre las hipótesis planteadas, se utilizó la Prueba t de Student y la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes. Esta prueba estadística fue la adecuada para comparar las medias de dos grupos distintos y determinar si la diferencia observada es estadísticamente significativa. Se aplicó esta prueba para cada una de las variables dependientes. La decisión de aceptar la hipótesis alterna (H_a) o la hipótesis nula (H_0) se basó en el valor p (p-valor) obtenido, utilizando un nivel de significancia (α) de 0,05.

3.7.3 Diseño estadístico

La normalidad se evaluó con Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$), aplicando T de Student si $p \geq 0,05$ y U de Mann-Whitney si $p < 0,05$. La H_0 indicó que el riego por goteo automatizado no influye significativamente más que el manual en el cultivo del tomate, y la H_1 que sí influye. La decisión se basó en el valor de p (H_0 si $p \geq 0,05$; H_1 si $p < 0,05$) para contrastar altura, flores, frutos, rendimiento y eficiencia hídrica.

3.7.4 Análisis e interpretación de datos

Los datos fueron analizados e interpretados empleando el software estadístico SPSS v.28.0 con el empleo de estadísticas descriptivas (promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) y estadísticas inferenciales (pruebas de comparación de media en grupo independientes) que se presentaron en tablas y figuras.

3.8 DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

3.8.1 Metodología:

La metodología general desde recopilación de información del área experimental hasta la instalación y funcionamiento de los sistemas se basó en los procedimientos descritos por Loayza (2025) y Ludeña (2022). Los pasos posteriores fueron agregados debido a las características específicas de la presente investigación. La experimentación del presente trabajo fue de 20 semanas, desde el 07 de junio del 2025 hasta el 25 de octubre del 2025, para lo cual se siguió las siguientes etapas:

- Recopilación de información del área experimental: Se describe la ubicación y el invernadero donde se experimentó. Además, se obtiene los resultados de las tomas de muestra de la tierra y el agua.

- Diseño de hardware: Selección y diseño de conexión de sensores, actuadores y demás materiales para la automatización del sistema de riego por goteo del invernadero.
- Calibración: Ajustes de los sensores para una correcta lectura.
- Desarrollo de Software: Desarrollo de diagramas de flujo y código en Arduino IDE de los sensores y actuadores.
- Integración con Plataforma IoT ThingSpeak: Monitorear en tiempo real el sistema de control de riego por goteo del invernadero y almacenamiento de los datos emitidos por los sensores.
- Instalación de los sistemas de control de riego: Implementación de sensores, actuadores y demás materiales para instalar el sistema de control de riego por goteo en el invernadero.
- Cultivo del tomate: Se muestra el proceso del cultivo con la guía del agricultor.
- Recolección de datos en la ficha de registros: Se registra durante el ciclo de vida del tomate su altura, conteo de flores y frutos; y en la fase de cosecha se realiza el pesaje para completar con la recolección de datos.
- Análisis estadístico de los datos recopilados.

3.8.2 Recopilación de información del área experimental

3.8.2.1 Ubicación

El invernadero está ubicado en la ciudad, provincia, distrito de Huanta, departamento de Ayacucho; sus coordenadas son latitud $12^{\circ} 56' 24,31536''$, longitud $74^{\circ} 14' 24,927''$, altitud 2671 m.s.n.m:

Figura 8

Ubicación del invernadero



Fuente: Google Earth, 2025.

3.8.2.2 Sistema de riego en el invernadero

El experimento se realizó en un invernadero que contaba con un sistema de riego preinstalado, el cual fue aprovechado para el estudio. El invernadero está compuesto por:

Figura 9

Reservorios de agua.



La fuente de agua empleado en la experimentación, ilustrado en la Figura 9, consta de un mecanismo de doble depósito compuesto por dos contenedores de 20 litros cada uno. Esto se diseñó para separar y comparar los métodos de riego manual y automatizado.

Figura 10

Cabezales de riego



En la figura 10 se muestra el cabezal de riego usado para controlar la salida del agua. En el caso del control de riego automatizado, el cabezal permanece abierto. Por otra parte, en el control de riego manual, el cabezal permanece cerrado y únicamente se abre cuando el agricultor riega el cultivo.

Figura 11

Toma interna del invernadero



Figura 12

Toma externa del invernadero



En la figura 11 y 12 se muestra el área de riego del invernadero donde se realizó el experimento que tiene 1,50 m de ancho y 4 m de largo, lo cual hace un área de 6 m². El agua que sale del reservorio es conducida por las mangueras y expulsados por los goteros.

3.8.2.3 Toma de muestras del área experimental

Se realizó un análisis físico químico tanto del agua para regar como del suelo donde se cultiva los tomates. Respecto al análisis de agua, se tomó una muestra del río Tablachaca y los resultados de laboratorio AGROLAB calificaron el recurso

como C2-S1, cuya interpretación es que el agua es apta para el riego de cultivos. Los resultados completos de laboratorio se muestran en el anexo 12. Respecto al análisis de suelo, los resultados de laboratorio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 10

Resultados de análisis físico del suelo

N° Laboratorio	AS 112013
N° Campo	Huanta
Capacidad de campo (%)	29,75
Punto de marchites (%)	16,79
Densidad aparente (g.cc ⁻¹)	1,20
Arena (%)	46
Limo (%)	28
Arcilla (%)	26
Clase Textural	Franco Arcillo Arenoso

Nota: Resultados de AGROLAB (2025).

Tabla 11

Resultados de análisis de humedad del suelo

N° Laboratorio	AS 112018	AS 112019	AS 112020
N° Campo	S-01	S-02	S-03
Humedad actual (%)	13,07	21,35	4,37

Nota: Resultados de AGROLAB (2025).

Se recolectaron un total de cuatro muestras de suelo. Una de ellas se utilizó para el análisis físico obteniéndose una capacidad de campo de 29,75% y un punto de marchitez de 16,79%, datos presentados en la Tabla 10. Las otras tres muestras se utilizaron para determinar el porcentaje de humedad del suelo, registrando valores de 13,07%, 21,35% y 4,37%, respectivamente, tal como se detalla en la Tabla 11. Estos datos fueron fundamentales para calibrar los sensores de humedad, el procedimiento consistió en tomar la lectura de los sensores antes de enviar las muestras al laboratorio, para posteriormente ajustar los sensores basándose en los resultados confirmados. Los resultados completos de laboratorio se muestran en el anexo 13 y anexo 14.

3.8.2.4 Prueba de coeficiencia de uniformidad

La prueba del coeficiente de uniformidad (CU) de J. E. Christiansen es esencial para determinar la eficiencia de distribución del sistema de riego. Este coeficiente cuantifica el grado de homogeneidad en la aplicación del volumen de agua sobre la

superficie del suelo. En este proyecto, la validación de la uniformidad de riego es fundamental, ya que justifica la representatividad de la medición. Es decir, un alto CU asegura que la humedad capturada por el sensor de suelo será consistente independientemente de su punto de inserción, garantizando así que las lecturas del sensor de humedad sean fiables y generalizables para toda la zona de estudio. Para ello se usa la fórmula de J.E. Christiansen:

$$CU = 100 * \left(1 - \frac{\sum_i^n |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right)$$

Donde:

CU: Coeficiente de Uniformidad en %

n: Números de puntos de control

\bar{X} : promedio de todos los datos (ml)

X_i : cantidad de gotas en cada punto de control (ml)

Control de riego automatizado

Hora inicio: 07:36 am

Hora fin: 7:40 am

Tabla 12

Datos recolectados del CU de riego automatizado

Recipiente	Cantidad (ml)	$ X_i - \bar{X} $
1	125	15,8
2	116	6,8
3	104	5,2
4	110	0,8
5	129	19,8
6	93	16,2
7	98	11,2
8	114	4,8
9	96	13,2
10	107	2,2
Promedio	109,2	96,0

$$CU = 100 * \left(1 - \frac{96}{10 * 109,2} \right) = 91,2\%$$

Control de riego manual

Hora inicio: 08:21 am

Hora fin: 08:25 am

Tabla 13

Datos recolectados del CU de riego manual

Recipiente	Cantidad (ml)	$ X_i - \bar{X} $
1	90	18,8
2	128	19,2
3	99	9,8
4	116	7,2
5	107	1,8
6	126	17,2
7	101	7,8
8	113	4,2
9	115	6,2
10	93	15,8
Promedio	108,8	108,0

$$CU = 100 * \left(1 - \frac{108}{10 * 108,8}\right) = 90,1\%$$

Los resultados del CU demuestran que la instalación y distribución de agua son adecuados para ambos sistemas, con un 90,1% para el manual y un 91,2% para el automatizado. Un CU superior al 90% confirma que la instalación física de ambos sistemas distribuye el agua de manera homogénea.

3.8.3 Diseño de hardware

La implementación de los sistemas de control de riego, tanto el manual como el automatizado, requirió una selección cuidadosa de componentes para garantizar la funcionalidad, precisión y asequibilidad del proyecto. El diseño se centró en crear un sistema que sea automatizado y que pueda monitorear. La elección de los modelos de sensores y actuadores, que se detallan a continuación, se basó en un equilibrio entre la precisión de sus mediciones, su durabilidad en condiciones de invernadero y su accesibilidad económica.

- 02 sensores de humedad del suelo (Modelo HD-38).
- 02 sensores de flujo de agua 1/2" YF-S201.
- 01 sensor de temperatura de ambiente DHT11.
- 01 válvula solenoide 1/2"12VDC

- 01 módulo relay 1CH 5VDC
- 01 arduino mega 2560 REV3
- 01 shield ethernet W5100
- Cable Dupont macho macho
- Cable Dupont hembra hembra
- Cable internet Red UTP Cat. 5e
- 01 protoboard Transparente de 830 Puntos.
- 01 router modem con chip.
- 02 cargadores de 5V de salida.
- 02 cargadores de 12V de salida.

Figura 13

Arquitectura del sistema de control de riego completo

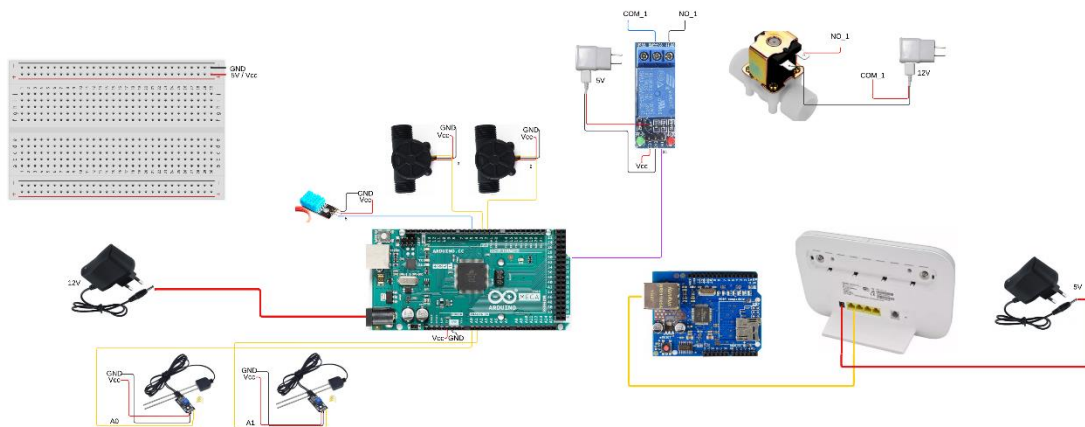


Figura 14

Arquitectura del sistema de control de riego automatizado

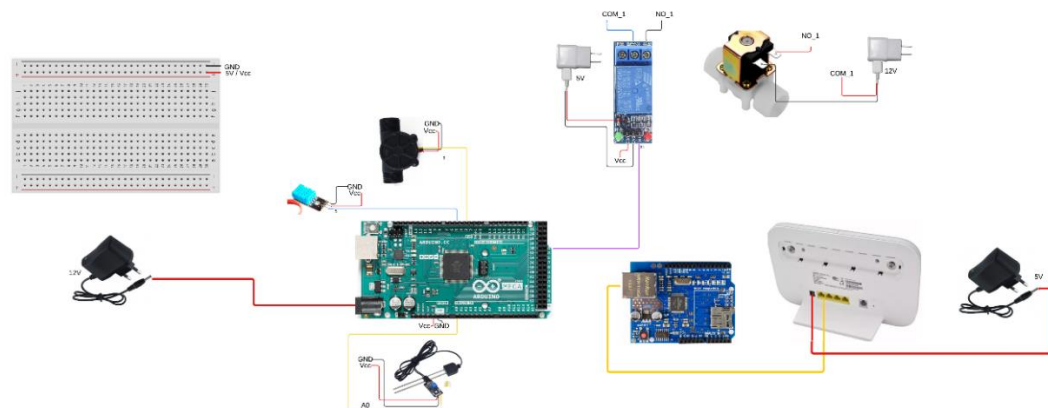
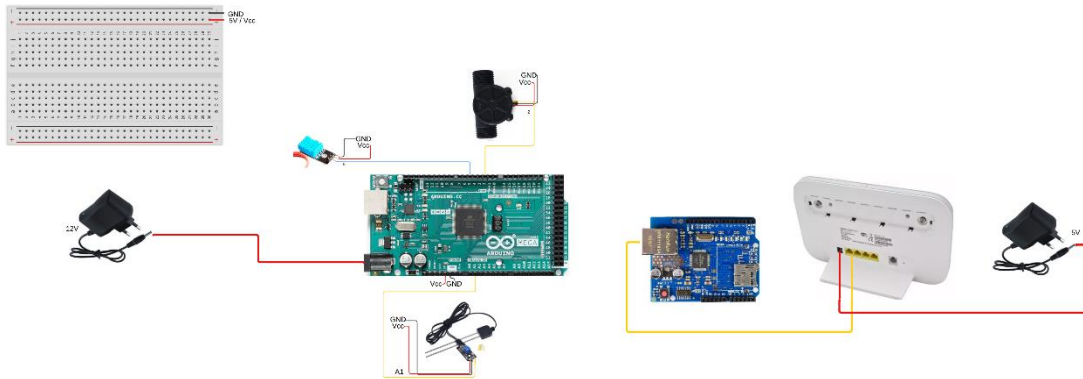


Figura 15

Arquitectura del sistema de control de riego manual



La Figura 13 presenta una vista integral de ambos sistemas de control de riego. Para facilitar el análisis, se desglosan individualmente: el sistema de control automatizado en la figura 14 y el sistema de control manual en la figura 15. Esta distinción visual tiene el propósito de demostrar que, pese a compartir ciertos componentes de hardware, la recolección de datos de humedad de suelo y volumen de agua en cada sistema se ejecuta de manera totalmente independiente puesto que tienen sus propios sensores.

3.8.4 Calibración

3.8.4.1 Sensor de humedad de suelo

Para calibrar se aplicó lo que se menciona a continuación:

Se recolectaron muestras de suelo y se colocaron en varios recipientes pequeños con diferentes porcentajes de humedad, desde condiciones secas hasta saturadas. Las lecturas de cada sensor se registraron por separado y, finalmente, se compararon los sensores capacitivos de humedad del suelo con otros sensores de contenido de humedad. Mediante regresión, se determinaron la correlación y el coeficiente de cada sensor capacitivo. Estos coeficientes se utilizaron en la programación para leer los datos del sensor y ajustarlos según corresponda. (Seyar y Ahamed, 2023, p.4).

Se aplicó de manera similar en esta investigación, con diferencia que el instrumento fiable a comparar fueron los resultados del laboratorio AGROLAB, similar a lo realizado por Loayza (2025).

Figura 16

Recolección de datos para ajustar las lecturas del sensor de humedad de suelo



El sensor de humedad se instaló a 10 cm de profundidad, como se muestra en la figura 16, con el fin de obtener lecturas directas en porcentaje de humedad. Este procedimiento se validó mediante la recolección de muestras de suelo, las cuales fueron analizadas en laboratorio para determinar su humedad real y establecer la curva de corrección del sensor. Las lecturas del sensor fueron capturadas en el monitor serial del Arduino IDE. Cabe recalcar que la calibración se hizo para ambos sensores de humedad.

Figura 17

Calibración del sensor de humedad de suelo para control automatizado

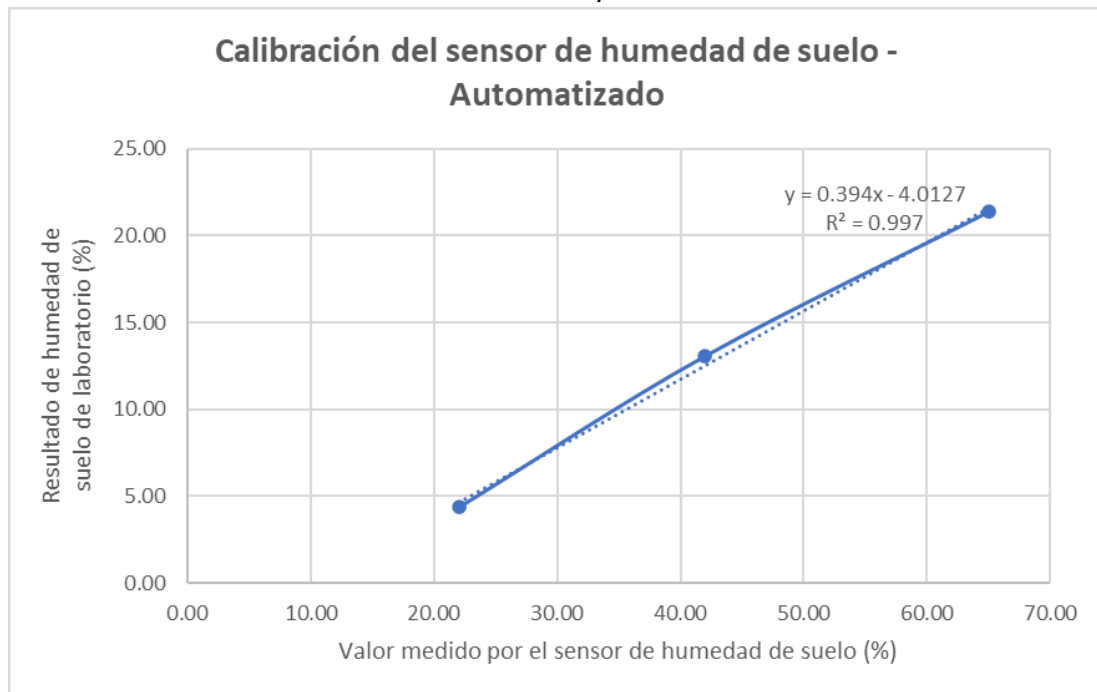
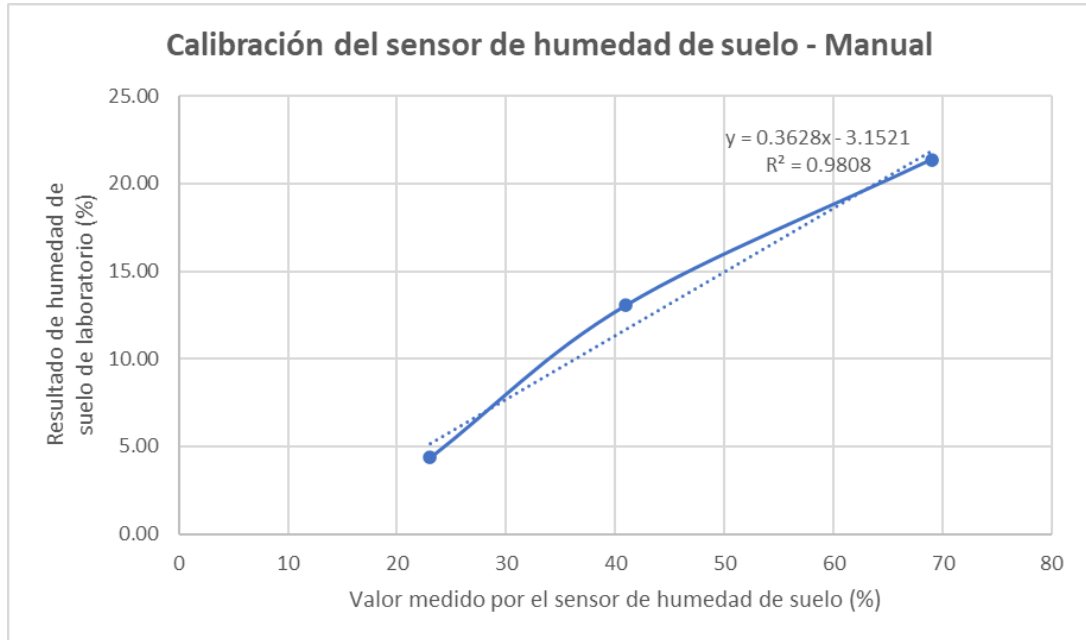


Figura 18

Calibración del sensor de humedad de suelo para control manual



La regresión simple se realizó entre los valores medidos y los valores de referencia. En ambos casos arrojó un alto coeficiente de determinación (R^2), 0,997 para el automatizado (figura 17) y 0,9808 (figura 18) para el manual. Esto valida la calibración, confirmando que la relación entre la lectura del sensor y la magnitud real es lineal y muy fuerte.

3.8.4.2 Sensor de flujo de agua

Para realizar la calibración del sensor de flujo de agua se aplicó lo mencionado por Pereira, Chaari y Daroge, (2023): “Para calibrar el sensor, vertimos una cantidad conocida de agua a través del medidor de flujo y comprobamos si el sensor podía calcular la cantidad de agua que fluía” (p.231). Para conocer la cantidad exacta de agua se utilizó una probeta graduada de 250 mL como patrón de referencia.

Figura 19

Recolección de datos para ajustar las lecturas del sensor de flujo de agua



El proceso consistió en permitir que el agua fluyera desde cada reservorio a través del sensor, tal como se muestra en la figura 19, capturando el volumen en un recipiente en el otro extremo. Las lecturas de pulsos del sensor se registraron simultáneamente mediante el Monitor Serial de Arduino IDE. Finalmente, el volumen de agua capturado fue cuantificado con la probeta graduada (mL), lo que permitió correlacionar los pulsos del sensor con el volumen real y obtener la curva de calibración. Cabe recalcar que la unidad de mL es igual a cm^3 . Posteriormente, se utilizó la regresión lineal simple para determinar la correlación y estimar los coeficientes que serán integrados en la programación del sensor de flujo de agua. Este procedimiento es consistente con el enfoque adoptado por Loayza (2025) y Ludeña (2022).

Figura 20

Calibración del sensor de flujo de agua para control automatizado

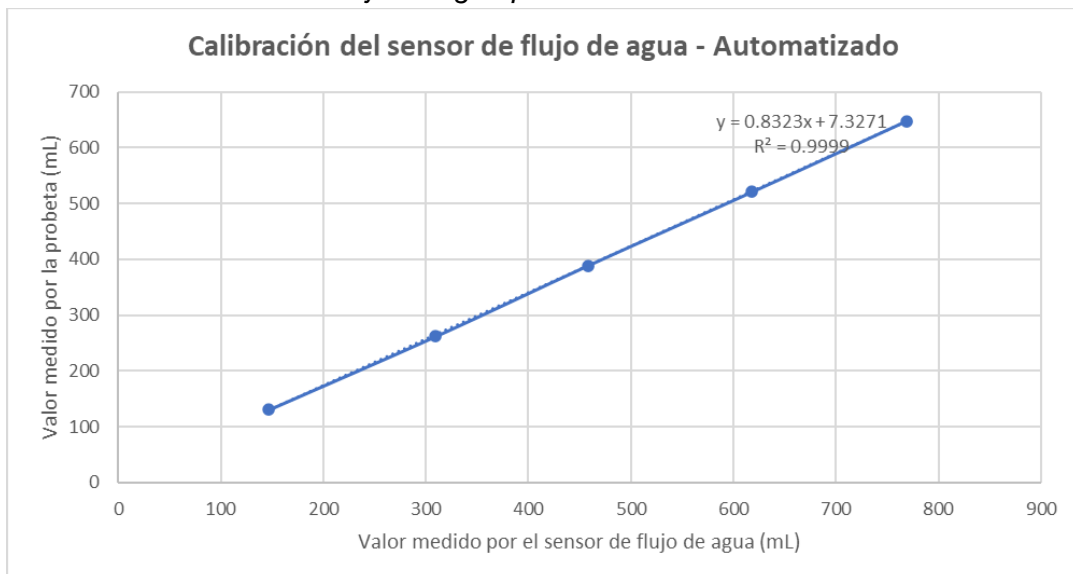
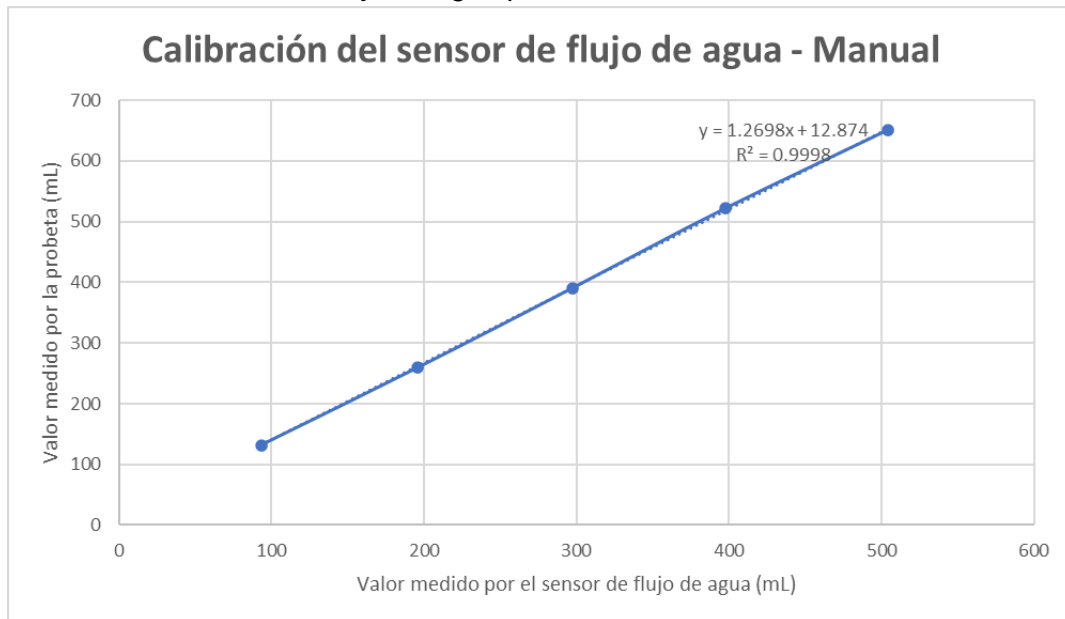


Figura 21

Calibración del sensor de flujo de agua para control manual



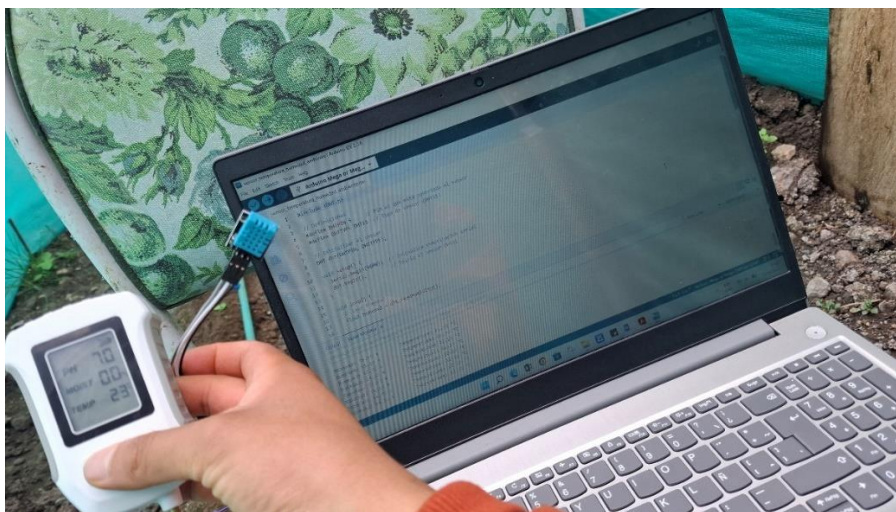
La regresión simple se realizó entre los valores medidos y los valores de referencia. En ambos casos arrojó un alto coeficiente de determinación (R^2), 0,9999 para el automatizado (figura 20) y 0,9998 para el manual (figura 21). Esto valida la calibración, confirmando que la relación entre la lectura del sensor y la magnitud real es lineal y muy fuerte.

3.8.4.3 Sensor de temperatura ambiental DHT11

A continuación, se presenta la calibración del sensor de temperatura.

Figura 22

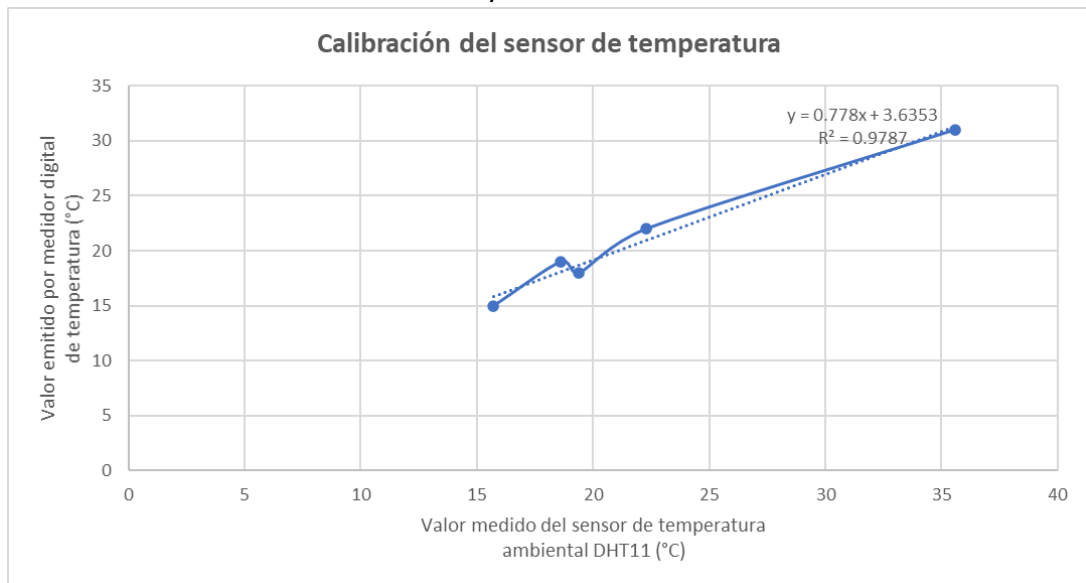
Recolección de datos para ajustar las lecturas del sensor de temperatura



Para la calibración del sensor de temperatura DHT11 se realizó haciendo uso del medidor digital de temperatura, y las lecturas del sensor fueron capturadas en el monitor serial del Arduino IDE tal como se muestra en la figura 22. Posteriormente, se utilizó la regresión lineal simple para determinar la correlación y estimar los coeficientes que serán integrados en la programación del sensor de temperatura ambiental. Este procedimiento es consistente con el enfoque adoptado por Loayza (2025) y Ludeña (2022).

Figura 23

Calibración del sensor DHT11 de temperatura



La regresión simple realizada entre los valores medidos y los valores de referencia arrojó un alto coeficiente de determinación (R^2) de 0,9787 (figura 23). Esto valida la calibración, confirmando que la relación entre la lectura del sensor y la magnitud real es lineal y muy fuerte.

3.8.5 Desarrollo de software

Para desarrollar el código se usó información recopilada anteriormente. La capacidad de campo emitida por el laboratorio es 29,75%, eso quiere decir que lo más adecuado es rondar este límite. Según Ludeña (2022) menciona que “la humedad en la subunidad de riego fue de 28,9% como humedad mínima y 32,7% como humedad máxima; cuyos valores fueron cercanos a la capacidad de campo de 30,6%” (p.1). Por lo tanto, el margen de 2% resulta adecuado para establecer los límites de humedad. En base a ello, se determinó el límite mínimo (28%) y máximo (32%) que tomará en cuenta la programación para activar o desactivar el riego.

Cabe recalcar que nunca se debe llegar al punto de marchites (16,79%), ya que en este nivel crítico el cultivo sufre daños fisiológicos irreversibles; aplicar esta restricción se alinea con la metodología propuesta por Loayza (2025) y Ludeña (2022). Además, las ecuaciones de calibración también fueron insertadas en el código:

- Ecuación de calibración del sensor de humedad de suelo automatizado (%):

$$y = 0,394x - 4,0127$$

- Ecuación de calibración del sensor de humedad de suelo manual (%):

$$y = 0,3628x - 3,1521$$

- Ecuación de calibración del sensor de flujo de agua automatizado (mL):

$$y = 0,8323x + 7,3271$$

- Ecuación de calibración del sensor de flujo de agua manual (mL):

$$y = 1,2698x + 12,874$$

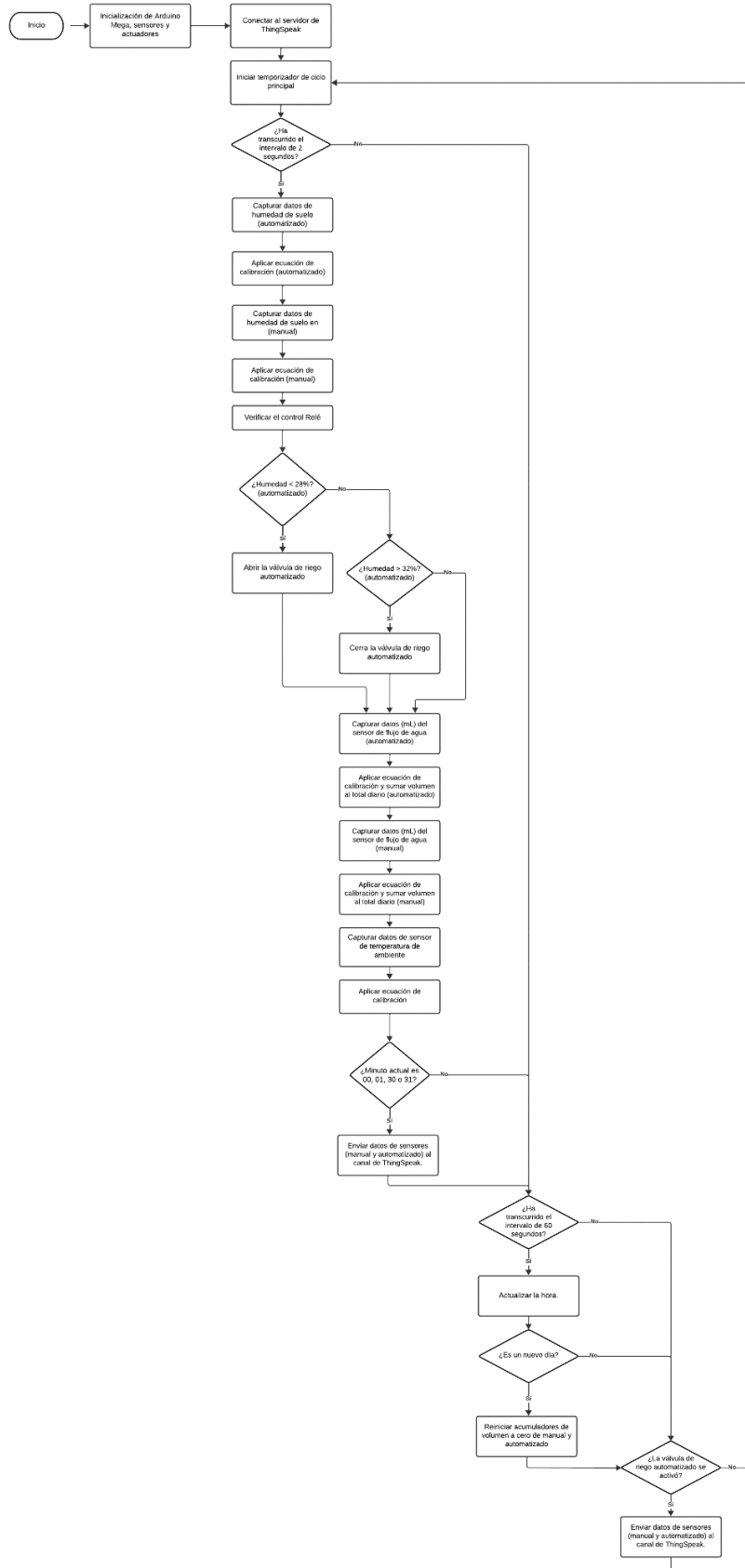
- Ecuación de calibración del sensor de temperatura de ambiente (°C):

$$y = 0,778x + 3,6353$$

El diagrama de flujo se muestra en la figura 24 y el código completo se muestra en el anexo 15.

Figura 24

Diagrama de flujo del sistema de riego por goteo manual y automatizado



3.8.6 Integración con Plataforma IoT ThingSpeak

Para el almacenamiento de los datos históricos generados por el experimento, se seleccionó la plataforma de internet de las cosas (IoT) ThingSpeak. La elección de esta herramienta se fundamentó en cuatro criterios clave: su facilidad de integración con la plataforma Arduino IDE mediante solicitudes HTTP; su capacidad para mostrar los datos a través de gráficos generados automáticamente; su función como un repositorio de datos en la nube, lo que asegura el registro histórico para el posterior análisis; y su accesibilidad, al ser una plataforma sin costo para proyectos de la escala y naturaleza de esta investigación.

Figura 25
Panel de control de ThingSpeak

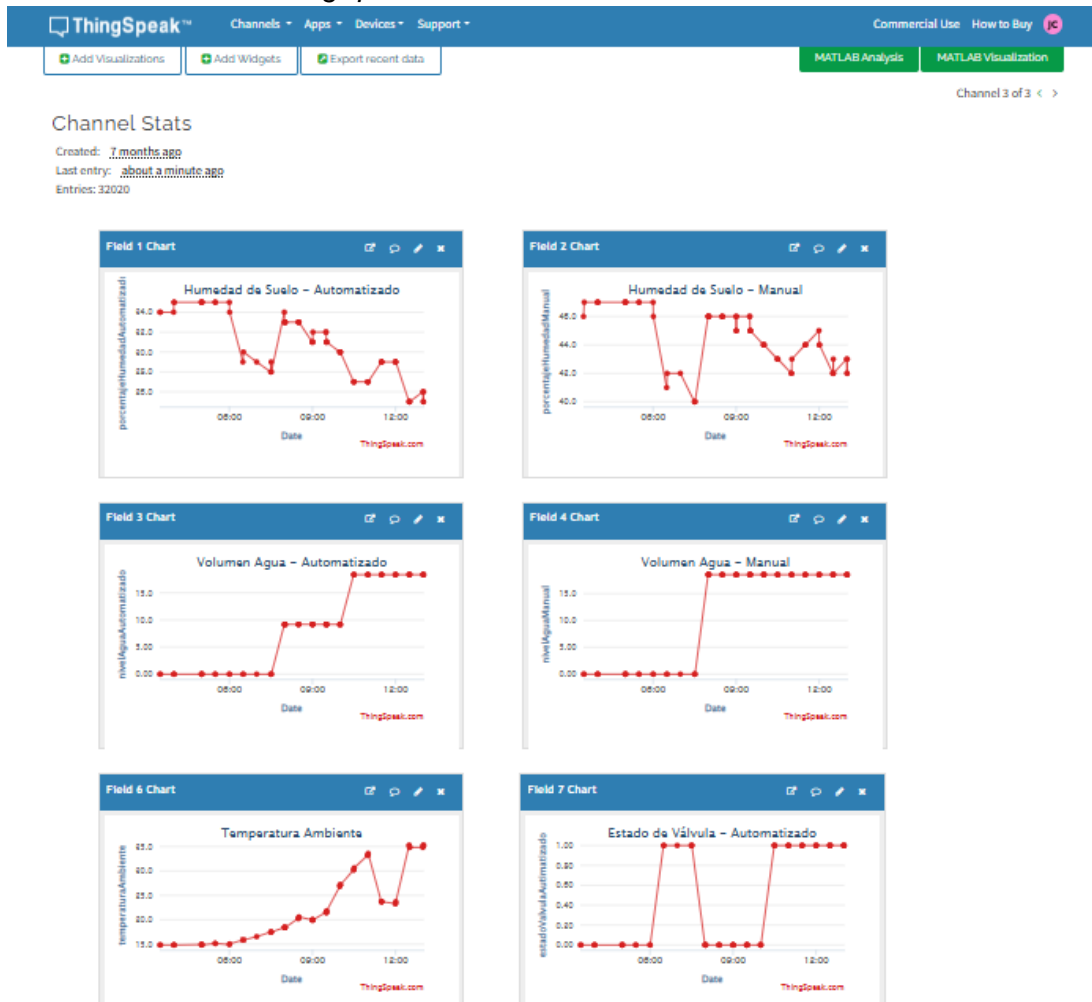
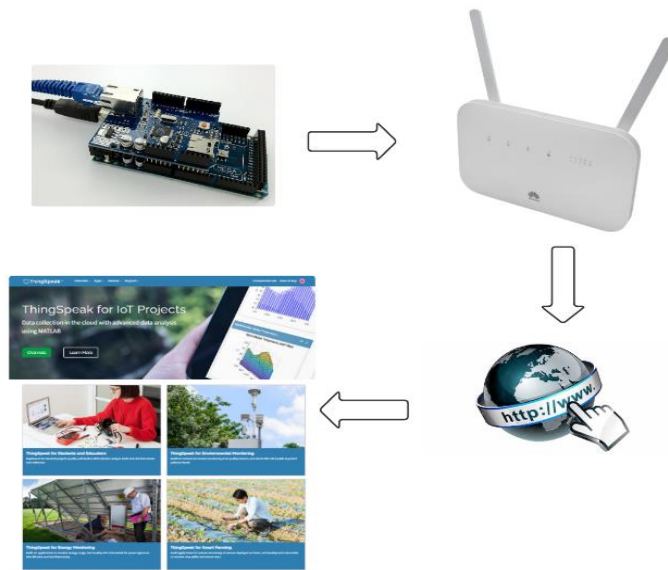


Figura 26
Envío de datos a ThingSpeak



En la figura 26 se muestra el flujo de comunicación entre Arduino Mega y ThingSpeak. Se configuró un canal en la plataforma ThingSpeak llamada “Sistema Automatizado y Manual” para recibir y almacenar los datos enviados (figura 25). Dicho canal se estructuró con los siguientes campos (*Fields*), cada uno destinado a una variable específica del monitoreo:

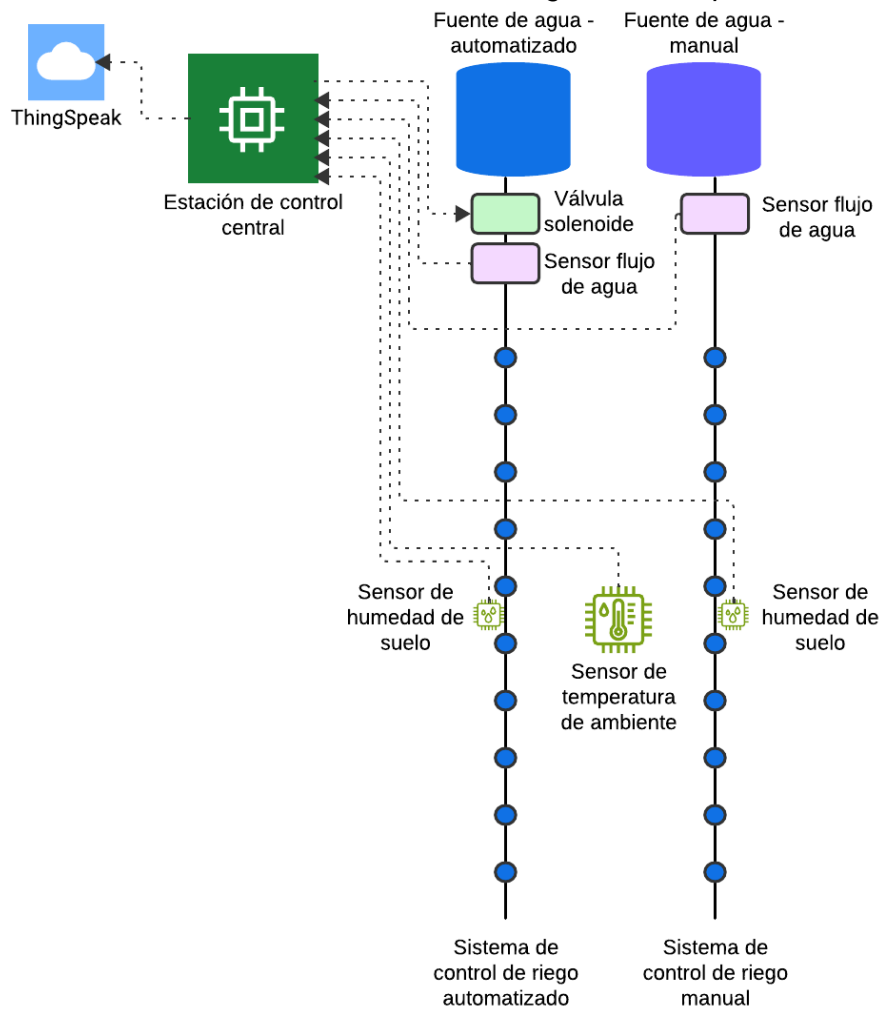
- **Field 1:** Humedad del suelo - automatizado (%).
- **Field 2:** Humedad del suelo - manual (%).
- **Field 3:** Volumen de agua - automatizado (cm³).
- **Field 4:** Volumen de agua - manual (cm³).
- **Field 6:** Temperatura ambiente (°C).
- **Field 7:** Estado de la válvula - automatizado (0=Cerrada, 1=Abierta).

3.8.7 Instalación de los sistemas de control de riego:

En esta sección se muestra el proceso de instalación de ambos sistemas de control de riego en el invernadero.

Figura 27

Implementación de los sistemas de control de riego diseñado para este estudio

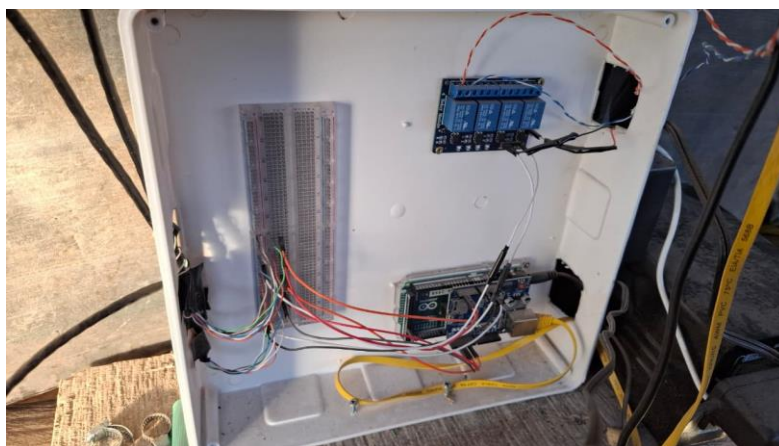


En la figura 27 se muestra el diagrama de conexión entre los componentes. A continuación, se explica cada uno.

3.8.7.1 Estación de control central

Figura 28

Estación de control central



La figura 28 presenta la estación de control centralizada, la cual gestiona tanto el sistema manual como el automatizado. Esta unidad se encuentra alojada dentro de un gabinete de protección diseñado para preservar la integridad de los componentes electrónicos frente a la humedad y el polvo. En su interior se instalaron la placa Arduino Mega 2560, el Shield Ethernet W5100, el módulo relé y el protoboard, realizando las conexiones eléctricas correspondientes.

3.8.7.2 Instalación de sensores y actuadores en campo

Figura 29

Instalación del sensor de humedad de suelo



En la figura 29 se muestran los sensores de humedad del suelo que se instalaron en el centro de cada hilera. Se insertaron a una profundidad de 10 cm y cerca al gotero para asegurar la medición de la humedad.

Figura 30

Instalación de la válvula solenoide 1/2"12VDC



En la hilera automatizada, se instaló una válvula solenoide 1/2"12VDC en el cabezal de riego (figura 30), conectada eléctricamente al módulo de relé de la estación de control.

Figura 31

Instalación del sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201



Como se aprecia en la figura 31, el sensor de flujo se instaló en el cabezal de riego. Para el sistema automatizado, su ubicación fue posterior a la válvula solenoide. Esto garantiza la medición exacta del volumen de agua aplicado en cada hilera.

Figura 32

Instalación del sensor de temperatura DHT11



Finalmente, en la figura 32 se aprecia el sensor de temperatura de ambiente DHT11 que se ubicó en el centro del invernadero, a una altura de 1,5 metros, para registrar las condiciones promedio a las que ambas hileras estaban expuestas.

3.8.7.3 Prueba de funcionamiento

Figura 33

Conexión al router y al estabilizador



Se conectó el Shield Ethernet W5100 al router mediante un cable de red Ethernet, se conectó la estación de control a un estabilizado y este último a la fuente de alimentación, tal y como se muestra en la figura 33.

Figura 34

Pruebas de funcionamiento



En la figura 34 se muestra la prueba de funcionamiento realizado para verificar la correcta lectura de todos los sensores, la activación de la válvula solenoide y la transmisión de datos a la plataforma ThingSpeak, dejando ambos sistemas de control listos para el inicio del periodo experimental.

3.8.8 Cultivo del tomate

Para asegurar que las únicas diferencias entre las hileras de estudio fueran los métodos de control de riego, el cultivo se realizó en consulta con el agricultor local Donato Pareja Mendoza con experiencia en la producción de tomate en la región, garantizando así las mejores prácticas adaptadas a las condiciones del invernadero.

3.8.8.1 Trasplante del cultivo

Una vez preparada la tierra con abono orgánico, el proceso de trasplante se llevó a cabo el día 07 de junio del 2025.

Figura 35

Trasplante de plántulas



Las plántulas fueron distribuidas en ambas hileras manteniendo una distancia de 35 cm entre plantas y 90 cm entre hileras (figura 35), mismas medidas recomendadas por el agricultor y por López (2016) que dice “En el cultivo de tomate (...) se siembra a una distancia de 35 cm a 50 cm entre plantas (...) y los pasillos son de 0,8 m a 1 m de ancho” (p.56).

Figura 36
Riego del cultivo

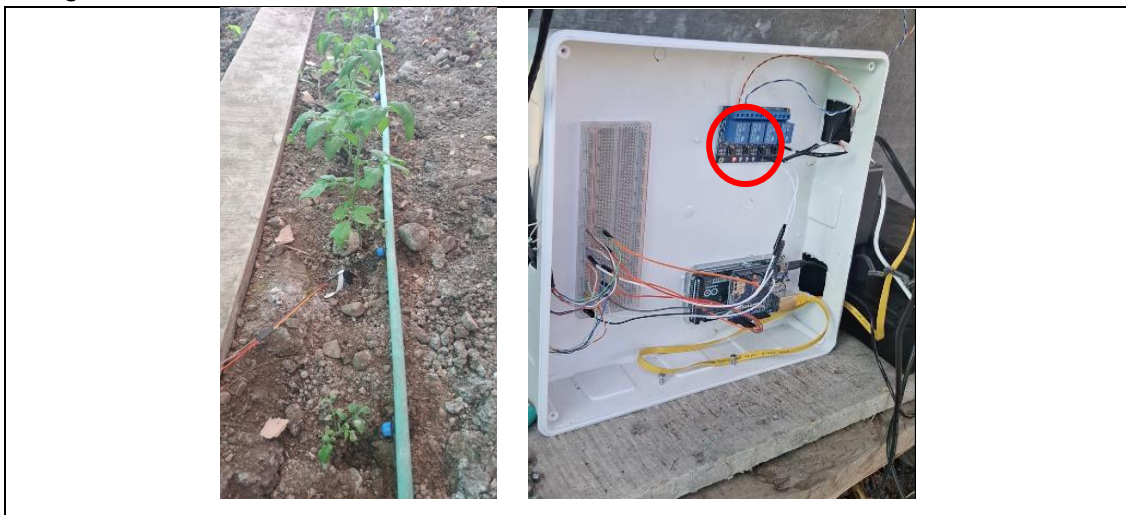


Inmediatamente después del trasplante, se aplicó un riego a todas las unidades experimentales, tal como se aprecia en la figura 36. Esta labor tuvo como finalidad asegurar el contacto entre la raíz y el suelo.

3.8.8.2 Cuidado del cultivo

El cuidado abarcó el mantenimiento de las plantas tanto en el sistema manual como en el automatizado.

Figura 37
Riego del sistema de control automatizado



Por un lado, el sistema de riego automatizado aseguró un suministro hídrico permanente en función a su programación. En la figura 37 se observa el proceso de riego en ejecución. El LED rojo encendido indica que la válvula solenoide está abierta y suministrando agua.

Figura 38

Riego del sistema de control manual



Por otro lado, en el sistema de riego manual, la frecuencia se determinó mediante la verificación periódica del suelo y el criterio experto del agricultor (figura 38).

Figura 39

Manejo de enfermedades



Asimismo, se incluyó un manejo integrado de plagas y enfermedades basado en el monitoreo constante y el uso de controles preventivos (figura 39). Las labores de control de plaga y enfermedades se realizaron en conjunto con el agricultor experimentado para asegurar que todas las plantas, independientemente de su grupo de tratamiento, se desarrollaran en condiciones óptimas y homogéneas.

3.8.9 Recolección de datos en la ficha de registros:

3.8.9.1 Recolección de altura, conteo de flores y frutos:

Semanalmente, se registraron en una ficha observacional datos como la altura de la planta (cm), el conteo de flores y el conteo de frutos en desarrollo, tanto del sistema de control automatizado como del manual.

Figura 40

Recolección de datos de altura de la planta



Figura 41

Recolección de datos de conteo de flores y frutos.





3.8.9.2 Cosecha del cultivo y pesaje

El 25 de octubre se llevó a cabo la cosecha de los tomates según la recomendación de López (2016) que dice “Las frutas se pueden cosechar desde su etapa verdemadura hasta la etapa de la coloración completa” (p.98). A continuación, se muestra la cosecha.

Figura 42
Cosecha de tomates del sistema de riego manual.

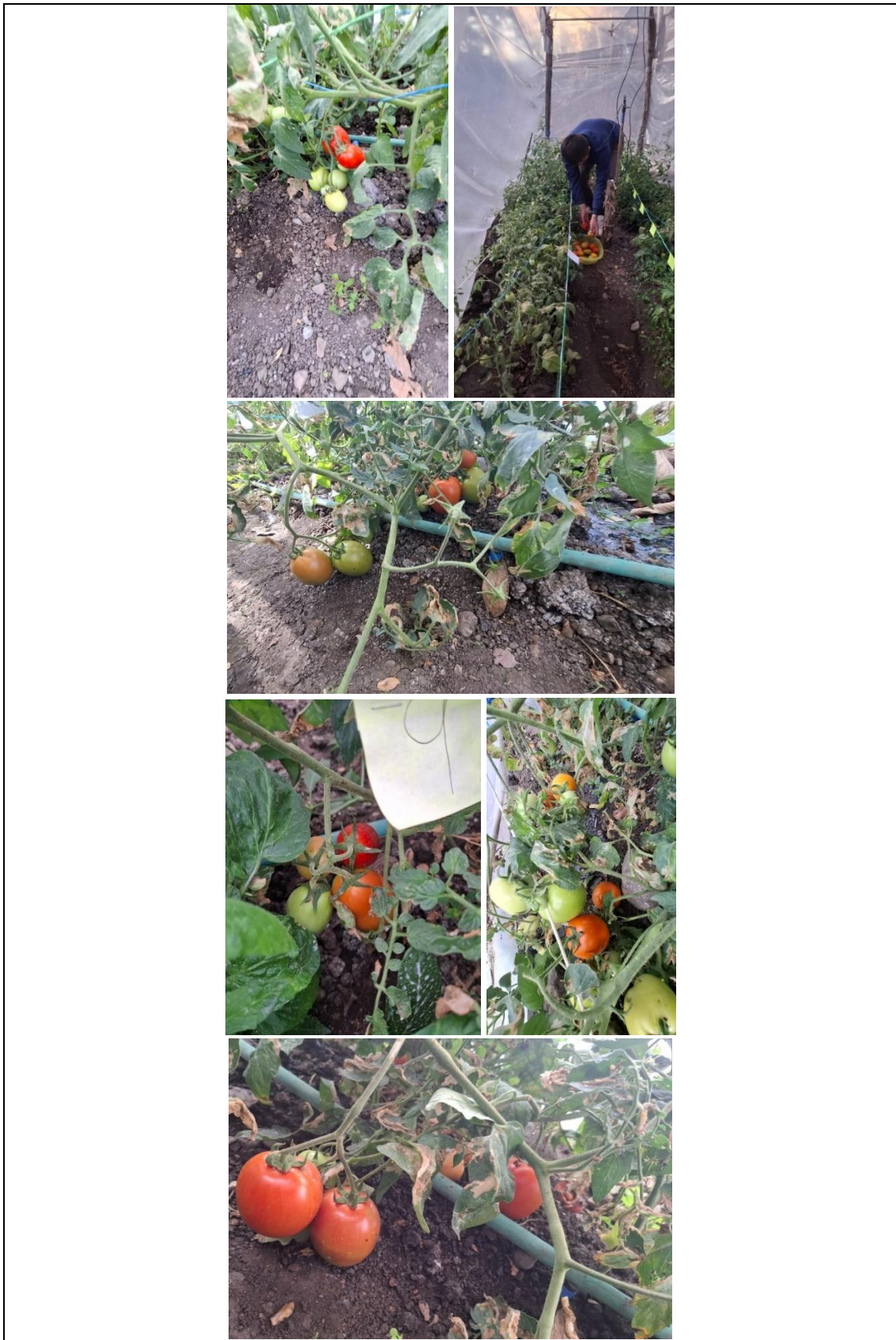


Figura 43

Cosecha de tomates del sistema de riego automatizado.



Figura 44
Agrupación de los frutos por planta antes del pesaje



Figura 45
Proceso de pesaje





Para determinar la productividad individual, los frutos cosechados se mantuvieron separados, conservando en todo momento la identificación de su planta de origen, y se pesaron de inmediato. La figura 44 detalla la clasificación de los frutos según la planta y el sistema de control de riego, mientras que la figura 45 ilustra el proceso de pesaje individual.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

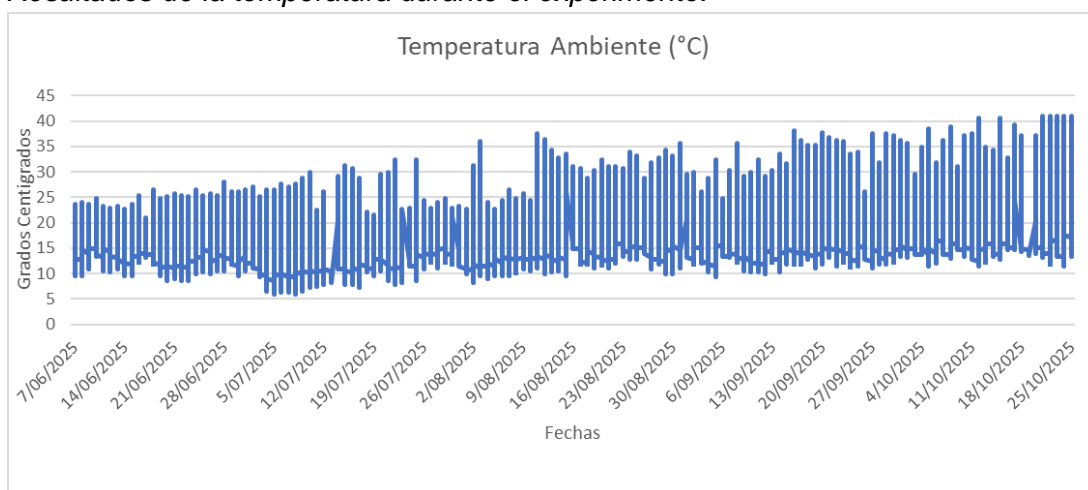
4.1. RESULTADOS

4.1.1. Parámetro meteorológico durante el periodo experimental

Durante el período de observación, se registraron las condiciones climáticas dentro del campo experimental cada 30 minutos.

Figura 46

Resultados de la temperatura durante el experimento.



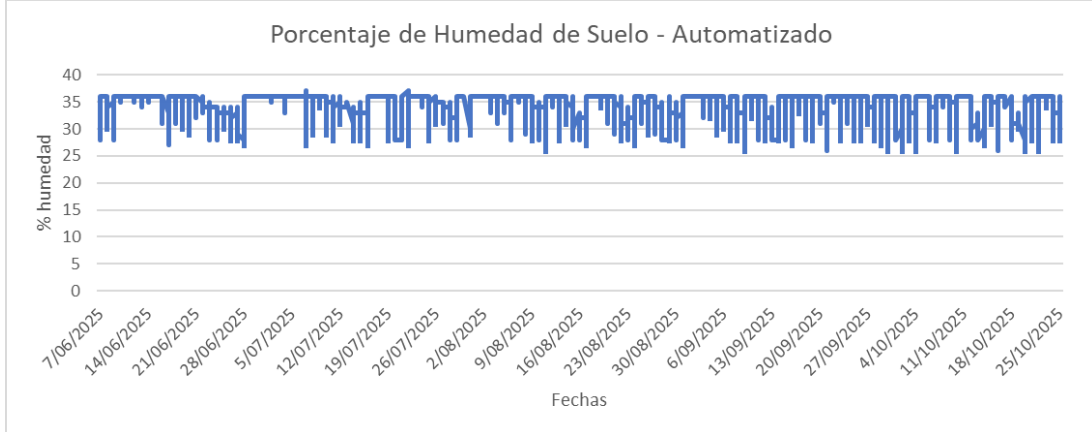
Según la figura 46, el clima se caracterizó por una temperatura media diurna (7:00 am – 18:00 pm) de 20,86°C, con fluctuaciones notables que oscilaron entre un mínimo de 5,97 °C y un máximo de 40,96 °C, lo cual influyó en la demanda hídrica del cultivo a lo largo del periodo experimental. En cuanto a la temperatura media nocturna (19:00 pm – 6:00 am) fue de 12,79°C, con fluctuaciones notables que oscilaron entre un mínimo de 5,97 °C y un máximo de 19,04 °C. Los resultados mostraron que las temperaturas promedio fueron adecuadas puesto que según López (2016) “La temperatura óptima de desarrollo del cultivo oscila entre 20 °C y 30 °C durante el día y entre 10 °C y 17 °C durante la noche.” (p.20).

4.1.2. Humedad del suelo durante el periodo experimental

El sensor de humedad de suelo se instaló a una profundidad de 10 cm y registró la temperatura del suelo cada 30 minutos.

Figura 47

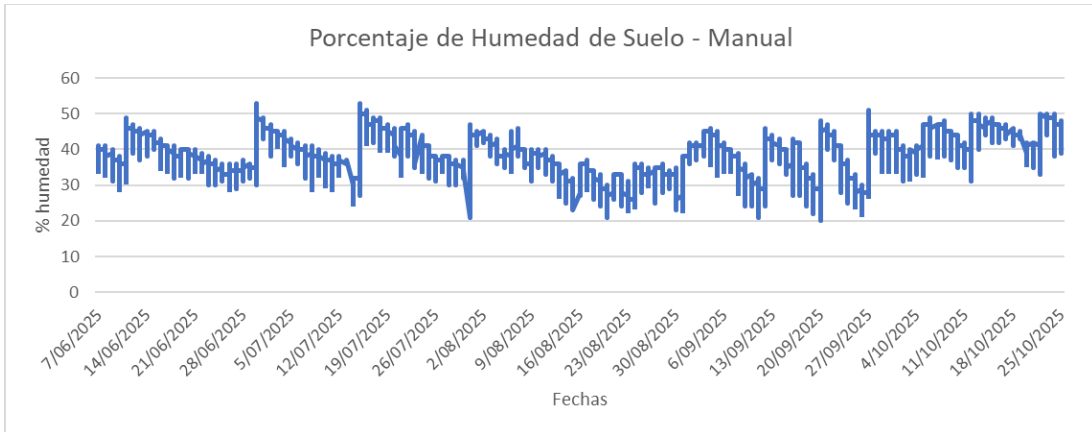
Resultados de humedad de suelo en sistema automatizado durante el experimento.



Los resultados del sistema de riego automatizado (figura 47) mostraron que el porcentaje de humedad del suelo varió de 26% a 37%, y en promedio 34,35%.

Figura 48

Resultados de humedad de suelo en sistema manual durante el experimento.



Los resultados del sistema de riego manual (figura 48) mostraron que el porcentaje de humedad del suelo varió de 20% a 53%, y en promedio 37,99%.

4.1.3. Influencia del sistema de control de riego por goteo manual en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*

A continuación, se muestran los resultados:

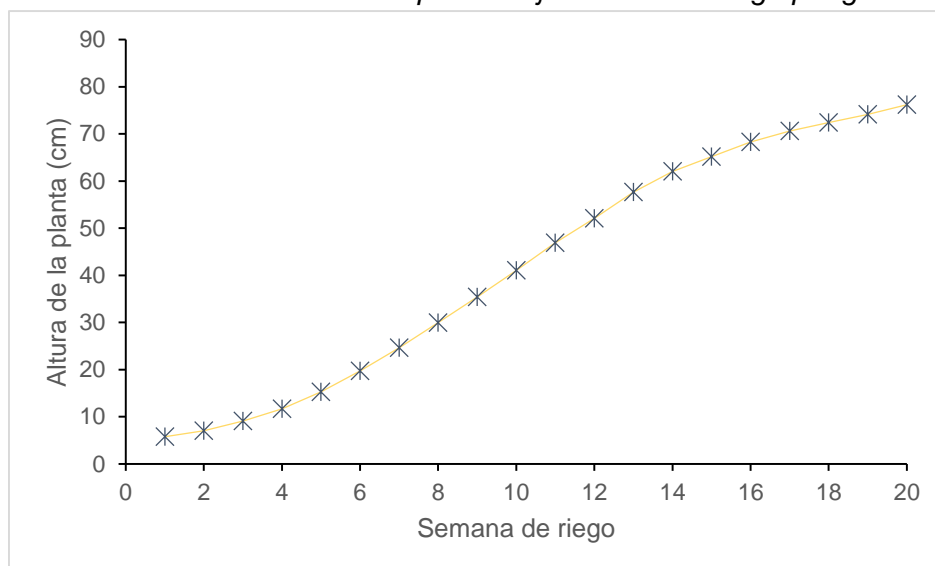
Tabla 14

Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo manual

Semana 1	Altura de la planta (cm)
1	5,74
2	7,05
3	9,11
4	11,67
5	15,23
6	19,72
7	24,64
8	29,93
9	35,42
10	41,07
11	46,90
12	52,08
13	57,65
14	62,04
15	65,17
16	68,26
17	70,59
18	72,42
19	74,17
20	76,23

Figura 49

Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo manual



En la tabla 14 y figura 49 se aprecia que la altura de la planta bajo el sistema de riego por goteo manual tuvo un crecimiento más acelerado hasta la semana 10, con una tasa de variación de 615,07%; sin embargo, a partir de allí este desarrollo se ralentizó con una tasa de variación de 62,54% entre las semanas 11 y 20. De esta

manera, la altura promedio de las diez plantas en la semana 20 alcanzó 76,23 cm.

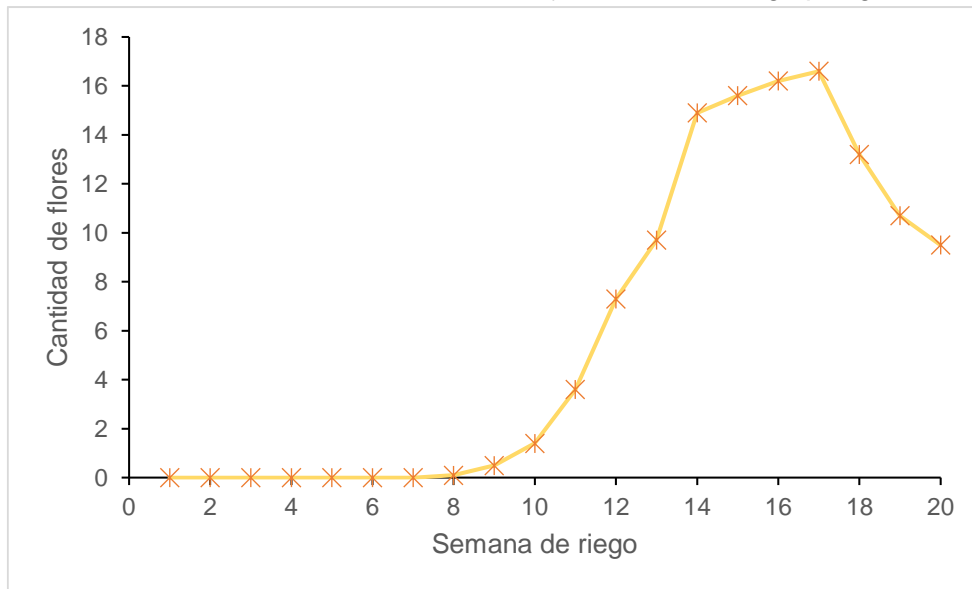
Tabla 15

Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo manual

Semana 1	Cantidad de flores
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,10
9	0,50
10	1,40
11	3,60
12	7,30
13	9,70
14	14,90
15	15,60
16	16,20
17	16,60
18	13,20
19	10,70
20	9,50

Figura 50

Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo manual



Se observa en la tabla 15 y figura 50 que la cantidad de flores del cultivo bajo sistema de riego manual creció de manera continua entre las semanas 8 (cuando inició la floración) y 17, donde alcanzó el valor máximo con una media 16,60 flores por planta; a partir de allí, esta cifra se redujo hasta alcanzar 9,50 flores por planta en la semana 20.

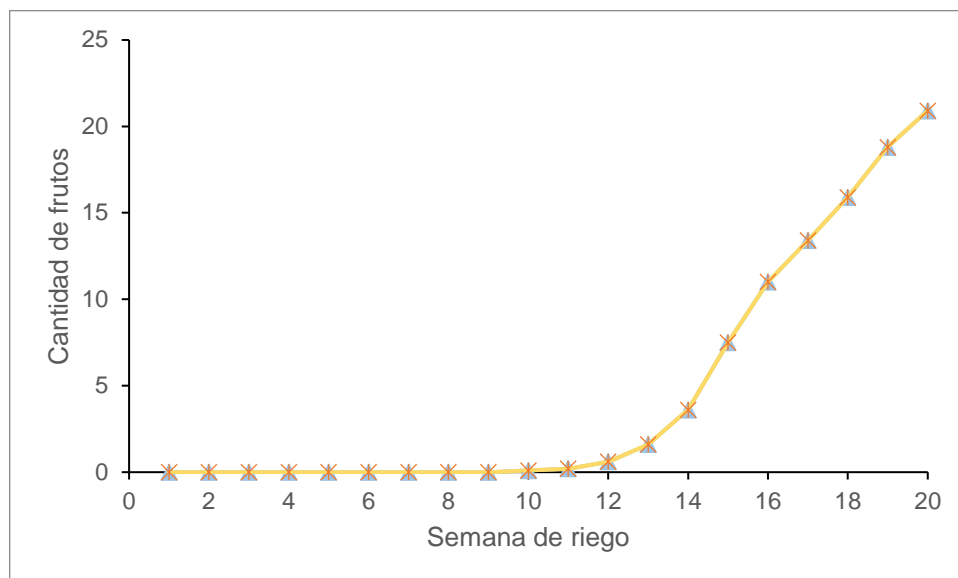
Tabla 16

Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de riego por goteo manual

Semana 1	Cantidad de frutos
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,10
11	0,20
12	0,60
13	1,60
14	3,60
15	7,50
16	11,00
17	13,40
18	15,90
19	18,80
20	20,90

Figura 51

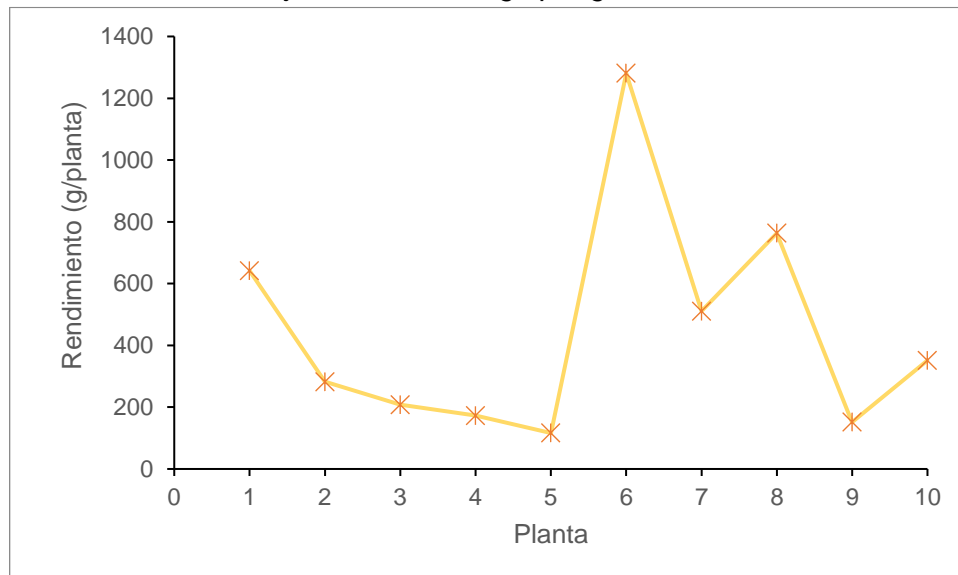
Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de riego por goteo manual



Se observa en la tabla 16 y figura 51 que la cantidad de frutos del cultivo bajo sistema de riego manual creció de manera continua entre las semanas 10 (cuando inició la fructificación) y 20, donde alcanzó el valor máximo con una media 20,90 frutos por planta.

Tabla 17*Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo manual*

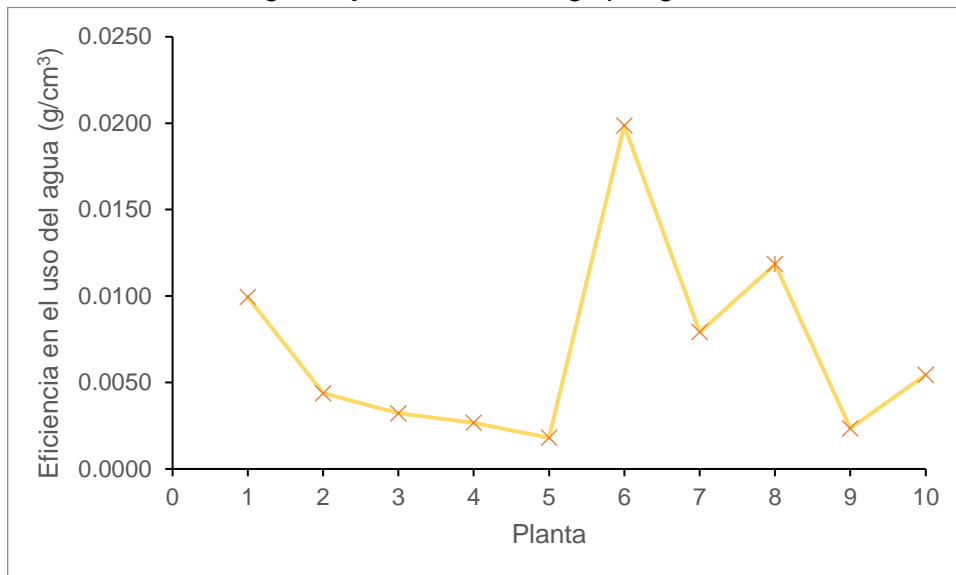
Planta	Rendimiento (g/planta)
1	641,64
2	282,36
3	207,76
4	172,49
5	116,55
6	1281,32
7	510,70
8	763,60
9	151,29
10	351,25
Promedio	447,90
Desviación estándar	365,72
Coefficiente de variación	81,65%

Figura 52*Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo manual*

En la tabla 17 y figura 52 se aprecia que el rendimiento promedio de producción de las diez plantas bajo sistema de riego por goteo manual fue de 447,90 g/planta, con una desviación estándar de 365,72 y un coeficiente de variación de 81,65%, reflejando una alta dispersión entre las plantas estudiadas. Así, el rendimiento de producción más alto fue para la planta 6 con 1281,32 g/planta, mientras que el más bajo fue para la planta 5 con 116,29 g/planta.

Tabla 18*Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo manual*

Planta	Eficiencia en el uso del agua (g/cm ³)
1	0,0099
2	0,0044
3	0,0032
4	0,0027
5	0,0018
6	0,0199
7	0,0079
8	0,0118
9	0,0023
10	0,0054
Promedio	0,0069
Desviación estándar	0,0057
Coefficiente de variación	81,65%

Figura 53*Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo manual*

En la tabla 18 y figura 53 se aprecia que la eficiencia en el uso del agua de las diez plantas bajo sistema de riego por goteo manual fue de 0,0069 g/cm³, con una desviación estándar de 0,0057 y un coeficiente de variación de 81,65%, reflejando una alta dispersión entre las plantas estudiadas. Así, la eficiencia más alta fue para la planta 6 con 0,0199 g/cm³, mientras que el más bajo fue para la planta 5 con 0,0018 g/cm³.

4.1.4. Influencia del sistema de control de riego por goteo automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*

A continuación, se muestran los resultados:

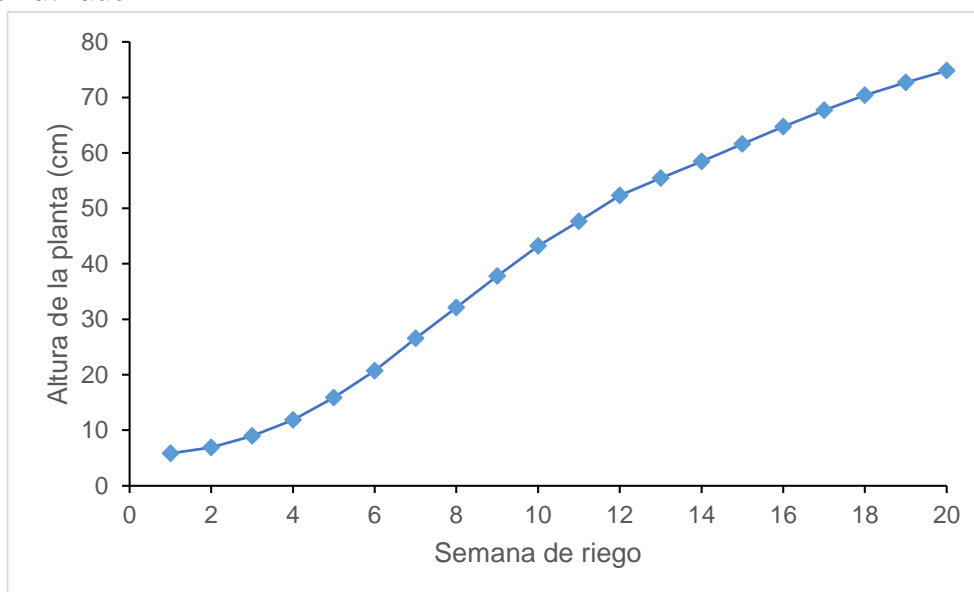
Tabla 19

Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo automatizado

Semana 1	Altura de la planta (cm)
1	5,85
2	6,91
3	8,93
4	11,84
5	15,84
6	20,69
7	26,58
8	32,09
9	37,80
10	43,21
11	47,65
12	52,33
13	55,45
14	58,44
15	61,60
16	64,74
17	67,69
18	70,41
19	72,69
20	74,84

Figura 54

Desarrollo semanal de la altura de la planta bajo sistema de riego por goteo automatizado



En la tabla 19 y figura 54 se aprecia que la altura de la planta bajo el sistema de riego por goteo automatizado tuvo un crecimiento más acelerado hasta la semana 9, con una tasa de variación de 546,15%; sin embargo, a partir de allí este desarrollo se ralentizó con una tasa de variación de 73,21% entre las semanas 10 y 20. De esta manera, la altura promedio de las diez plantas en la semana 20 alcanzó 74,84 cm.

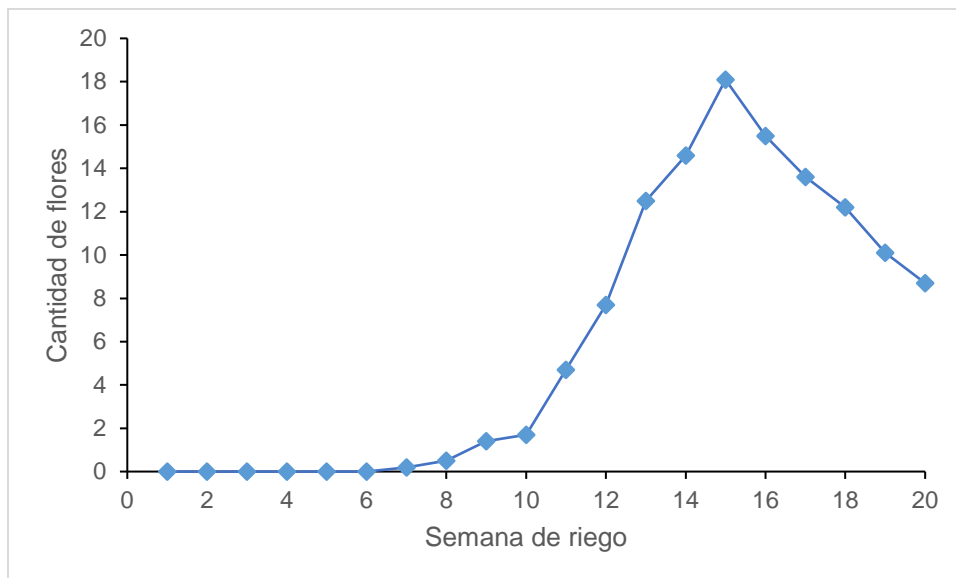
Tabla 20

Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo automatizado

Semana 1	Cantidad de flores
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,20
8	0,50
9	1,40
10	1,70
11	4,70
12	7,70
13	12,50
14	14,60
15	18,10
16	15,50
17	13,60
18	12,20
19	10,10
20	8,70

Figura 55

Desarrollo semanal de la cantidad de flores bajo sistema de riego por goteo automatizado



Se observa en la tabla 20 y figura 55 que la cantidad de flores del cultivo bajo sistema de riego automatizado creció de manera continua entre las semanas 7 (cuando inició la floración) y 15, donde alcanzó el valor máximo con una media 18,10 flores por planta; a partir de allí, esta cifra se redujo hasta alcanzar 8,70 flores por planta en la semana 20.

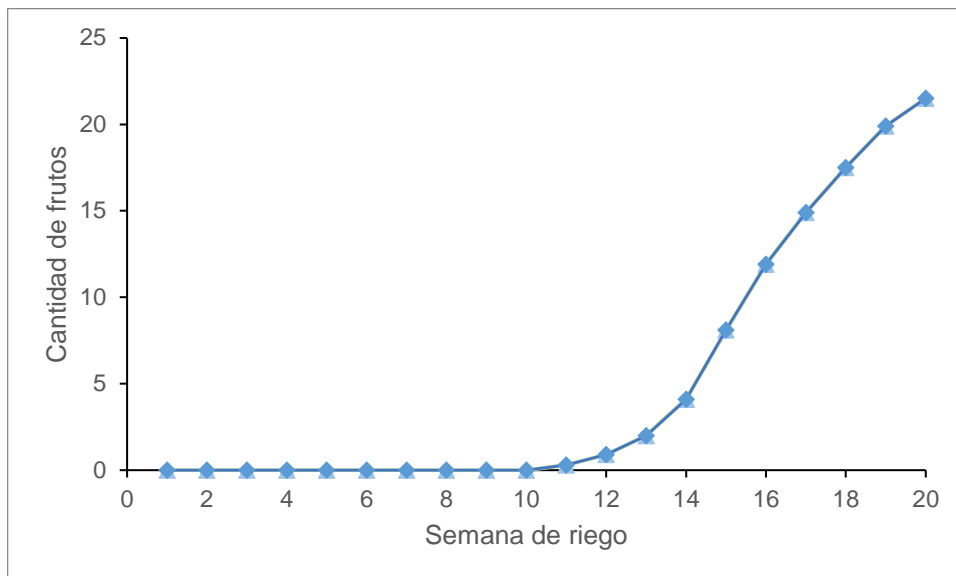
Tabla 21

Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de riego por goteo automatizado

Semana 1	Cantidad de frutos
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00
11	0,30
12	0,90
13	2,00
14	4,10
15	8,10
16	11,90
17	14,90
18	17,50
19	19,90
20	21,50

Figura 56

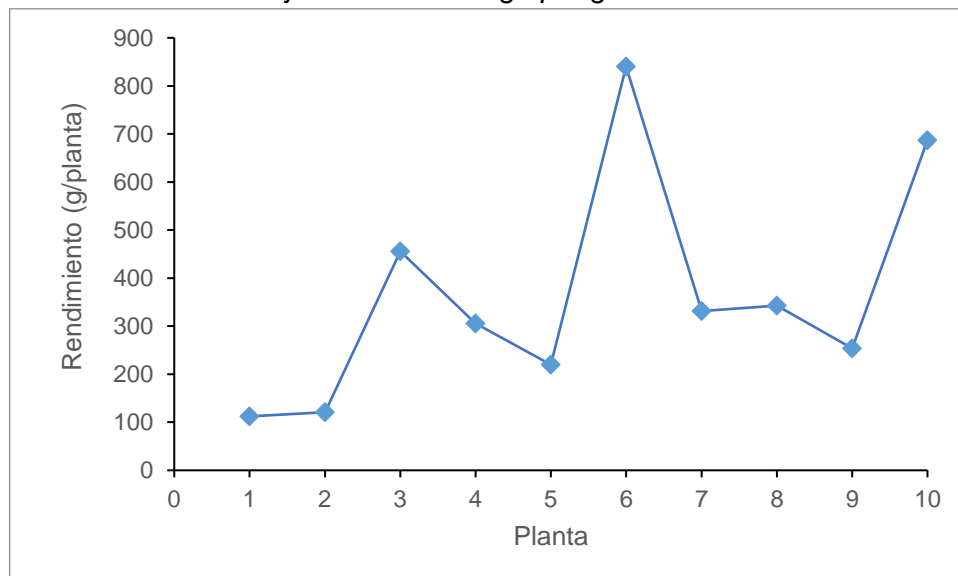
Desarrollo semanal de la cantidad de frutos de la planta bajo sistema de riego por goteo automatizado



Se observa en la tabla 21 y figura 56 que la cantidad de frutos del cultivo bajo sistema de riego manual creció de manera continua entre las semanas 11 (cuando inició la fructificación) y 20, donde alcanzó el valor máximo con una media 21,50 frutos por planta.

Tabla 22*Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo automatizado*

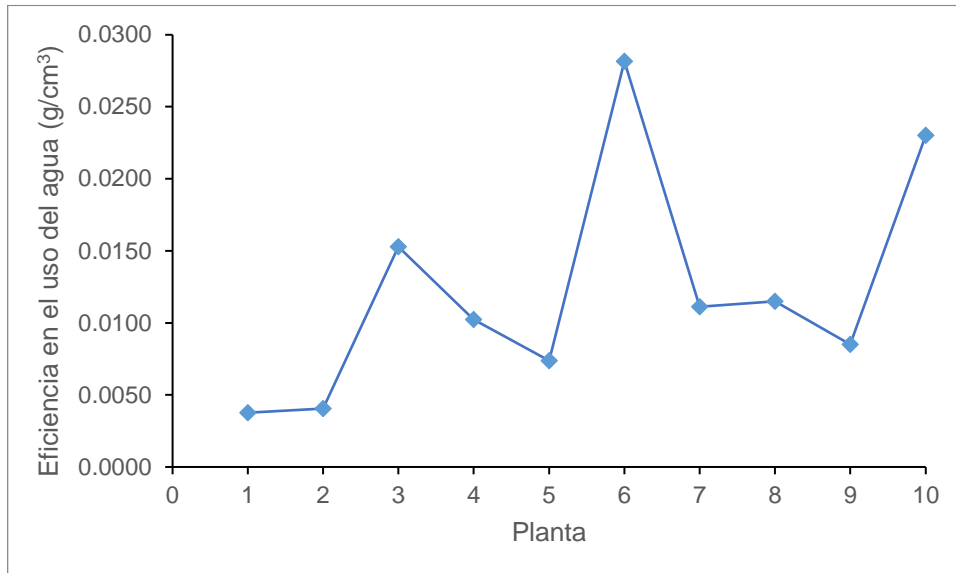
Planta	Rendimiento
1	112,15
2	120,73
3	455,92
4	305,47
5	219,99
6	840,43
7	331,57
8	342,92
9	253,52
10	686,64
Promedio	366,93
Desviación estándar	235,68
Coefficiente de variación	64,23%

Figura 57*Rendimiento del cultivo bajo sistema de riego por goteo automatizado*

En la tabla 22 y figura 57 se aprecia que el rendimiento promedio de producción de las diez plantas bajo sistema de riego por goteo automatizado fue de 366,93 g/planta, con una desviación estándar de 235,68 y un coeficiente de variación de 64,23%, reflejando una alta dispersión entre las plantas estudiadas. Así, el rendimiento de producción más alto fue para la planta 6 con 840,43 g/planta, mientras que el más bajo fue para la planta 1 con 112,15 g/planta.

Tabla 23*Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo automatizado*

Planta	Eficiencia en el uso del agua (g/cm ³)
1	0,0038
2	0,0040
3	0,0153
4	0,0102
5	0,0074
6	0,0282
7	0,0111
8	0,0115
9	0,0085
10	0,0230
Promedio	0,0123
Desviación estándar	0,0079
Coefficiente de variación	64,23%

Figura 58*Eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego por goteo automatizado*

En la tabla 23 y figura 58 se aprecia que la eficiencia en el uso del agua de las diez plantas bajo sistema de riego por goteo manual fue de 0,0123 g/cm³, con una desviación estándar de 0,079 y un coeficiente de variación de 64,23%, reflejando una alta dispersión entre las plantas estudiadas. Así, la eficiencia más alta fue para la planta 6 con 0,0282 g/cm³, mientras que el más bajo fue para la planta 1 con 0,0038 g/cm³.

4.1.5. Análisis de normalidad de las variables

Para la determinación de la prueba de contraste de hipótesis, se ha evaluado la normalidad de la variable independiente a través de la prueba Shapiro-Wilk, que es más eficiente en muestras pequeñas (aquellas que son iguales o inferiores a 50 elementos). Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 24, partiendo de:

H0: La variable tiene un comportamiento normal.

H1: La variable no tiene un comportamiento normal.

Significancia establecida o α : 0,05 (5%).

Decisión: se comprueba H1 si la Sig de la prueba es menor a α ; es decir, la variable no es normal si Sig. < 0,05.

Tabla 24

Prueba de Shapiro-Wilk: Análisis de normalidad de las dimensiones evaluadas

Sistema de control de riego por:	Dimensión	Estadístico	gl	Sig,
Goteo manual	Altura de la planta	0,904	20	0,050
	Cantidad de flores	0,798	20	< 0,001
	Cantidad de frutos	0,700	20	< 0,001
	Rendimiento de producción	0,848	10	0,055
	Eficiencia en el uso del agua	0,847	10	0,053
Goteo automatizado	Altura de la planta	0,916	20	0,085
	Cantidad de flores	0,798	20	0,003
	Cantidad de frutos	0,700	20	< 0,001
	Rendimiento de producción	0,889	10	0,164
	Eficiencia en el uso del agua	0,888	10	0,181

Como se aprecia en la tabla 24:

- La dimensión altura de la planta bajo sistema de riego con goteo manual alcanzó una Sig. = 0,050 y con goteo automatizado obtuvo una Sig. = 0,085; en ambos casos no se cumple que Sig. < 0,05, lo que se admite H0 y se rechaza H1; así, que siendo ambas normales para su comparación se procedió con la prueba t-Student para dos muestras independientes.
- La dimensión cantidad de flores bajo sistema de riego con goteo manual

alcanzó una Sig. < 0,001 y con goteo automatizado obtuvo una Sig. = 0,003; en ambos casos se cumple que Sig. < 0,05, lo que se rechaza H0 y se admite H1; así, que siendo ambas no normales para su comparación se procedió con la prueba U de Mann-Whitney.

- La dimensión cantidad de frutos bajo sistema de riego con goteo manual alcanzó una Sig. < 0,001 y con goteo automatizado obtuvo una Sig. < 0,001; en ambos casos se cumple que Sig. < 0,05, lo que se rechaza H0 y se admite H1; así, que siendo ambas no normales para su comparación se procedió con la prueba U de Mann-Whitney.
- La dimensión rendimiento de producción bajo producción bajo sistema de riego con goteo manual alcanzó una Sig. = 0,055 y con goteo automatizado obtuvo una Sig. = 0,164; en ambos casos no se cumple que Sig. < 0,05, lo que se admite H0 y se rechaza H1; así, que siendo ambas normales para su comparación se procedió con la prueba t-Student para dos muestras independientes.
- La dimensión eficiencia en el uso del agua bajo sistema de riego con goteo manual alcanzó una Sig. = 0,053 y con goteo automatizado obtuvo una Sig. = 0,181; en ambos casos no se cumple que Sig. < 0,05, lo que se admite H0 y se rechaza H1; así, que siendo ambas normales para su comparación se procedió con la prueba t-Student para dos muestras independientes.

4.1.6. Comparación entre sistema de control de riego por goteo manual y por goteo automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*

Para la comparación de la altura entre ambos sistemas de riego se parte:

H0: El sistema de riego por goteo automatizado no influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la altura de la planta en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

H1: El sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la altura de la planta en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

Significancia establecida o α : 0,05 (5%).

Decisión: se comprueba H0 si la Sig de la prueba es mayor o igual a α ; es decir, si Sig. \geq 0,05.

Tabla 25

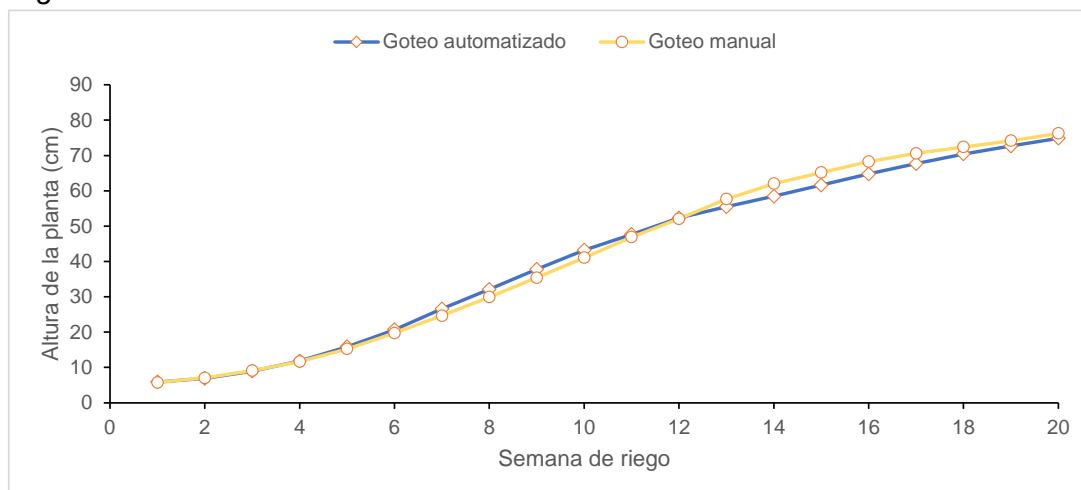
Comparación del desarrollo semanal de la altura de la planta entre sistemas de riego

Variable	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	Error estándar de la diferencia	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
						Inferior	Superior
Altura de la planta (cm)	0,061	18	0,476	0,48	7,81	-15,34	16,29

En la tabla 25 se aprecia que la Sig. de la prueba t-Student para dos muestras independientes es 0,476 (Sig. = 0,476); así, Sig. \geq 0,05, por lo que se admite H0. Esto refleja que la diferencia existente en la altura de las plantas del cultivo de *Solanum lycopersicum* no son estadísticamente significativas, con lo cual ninguno de los dos sistemas de riego genera una altura de planta superior.

Figura 59

Comparación del desarrollo semanal de la altura de la planta entre sistemas de riego



Además, como se observa en la figura 59, la altura de la planta del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* bajo el sistema de riego automatizado fue superior hasta la semana 11; a partir de allí, se observó una tasa de crecimiento superior en las plantas bajo sistema de riego manual; de hecho, en la semana 20, este valor se ubicó en 74,84 cm para riego automatizado y 76,23 cm bajo riego manual.

Para la comparación de la cantidad de flores entre ambos sistemas de riego se parte:

H0: El sistema de riego por goteo automatizado no influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la cantidad de flores en el cultivo de

tomate *Solanum lycopersicum*.

H1: El sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la cantidad de flores en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

Significancia establecida o α : 0,05 (5%).

Decisión: se comprueba H0 si la Sig de la prueba es mayor o igual a α ; es decir, si Sig. \geq 0,05.

Tabla 26

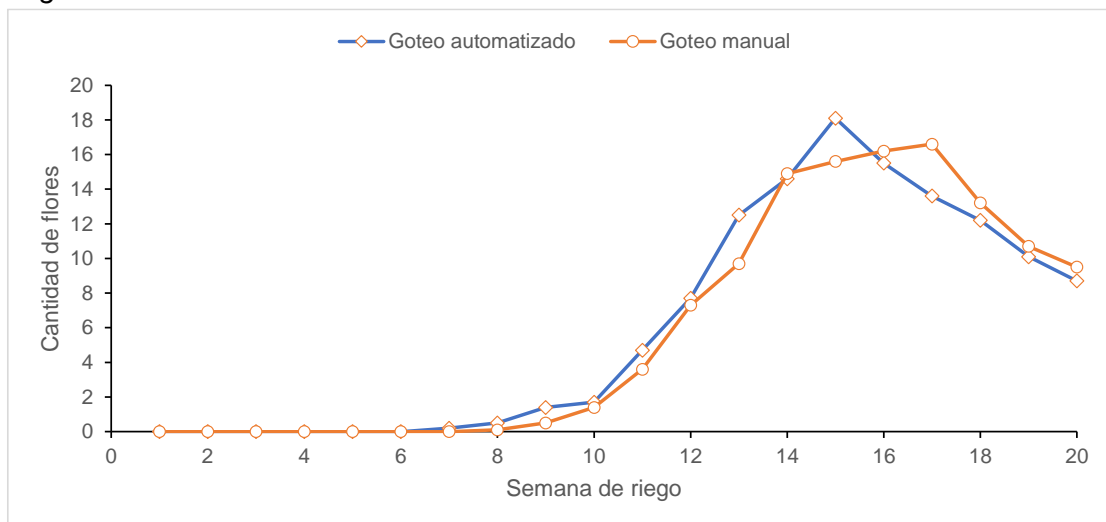
Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de flores entre sistemas de riego

Variable	U de Mann-Whitney	Sig.
Cantidad de flores	47,00	0,821

En la tabla 26 se aprecia que la Sig. de la prueba U de Mann-Whitney es 0,821 (Sig. = 0,821); así, Sig. \geq 0,05, por lo que se admite H0. Esto refleja que la diferencia existente en la cantidad de flores de las plantas del cultivo de *Solanum lycopersicum* no son estadísticamente significativas, con lo cual ninguno de los dos sistemas de riego genera una cantidad de flores más alta.

Figura 60

Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de flores entre sistemas de riego



Además, como se observa en la figura 60, la floración del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* comenzó en la semana 7 en las plantas bajo sistema de riego automatizado, alcanzando el valor más alto con esta forma de irrigación en la semana 15 con 18,10 flores por planta. Mientras que fue en la semana 8 en las

plantas bajo sistema de riego manual, alcanzando el valor más alto con esta forma de irrigación en la semana 17 con 16,60 flores por planta.

Para la comparación de la cantidad de frutos entre ambos sistemas de riego se parte:

H0: El sistema de riego por goteo automatizado no influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la cantidad de frutos en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

H1: El sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la cantidad de frutos en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

Significancia establecida o α : 0,05 (5%).

Decisión: se comprueba H0 si la Sig de la prueba es mayor o igual a α ; es decir, si Sig. \geq 0,05.

Tabla 27

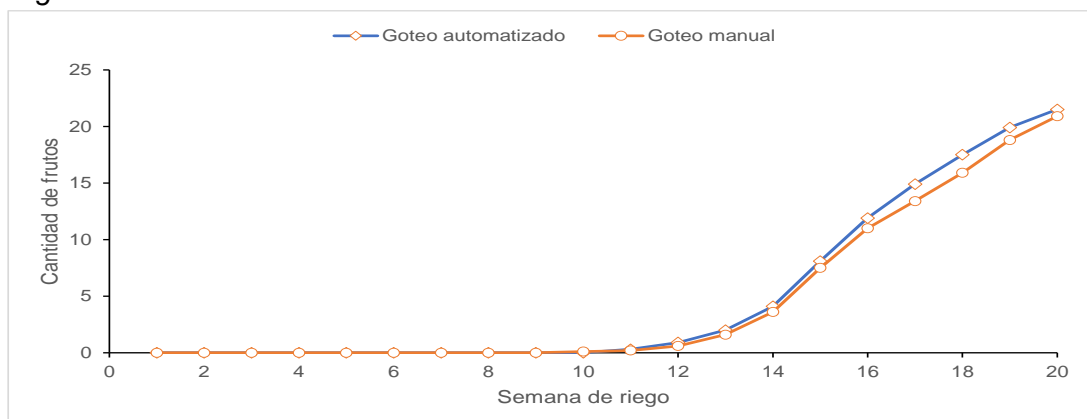
Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de frutos entre sistemas de riego

Variable	U de Mann-Whitney	Sig.
Cantidad de flores	26,00	0,070

En la tabla 27 se aprecia que la Sig. de la prueba U de Mann-Whitney es 0,070 (Sig. = 0,070); así, Sig. \geq 0,05, por lo que se admite H0. Esto refleja que la diferencia existente en la cantidad de frutos de las plantas del cultivo de *Solanum lycopersicum* no son estadísticamente significativas, con lo cual ninguno de los dos sistemas de riego genera una cantidad de frutos más alta.

Figura 61

Comparación del desarrollo semanal de la cantidad de frutos entre sistemas de riego



Además, como se observa en la figura 61, la fructificación del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* fue primeramente en las plantas bajo sistema de riego manual en la semana 11; sin embargo, la tasa de crecimiento de la cantidad de frutos se aceleró en las plantas bajo sistema de riego automatizado, logrando el valor más alto en la semana 20 con 21,50 frutos por cultivo, mientras que del sistema de riego manual fue en la semana 20 con 20,90 frutos por cultivo.

Para la comparación del rendimiento de producción entre ambos sistemas de riego se parte:

H0: El sistema de riego por goteo automatizado no influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en el rendimiento de producción en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

H1: El sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en el rendimiento de producción en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

Significancia establecida o α : 0,05 (5%).

Decisión: se comprueba H0 si la Sig de la prueba es mayor o igual a α ; es decir, si Sig. \geq 0,05.

Tabla 28

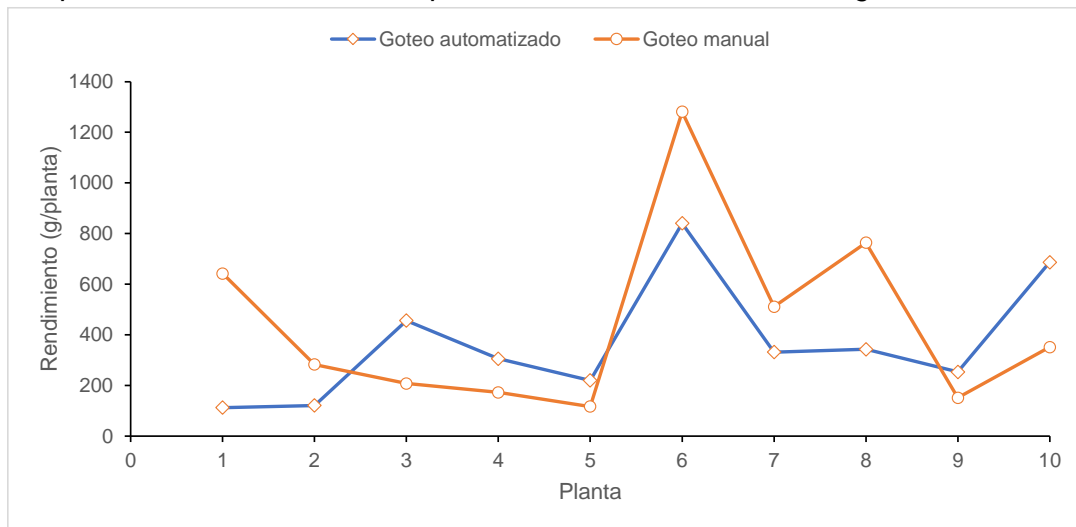
Comparación del rendimiento de producción entre sistemas de riego

Variable	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	Error estándar de la diferencia	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
						Inferior	Superior
Rendimiento de producción (g/planta)	0,588	38	0,282	-80,96	137,58	-208,10	370,02

En la tabla 28 se aprecia que la Sig. de la prueba t-Student para dos muestras independientes es 0,282 (Sig. = 0,282); así, Sig. \geq 0,05, por lo que se admite H0. Esto refleja que la diferencia existente en rendimiento de producción del cultivo de *Solanum lycopersicum* no son estadísticamente significativas, con lo cual ninguno de los dos sistemas de riego genera un rendimiento superior.

Figura 62

Comparación del rendimiento de producción entre sistemas de riego



Además, como se observa en la figura 62, el rendimiento de producción entre los sistemas de riego varía entre plantas, aunque se observa mayores niveles en el rendimiento de las plantas bajo sistema de riego manual, lo que genera una diferencia a su favor de 80,96 gr/planta.

Para la comparación de la eficiencia en el uso de agua entre ambos sistemas de riego se parte:

H0: El sistema de riego por goteo automatizado no influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la eficiencia en el uso de agua en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

H1: El sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la eficiencia en el uso de agua en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

Significancia establecida o α : 0,05 (5%).

Decisión: se comprueba H0 si la Sig de la prueba es mayor o igual a α ; es decir, si Sig. \geq 0,05.

Tabla 29

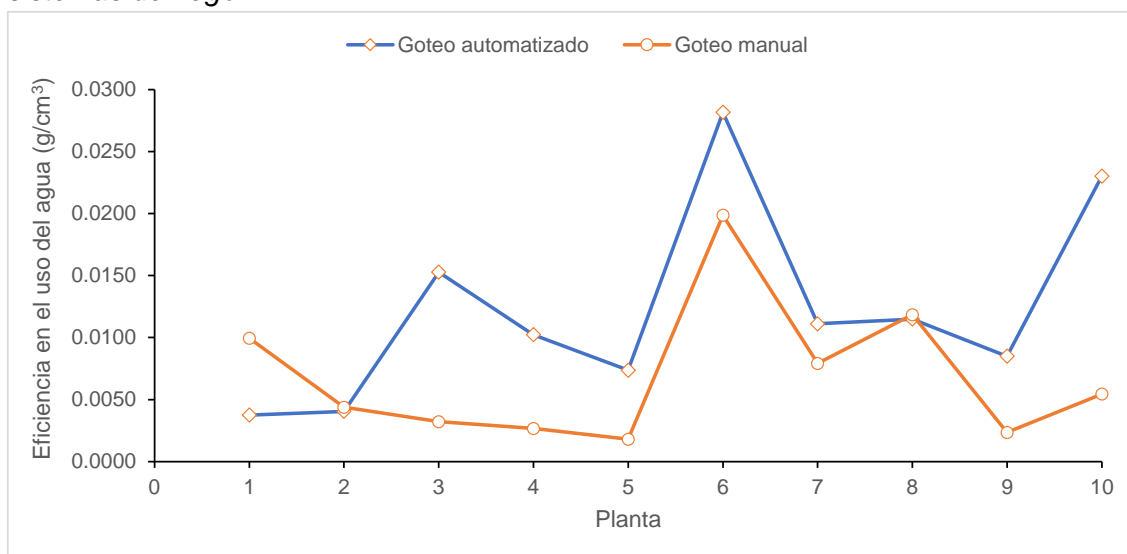
Comparación del desarrollo semanal de la eficiencia en el uso del agua entre sistemas de riego

Variable	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	Error estándar de la diferencia	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
						Inferior	Superior
Eficiencia en el uso del agua (g/cm ³)	-1,745	18	0,049	0,0054	0,0031	-0,1184	0,00111

En la tabla 29 se aprecia que la Sig. de la prueba t-Student para dos muestras independientes es 0,049 (Sig. = 0,049); así, Sig. < 0,05, por lo que se admite H1, esto refleja que: El sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la eficiencia en el uso de agua en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*.

Figura 63

Comparación del desarrollo semanal de la eficiencia en el uso del agua entre sistemas de riego



Además, como se observa en la figura 63, la eficiencia en el uso de agua bajo el sistema de riego de automatizado es mayor a la registrada en el otro sistema de irrigación empleado, con una diferencia de 0,0054 gr/cm³.

4.2. DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio reflejan que el sistema de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en la eficiencia en el uso de agua en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* con una mejora de 0,0054 gr/cm³ ($t = -1,745$, $p < 0,05$); sin embargo, no existieron diferencias significativas entre ambos sistemas en los indicadores altura de la planta; cantidad de flores y de frutos, y rendimiento de producción. Esta mejora en el uso del agua observada en el riego automatizado es explicada por Pereira et al. (2023) en su investigación en cuanto a sus potencialidades para prevenir el sobre riego (evaluando si el suelo está seco o si la temperatura es la ideal para la absorción del agua), demostrando que la automatización del riego por

goteo automatizado puede proporcionar un suministro de agua preciso y eficiente comparado con métodos tradicionales.

Esto también se desprende de los resultados alcanzados por Singh et al. (2023) en la India donde se observó que el equilibrio entre eficiencia hídrica y rendimiento es difícil de obtener, debido a que menores cantidades de agua si bien se asocia con ahorros en el empleo de este recurso, también incide en rendimientos más bajos al transportar menos nutrientes.

Este resultado es coincidente con los hallazgos de Rana et al. (2023) en Bangladesh, debido a que observaron que la automatización en el riego del arroz no genera resultados tan disímiles en el rendimiento del cultivo (con diferencias de 0,06 t/ha en comparación con sistemas manuales), pero si hay diferencias significativas en el volumen de agua empleado, generando un ahorro de 3,68 kg/ha/cm (5%), lo que evidencia que estos sistemas se concentran en evitar el sobre riego en las plantaciones. Esto también se manifestó en el trabajo investigativo con el cultivo de brócoli realizado por Kumar et al. (2021), donde refleja que la opción de riego automatizado mejora solamente la productividad máxima del agua de riego (9,7 kg/m³) con ahorro de este recurso de 44,75%.

En contraste con lo anterior, el estudio de Bwambale et al. (2023) en Ghana difiere con los resultados de la presente investigación en cuanto a que el sistema automatizado de riego tuvo un efecto positivo no solo en la eficiencia en el uso del agua (mayor en 1,5 kg/m³), sino en el rendimiento (mayor en 2 t/ha) y en la altura de la planta (mayor en 10 cm). Esta discrepancia se explica por el entorno experimental de campo abierto utilizado por los autores. Bajo estas condiciones, el sistema de lazo abierto aprovechó la precipitación natural de la temporada de lluvias, lo que redujo la necesidad de extracción de agua de los reservorios y favoreció un aumento en el rendimiento del cultivo. Este fenómeno no se replica en condiciones de invernadero, donde el aporte pluvial es nulo y el riego depende enteramente del sistema instalado. Tampoco este resultado es coincidente en su totalidad con los hallazgos de Acar et al. (2022) en Turquía, donde el sistema de riego por goteo automatizado con IoT logró mejoras en el rendimiento y en la eficiencia del uso del agua frente al método convencional.

Incluso, estudios en otros cultivos como el del algodón realizado por Guo y Chen (2024) en China también obtuvo un resultado contrario en cuanto al rendimiento, debido a que el rendimiento obtenido por el método de riego inteligente fue mayor en 69,98% al riego tradicional; sin embargo, si hubo coincidencia en la mejora del volumen de agua empleado, siendo más eficiente en 11,59%. Esta diferencia puede explicarse debido a que estos autores usaron un algoritmo de control PID que estima la información de tendencia futura basándose en la información de control anterior y actual para que el sistema sepa en que momentos regar, el cual no fue empleado en el presente estudio. Esto también fue descubierto por Cusi et al. (2024) en Arequipa (Perú), donde la automatización del riego elevó el rendimiento en el cultivo de papa en 18% y redujo el consumo del agua en 16,12% y por Loayza (2024) en Ayacucho con un alto rendimiento en el cultivo de la zanahoria, alcanzado 7 kg/m² (superior al nivel promedio nacional de 2,52 kg/m² y de 6,19 kg/m² en condiciones de invernadero).

En el estudio nacional de Sánchez y Manrique (2024), también se aprecia otra de las desventajas de los sistemas de riego por goteo automatizado y es que aunque hubo una disminución del 55% en el consumo de agua y una tasa de cosecha superior en 25% en el cultivo de lechuga, la automatización también conlleva importantes gastos, no solo en inversión inicial, sino en mantenimiento periódico a los sensores para asegurar su correcto funcionamiento, siendo necesario actualizar permanente sus componentes.

Específicamente, con el sistema de riego por goteo manual se encontró una altura promedio de 76,23 cm a las 20 semanas de plantación; una cantidad de flores máxima de 16,60 por planta en la semana 17 (con inicio de floración en la semana 8) y de frutos de 20,90 por planta en la semana 20 (con inicio de la fructificación en la semana 10); el rendimiento promedio fue de 447,90 g/planta y la eficiencia en el uso del agua promedio alcanzó 0,0069 g/cm³. En primer lugar, como destaca López (2016), la altura de la planta obtenida se encuentra en el rango 60-90 cm en esta variedad del tomate; además, la floración inició en el intervalo de las semanas 7 y 11, y la fructificación entre las semanas 10 y 14, adecuándose a las condiciones del cultivo y el rendimiento de 447,90 g/planta, se ubica en el rango de 200 – 500 g por planta. Se afirma, igualmente, que la altura de 76,23 cm alcanzada bajo este sistema de riego es superior a la obtenida por Bwambale et al. (2023) que fue de 68

cm y la eficiencia en el uso de agua para el cultivo de $0,0069 \text{ gr/cm}^3$ superó al $0,0056 \text{ gr/cm}^3$ registrada por esos autores.

Por su parte, con el sistema de riego automatizado se obtuvo un promedio de altura de la planta de 74,84 cm en la semana 20; la cantidad de flores máxima fue de 18,10 por planta en la semana 15 (con inicio de floración en la semana 7) y de frutos de 21,50 por planta en la semana 20 (con inicio de fructificación en la semana 11); con un rendimiento promedio de 366,93 g/planta y eficiencia en el uso de agua promedio de $0,0123 \text{ g/cm}^3$. Al igual que, en el caso anterior, como destaca López (2016) la altura de la planta obtenida se encuentra en el rango 60-90 cm en esta variedad del tomate; además, la floración inició en el intervalo de las semanas 7 y 11, y la fructificación entre las semanas 10 y 14, adecuándose a las condiciones del cultivo y el rendimiento de 366,93 g/planta, se ubica en el rango de 200 – 500 g por planta. Se destaca, igualmente, que la altura de 74,84 cm alcanzada bajo este sistema de riego es superior a la obtenida por Bwambale et al. (2023) que fue de 73 cm y la eficiencia en el uso de agua para el cultivo de $0,0123 \text{ gr/cm}^3$ superó al $0,0071 \text{ gr/cm}^3$ registrada por esos autores.

Se identificaron diversos artículos de investigación que emplearon tamaños de muestra similares al presente trabajo, garantizando que los hallazgos de este estudio sean extrapolables al contexto general del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*. En primer lugar, los autores como Bwambale et al. (2023), quienes emplearon 5 plantaciones de tomate como muestra para cada tipo de riego por goteo: manual, circuito abierto (automatizado) y control predictivo de modelos; evaluaron la altura, número de flores y frutos de la planta con la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), y evaluaron el rendimiento de producción y eficiencia del uso del agua con la prueba ANOVA para identificar diferencias significativas. También están los autores Acar et al. (2022) quienes emplearon 3 plantaciones (pimiento, tomate y berenjena) como muestra para dos métodos de riego por goteo: riego manual y riego automatizado. Igualmente están los autores Pereira et al. (2023) quienes emplearon 8 bulbos de cebolla como muestra para el método de riego por goteo automatizado. De la misma forma Catota et al. (2024) emplearon 6 plantas de frijol como muestra para el riego por goteo automatizado durante 3 meses. Asimismo, Sanchez y Manrique (2024) emplearon 12 plantaciones de lechuga como muestra para cada tipo de riego por goteo: manual y

automatizado; y evaluaron la diferencia significativa de peso, tamaño y eficiencia del uso del agua con prueba T de Student y la uniformidad de color con la prueba de Chi-Cuadrado. Estas evidencias científicas indicaron que el uso de muestras pequeñas permite validar la influencia de un método de riego en el cultivo; en este caso se demostró que mediante la prueba t-Student y U de Mann-Whitney el sistema automatizado influye significativamente más que el manual en la eficiencia del uso del agua y sin comprometer las otras dimensiones dependientes. Por tanto, la repetibilidad del control de riego por goteo automatizado es viable en plantaciones de mayor envergadura, siempre que se repliquen las condiciones operativas y los parámetros de diseño planteados en esta investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En cuanto al objetivo general se concluyó que el sistema de control de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de control de riego por goteo manual en la eficiencia en el uso de agua en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* con una mejora de $0,0054 \text{ g/cm}^3$ ($t = -1,745$, $p < 0,05$); sin embargo, no existieron diferencias significativas entre ambos sistemas en los indicadores altura de la planta, cantidad de plantas y de frutos, y rendimiento de producción.

Con respecto al primer objetivo específico, se concluyó que con el sistema de riego por goteo manual se encontró una altura promedio de $76,23 \text{ cm}$ a las 20 semanas de plantación; una cantidad de flores máxima de $16,60$ por planta en la semana 17 (con inicio de floración en la semana 8) y de frutos de $20,90$ por planta en la semana 20 (con inicio de la fructificación en la semana 10); el rendimiento promedio fue de $447,90 \text{ g/planta}$ y la eficiencia en el uso del agua promedio alcanzó $0,0069 \text{ g/cm}^3$.

En términos del segundo objetivo específico, se concluyó que con el sistema de riego automatizado se obtuvo un promedio de altura de la planta de $74,84 \text{ cm}$ en la semana 20; la cantidad de flores máxima fue de $18,10$ por planta en la semana 15 (con inicio de floración en la semana 7) y de frutos de $21,50$ por planta en la semana 20 (con inicio de fructificación en la semana 11); con un rendimiento promedio de $366,93 \text{ g/planta}$ y eficiencia en el uso de agua promedio de $0,0123 \text{ g/cm}^3$.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda optimizar el sistema de riego automatizado mediante la implementación de modelos híbridos de predicción. La integración del modelo ARIMA con algoritmos de Machine Learning de vanguardia permitiría capturar tanto patrones lineales como complejos, lo cual podría maximizar la precisión del riego y, consecuentemente, el rendimiento productivo.

Se recomienda a futuros investigadores realizar una evaluación técnico-financiera de la propuesta de automatización presentada, que permita determinar el retorno de la inversión y el tiempo en el cual se recupera este monto.

Se recomienda diversificar el uso del sistema propuesto en otros cultivos para ver si este esquema es generalizable.

Referencias bibliográficas

- Abdoulaye, A., Lu, H., Zhu, Y. y Hamoud, Y. (2021). *Future Irrigation Water Requirements of the Main Crops Cultivated in the Niger River Basin* [Requerimientos futuros de agua de riego de los principales cultivos cultivados en la cuenca del río Níger]. <https://doi.org/10.3390/atmos12040439>
- Acar, A., Mengü, H., Karatay, S. y Erken, F. (2022). *Increasing the plant productivity using the automatic controlled irrigation system: a comparative experimental study* [Incremento de la productividad vegetal mediante el sistema de riego automático controlado: un estudio experimental comparativo]. <https://scispace.com/pdf/increasing-the-plant-productivity-using-the-automatic-2euk92cx.pdf>
- Alemán, R., Domínguez, J., Rodríguez, Y. y Soria, S. (2016). Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en Invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana. *Centro Agrícola*, 43 (1), 71-76. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n1/cag10116.pdf>
- Bwambale, E., Abagale, F. y Anornu, G. (2023). *Model-based smart irrigation control strategy and its effect on water use efficiency in tomato production* [Estrategia de control de riego inteligente basada en modelos y su efecto en la eficiencia del uso del agua en la producción de tomate]. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2259217>
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Editorial San Marcos.
- Catota, P., Minaya, C., Guzmán, J., Albán, E. y Rosero, R. (2024). *Sustainability of precision agriculture as a proposal for the development of autonomous crops using IoT* [Sostenibilidad de la agricultura de precisión como propuesta para el desarrollo de cultivos autónomos mediante IoT]. <https://doi.org/10.37391/IJEER.120121>
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2023). *Estudio prospectivo sobre el estrés hídrico y la inseguridad alimentaria en el Perú*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5511475/4909702-estudio-prospectivo-de-estres-hidrico-e-inseguridad-alimentaria-ceplan.pdf>
- Colimba, J., Zobelzu, S. y Rodríguez Guez, L. (2022). *Optimal Irrigation Scheduling for Greenhouse Tomato Crop (Solanum Lycopersicum L.) in Ecuador* [Programación óptima del riego para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero en Ecuador]. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051020>
- Cusi, M., Leon, L. y Cristobal, R. (2024). *Diseño y desarrollo de un sistema integrado de monitoreo y riego automatizado con tecnologías IoT para la agricultura sostenible en Arequipa, Perú* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/19040>.
- FAO (2020). *Frutas y verduras – esenciales en tu dieta. Año Internacional de las Frutas y Verduras, 2021. Documento de antecedentes*. <https://doi.org/10.4060/cb2395es>
- Fereres, E. y Soriano, M. (2007). *Deficit irrigation for reducing agricultural water use* [Riego deficitario para reducir el consumo de agua en la agricultura]. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Fundación Aquae (2021). *Los países con mayor escasez de agua del mundo*. Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/ranking-de-paises->

- con-escasez-de-agua/amp/?gad_source=1&gad_campaignid=11897514205&gbraid=0AAAAABxilaRK2BwsQCQKIBghJrGi6lD6l&gclid=Cj0KCQjwss3DBhC3ARIsALdgYxPu7hyB7AT2M_5HN9tFOWUdOyvChr7WhTtuNKt50lo47uiKWRResZj4aAhPsEALw_wcB#
- Giammarino, M., Mattiello, S., Battini, M., Quatto, P., Battaglini, L., Vieira, A., Stilwell, G. y Renna, M. (2021). *Evaluación de la fiabilidad interobservador de los indicadores de bienestar animal: ¿Cuál es el mejor índice a utilizar?* <https://doi.org/10.3390/ani11051445>
- Google Cloud (2024). *Arquitectura de productos de la plataforma de IoT en Google Cloud*. Google Cloud. <https://cloud.google.com/architecture/connected-devices/iot-platform-product-architecture?hl=es-419>
- Guo, Z. y Chen, H. (2024). *Research on the application of Internet of Things (IoT) for water and fertilizer integration and smart irrigation system in cotton production* [Investigación sobre la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) para la integración del agua y los fertilizantes y el sistema de riego inteligente en la producción de algodón]. <https://doi.org/10.2478/amns-2024-2414>
- Hatfield, J. y Dold, C. (2019). *Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate* [Eficiencia en el uso del agua: avances y desafíos en un clima cambiante]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20SAMPLIERI.pdf>
- Intecx (2025). *Sensor de Humedad de Suelo Resistente a la Corrosión* <https://store.intecx.com.pe/product/sensor-de-humedad-de-suelo/>
- Kumar, J., Patel, N., Singh, R., Sahoo, P., Sudhishri, S. Sehgal, V., Marwaha, S. y Singh, A. (2021). *Development and evaluation of automation system for irrigation scheduling in broccoli (Brassica oleracea)* [Desarrollo y evaluación de un sistema de automatización para la programación del riego en brócoli (*Brassica oleracea*)]. <https://doi.org/10.56093/ijas.v9i1i5.113108>
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: riego por goteo*. <https://alimentacion.conahcyt.mx/glifosato/descargables/alternativas/material-es/RIEGO%20POR%20GOTEO.pdf>
- Loayza, D. (2025). *Implementación y monitoreo con microcontrolador Arduino para automatizar el riego por goteo en parcela de hortalizas, Tambo, Ayacucho-2024* [Tesis de título profesional]. Universidad Nacional de San Cristóbal De Huamanga.
- López, L. (2016). *MANUAL TÉCNICO DEL CULTIVO DE TOMATE Solanum lycopersicum*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Ludeña, J. (2022). *Implementación y monitoreo con tecnología Arduino para automatización de riego tecnificado en el Centro Experimental Canaán UNSCH - Ayacucho 2021* [Tesis de título profesional]. Universidad Nacional de San Cristóbal De Huamanga.
- Luna, W., Estrada, H., Jiménez, J. y Pinzón, L. (2012). *Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias*. Terra Latinoamericana, 30(4), 343-352. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v30n4/2395-8030-tl-30-04-00343.pdf>
- Martínez, J. y Pérez, P. (2022). *Coeficiente de correlación intraclase*. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-articulo-coeficiente-correlacion-intraclase-S1138359322002817>

- Maureira, F., Rajagopalan, K., Stöckle, C. (2022). *Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems* [Evaluación de la producción de tomate en sistemas de campo abierto e invernaderos de alta tecnología]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130459>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C. y Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2016). *Ayacucho: Cosechando desarrollo en la sierra. Resultados 2011-2016*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/logros-minagri-2011-2016/ayacucho.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2019). *Servicio de consultoría para la elaboración de la línea de base de la diversidad genética del tomate nativo: prospección de la diversidad, estudio socioeconómico, ecológico, de organismos y microorganismos, flujo de genes y sistematización*. <https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/Informe-del-Quinto-Producto-Tomate.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021). *Tomate. Semana Nacional de Frutas y Verduras 2021*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1828921/Dossier%20Tomate.pdf>
- Miranda Novales, M. G., Arias Gómez, J., & Villasís Keever, M. A. (2016). *El protocolo de investigación III: la población de estudio*. *Alergia México*, 63(2), 201-206. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
- Mukherjee, S., Dash, P., Das, D. y Das, S. (2023). *Growth, Yield and Water Productivity of Tomato as Influenced by Deficit Irrigation Water Management* [Crecimiento, rendimiento y productividad del agua del tomate en función de la gestión del agua de riego deficitario]. <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00624-z>
- Naylampmechatronics (2025). *Arduino Mega 2560 REV3*. <https://naylampmechatronics.com/arduino-original/999-arduino-mega-2560-rev3-original.html>
- Naylampmechatronics (2025). *Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201*. <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>
- Naylampmechatronics (2025). *Shield Ethernet W5100*. <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/12-shield-ethernet-w5100.html>
- Naylampmechatronics (2025). *Módulo Relay 1CH 5VDC*. <https://naylampmechatronics.com/drivers/297-modulo-relay-1-canal-5vdc.html>
- Naylampmechatronics (2025). *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 con base KY-015*. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/1072-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11-con-base-ky-015.html>
- Naylampmechatronics (2025). *Válvula solenoide 1/2" 12VDC (NC)*. <https://naylampmechatronics.com/valvulas/314-valvula-solenoide-1p2-pulg-12vdc-nc.html>
- Peña, C. (2017). *Arduino de cero a experto*. Buenos Aires: RedUsers.
- Pereira, G., Chaari, M. y Daroge, F. (2023). *IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32*. <https://doi.org/10.3390/iot4030012>

- Pérez-Harguindeguy, N. et al. (2013). *New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide*. Australian Journal of Botany, 61, 167-234. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>
- Rana, M., Rahman, M., Hosain, M. y Miah, Y. (2023). *Development and evaluation of the first automated irrigation system for alternate wetting and drying technique in rice cultivation in Bangladesh*. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100348>
- Sanchez, M. y Manrique, T. (2024). *Diseño de un sistema inteligente para el control del riego por goteo en una parcela de lechugas* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/11685>
- Sanchis, R., Romero, J. y Ariño, C. (2010). *Automatización industrial*. <https://core.ac.uk/download/pdf/61392918.pdf>
- Seyar, M. y Ahamed, T. (2023). *Development of an IoT-Based Precision Irrigation System for Tomato Production from Indoor Seedling Germination to Outdoor Field Production*. <https://doi.org/10.3390/app13095556>
- Singh, J., Sandal, S., Yousuf, A. y Singh, P. (2023). *Effect of Drip Irrigation and Fertigation on Soil Water Dynamics and Productivity of Greenhouse Tomatoes*. <https://doi.org/10.3390/w15112086>
- Supo, J. (2012). *Seminarios de investigación científica*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Ullah, I., Mao, H., Rasool, G., Gao, H., Javed, Q., Sarwar, A. y Khan, M. (2021). *Effect of Deficit Irrigation and Reduced N Fertilization on Plant Growth, Root Morphology and Water Use Efficiency of Tomato Grown in Soilless Culture*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020228>
- Wu, Y., Yan, S., Fan, J., Zhang, F., Xiang, Y., Zheng, J. y Guo, J. (2021). *Responses of growth, fruit yield, quality and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109710>

Lista de abreviaturas

°C: Grados centígrados.

cm: Centímetros.

cm³: Centímetros cúbicos.

ET: Evapotranspiración.

FAO: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.

GND: *Ground* o tierra.

gr: Gramos.

HTTP: Protocolo de transferencia de hipertexto.

IDE: Entorno de desarrollo integrado.

IOT: Internet de las cosas.

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar.

mA: Miliamperios.

ml: Mililitros.

VDC: Voltaje de corriente directa.

Glosario

Internet de las Cosas: Concepto que describe la interconexión digital de objetos cotidianos a través de Internet para que puedan recopilar e intercambiar datos.

Solicitud HTTP: Es el mensaje que un cliente (navegador o aplicación) envía a un servidor para pedir un recurso o realizar una acción en la web.

Entradas/Salidas digitales: Pines de un dispositivo electrónico (Arduino) que solo manejan dos estados discretos: encendido (1) o apagado (0).

Entradas/Salidas analógicas: Pines que pueden leer o generar un rango continuo de valores de voltaje para medir o controlar variables como la temperatura o la velocidad.

Conector RJ45: Es el conector estándar de ocho pines que se utiliza principalmente para la conexión de cables de red Ethernet (LAN).

Nube: Es un modelo de prestación de servicios informáticos (almacenamiento, software, servidores) a través de Internet.

Etapas fenomenológicas: Se refiere a las diferentes fases observables del ciclo de vida de una planta como: germinación, crecimiento vegetativo, floración y fructificación.

Plántula: Es una planta joven que acaba de germinar y está lista para ser trasplantada a su ubicación definitiva.

Trasplante: Es la acción de mover una plántula de su lugar inicial de germinación a un nuevo lugar de crecimiento.

Capacidad de campo: Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener.

Punto de marchitez: Es el contenido de humedad del suelo en el que la planta ya no puede extraer agua y se marchita irreversiblemente.

Abono orgánico: Material de origen biológico (animal o vegetal) que se añade al suelo para mejorar sus propiedades y aportar nutrientes.

Hilera: Una línea ordenada de plantas sembradas una junto a la otra.

Evapotranspiración: Es la pérdida total de agua de un cultivo o superficie terrestre hacia la atmósfera, la cual ocurre por la evaporación desde el suelo y por la transpiración a través de las hojas de las plantas.

Anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Influencia de un sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* en un invernadero, Huanta 2025.

Tabla 30

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método de investigación
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cuál sistema de control de riego por goteo influye más en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>, 2025?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Comparar la influencia del sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>, 2025.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL El sistema de control de riego por goteo automatizado influye significativamente más que el sistema de riego por goteo manual en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>, 2025.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE X: Sistema de control de riego por goteo.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Experimental, prospectivo, longitudinal y analítico.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>a. ¿De qué manera el sistema de control de riego por goteo manual influye en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>?</p> <p>b. ¿De qué manera el sistema de control de riego por goteo automatizado influye en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a. Determinar la influencia del sistema de control de riego por goteo manual en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>.</p> <p>b. Determinar la influencia del sistema de control de riego por goteo automatizado en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a. El sistema de control de riego por goteo manual influye en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>.</p> <p>b. El sistema de control de riego por goteo automatizado influye en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>.</p>	<p>DIMENSIONES X1: Sistema de riego por goteo manual. X2: Sistema de riego por goteo automatizado.</p> <p>INDICADORES X1.1: Valores empíricos del umbral de humedad del suelo en porcentaje. X2.1: Valores del umbral de humedad del suelo en porcentaje.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE Y: Cultivo del tomate</p> <p>DIMENSIONES Y1: Altura de la planta Y2: Cantidad de flores Y3: Cantidad de frutos</p>	<p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo</p> <p>DISEÑO Experimental, prospectivo longitudinal.</p> <p>POBLACIÓN 20 plantaciones de tomate.</p> <p>MUESTRA 10 plantaciones para riego por goteo manual y 10 para riego por goteo automatizado.</p> <p>TÉCNICA Medición directa de altura de la planta. Medición directa de cantidad de flores.</p>

<p>Y4: Rendimiento de producción</p> <p>Y5: Eficiencia en el uso del agua</p> <p>INDICADORES</p> <p>Y1.1: Altura en centímetros.</p> <p>Y2.1: Número de flores.</p> <p>Y3.1: Número de frutos.</p> <p>Y4.1: Peso total de los frutos por planta (gr/planta).</p> <p>Y5.1: Peso total de los frutos de la planta por centímetro cubico de agua. (gr/cm³)</p>	<p>Medición directa de cantidad de frutos.</p> <p>Medición directa de consumo de agua.</p> <p>Medición directa de producción del tomate.</p> <p>INSTRUMENTO</p> <p>Dispositivos empleados (sensor de flujo de agua, cinta métrica, balanza y Microsoft Excel)</p>
---	--

Anexo 2. Ficha observacional: Juez 01

Figura 64

Puntuación asignada por el juez 01 al instrumento

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Señor juez o experto se requiere su colaboración para determinar la validez de contenido del instrumento registro, usted puede sugerir retirar ítems, incorporar ítems o cambiar el contenido de un ítem. La calificación se establece en una escala de 1 (no cumple), 2 (bajo nivel), 3 (moderado nivel) y 4 (cumple). Se agradece por su colaboración.

N°	DIMENSIONES / ítems	Relevancia ¹	Representatividad ²	Claridad ³	Sugerencias / Observaciones
Dimensión: Sistema de riego por goteo manual.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) considerados por el agricultor?	4	3	4	Ninguna
Dimensión: Sistema de riego por goteo automatizado.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) a configurar en el controlador?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Altura de la planta					
1	¿Cuál es la longitud vertical (en cm) desde la base del tallo hasta la hoja más alta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de flores					
1	¿Cuál es el número total de flores abiertas contadas en la planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de frutos					
1	¿Cuál es el número total de frutos contados en la planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Rendimiento de producción					

1	¿Cuál es el peso total (en gr) de todos los frutos cosechados de cada planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Eficiencia en el uso del agua					
1	¿Cuál es el volumen total de agua (cm ³) aplicada en la planta?	3	4	4	Ninguna
2	¿Cuál es el valor resultante de dividir el peso total (gr) de los frutos por planta entre el volumen de agua (cm ³) aplicada en dicha planta?	4	4	4	Ninguna

Observaciones (precisar si hay observaciones): ninguna.

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [x], Aplicable después de corregir [], No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Mg. Fiorella Luque Mendieta.

DNI: 45382539

Especialidad del validador: Ingeniera de Sistemas/ Maestra en Gestión Pública

Lugar y fecha de la evaluación del instrumento: 02 de junio del 2025.



Fiorella Luque Mendieta

INGENIERO DE SISTEMAS

REG. CIP N° 260666

.....
firma

¹**Relevancia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²**Representatividad:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Anexo 3. Ficha observacional: Juez 02

Figura 65

Puntuación asignada por el juez 02 al instrumento

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Señor juez o experto se requiere su colaboración para determinar la validez de contenido del instrumento registro, usted puede sugerir retirar ítems, incorporar ítems o cambiar el contenido de un ítem. La calificación se establece en una escala de 1 (no cumple), 2 (bajo nivel), 3 (moderado nivel) y 4 (cumple). Se agradece por su colaboración.

N°	DIMENSIONES / ítems	Relevancia ¹	Representatividad ²	Claridad ³	Sugerencias / Observaciones
Dimensión: Sistema de riego por goteo manual.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) considerados por el agricultor?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Sistema de riego por goteo automatizado.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) a configurar en el controlador?	3	4	4	Ninguna
Dimensión: Altura de la planta					
1	¿Cuál es la longitud vertical (en cm) desde la base del tallo hasta la hoja más alta?	3	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de flores					
1	¿Cuál es el número total de flores abiertas contadas en la planta?	3	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de frutos					
1	¿Cuál es el número total de frutos contados en la planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Rendimiento de producción					

1	¿Cuál es el peso total (en gr) de todos los frutos cosechados de cada planta?	3	4	4	Ninguna
Dimensión: Eficiencia en el uso del agua					
1	¿Cuál es el volumen total de agua (cm ³) aplicada en la planta?	4	4	4	Ninguna
2	¿Cuál es el valor resultante de dividir el peso total (gr) de los frutos por planta entre el volumen de agua (cm ³) aplicada en dicha planta?	4	3	4	Ninguna

Observaciones (precisar si hay observaciones): ninguna.

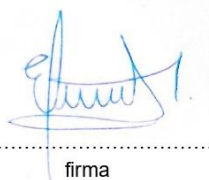
Opinión de aplicabilidad: Aplicable [x], Aplicable después de corregir [], No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Lissette Elvira Fernández Jeri

DNI: 40705012

Especialidad del validador: Maestro en Ingeniería de Sistemas, Mención: Informática

Lugar y fecha de la evaluación del instrumento: 02 de junio del 2025.



.....

firma

¹**Relevancia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²**Representatividad:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Anexo 4. Ficha observacional: Juez 03

Figura 66

Puntuación asignada por el juez 03 al instrumento

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Señor juez o experto se requiere su colaboración para determinar la validez de contenido del instrumento registro, usted puede sugerir retirar ítems, incorporar ítems o cambiar el contenido de un ítem. La calificación se establece en una escala de 1 (no cumple), 2 (bajo nivel), 3 (moderado nivel) y 4 (cumple). Se agradece por su colaboración.

N°	DIMENSIONES / ítems	Relevancia ¹	Representatividad ²	Claridad ³	Sugerencias / Observaciones
Dimensión: Sistema de riego por goteo manual.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) considerados por el agricultor?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Sistema de riego por goteo automatizado.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) a configurar en el controlador?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Altura de la planta					
1	¿Cuál es la longitud vertical (en cm) desde la base del tallo hasta la hoja más alta?	4	4	3	Ninguna
Dimensión: Cantidad de flores					
1	¿Cuál es el número total de flores abiertas contadas en la planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de frutos					
1	¿Cuál es el número total de frutos contados en la planta?	4	4	3	Ninguna
Dimensión: Rendimiento de producción					

1	¿Cuál es el peso total (en gr) de todos los frutos cosechados de cada planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Eficiencia en el uso del agua					
1	¿Cuál es el volumen total de agua (cm ³) aplicada en la planta?	4	3	4	Ninguna
2	¿Cuál es el valor resultante de dividir el peso total (gr) de los frutos por planta entre el volumen de agua (cm ³) aplicada en dicha planta?	4	4	4	Ninguna

Observaciones (precisar si hay observaciones): ninguna.

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [x], Aplicable después de corregir [], No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Richard Zapata Casaverde,

DNI: 41901791

Especialidad del validador: Maestro en Ingeniería de Sistemas, Mención: Informática

Lugar y fecha de la evaluación del instrumento: 01 de junio del 2025.



RICHARD ZAPATA CASAVERDE
INGENIERO INFORMÁTICO
CIP 162425
firma

¹**Relevancia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²**Representatividad:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Anexo 5. Ficha observacional: Juez 04

Figura 67

Puntuación asignada por el juez 04 al instrumento

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Señor juez o experto se requiere su colaboración para determinar la validez de contenido del instrumento registro, usted puede sugerir retirar ítems, incorporar ítems o cambiar el contenido de un ítem. La calificación se establece en una escala de 1 (no cumple), 2 (bajo nivel), 3 (moderado nivel) y 4 (cumple). Se agradece por su colaboración.

N°	DIMENSIONES / ítems	Relevancia ¹	Representatividad ²	Claridad ³	Sugerencias / Observaciones
Dimensión: Sistema de riego por goteo manual.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) considerados por el agricultor?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Sistema de riego por goteo automatizado.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) a configurar en el controlador?	4	4	3	Ninguna
Dimensión: Altura de la planta					
1	¿Cuál es la longitud vertical (en cm) desde la base del tallo hasta la hoja más alta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de flores					
1	¿Cuál es el número total de flores abiertas contadas en la planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de frutos					
1	¿Cuál es el número total de frutos contados en la planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Rendimiento de producción					

1	¿Cuál es el peso total (en gr) de todos los frutos cosechados de cada planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Eficiencia en el uso del agua					
1	¿Cuál es el volumen total de agua (cm ³) aplicada en la planta?	4	4	4	Ninguna
2	¿Cuál es el valor resultante de dividir el peso total (gr) de los frutos por planta entre el volumen de agua (cm ³) aplicada en dicha planta?	4	4	4	Ninguna

Observaciones (precisar si hay observaciones): ninguna.

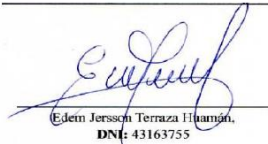
Opinión de aplicabilidad: Aplicable [x], Aplicable después de corregir [], No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Edem Jersson Terraza Huamán

DNI: 43163755

Especialidad del validador: Máster Universitario en Seguridad Informática

Lugar y fecha de la evaluación del instrumento: 03 de junio del 2025.



Edem Jersson Terraza Huamán,
DNI: 43163755

¹**Relevancia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²**Representatividad:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Anexo 6. Ficha observacional: Juez 05

Figura 68

Puntuación asignada por el juez 05 al instrumento

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Señor juez o experto se requiere su colaboración para determinar la validez de contenido del instrumento registro, usted puede sugerir retirar ítems, incorporar ítems o cambiar el contenido de un ítem. La calificación se establece en una escala de 1 (no cumple), 2 (bajo nivel), 3 (moderado nivel) y 4 (cumple). Se agradece por su colaboración.

N°	DIMENSIONES / ítems	Relevancia ¹	Representatividad ²	Claridad ³	Sugerencias / Observaciones
Dimensión: Sistema de riego por goteo manual.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) considerados por el agricultor?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Sistema de riego por goteo automatizado.					
1	¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) a configurar en el controlador?	3	4	4	Ninguna
Dimensión: Altura de la planta					
1	¿Cuál es la longitud vertical (en cm) desde la base del tallo hasta la hoja más alta?	4	3	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de flores					
1	¿Cuál es el número total de flores abiertas contadas en la planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Cantidad de frutos					
1	¿Cuál es el número total de frutos contados en la planta?	4	3	4	Ninguna
Dimensión: Rendimiento de producción					

1	¿Cuál es el peso total (en gr) de todos los frutos cosechados de cada planta?	4	4	4	Ninguna
Dimensión: Eficiencia en el uso del agua					
1	¿Cuál es el volumen total de agua (cm ³) aplicada en la planta?	4	4	4	Ninguna
2	¿Cuál es el valor resultante de dividir el peso total (gr) de los frutos por planta entre el volumen de agua (cm ³) aplicada en dicha planta?	4	4	4	Ninguna

Observaciones (precisar si hay observaciones): ninguna.

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [x], Aplicable después de corregir [], No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Ana Tumbalobos Cabrera

DNI: 28919186

Especialidad del validador: Doctora en Educación

Lugar y fecha de la evaluación del instrumento: 01 de junio del 2025.



 firma

¹Relevancia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²Representatividad: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Anexo 7. Cálculo de la V de Aiken

Figura 69

Resultado de V de Aiken

Inserte valores	
min	1
max	4
k (max-1)	3
n (jueces)	5

Rango Calificación	
1	No cumple
2	Bajo nivel
3	Moderado nivel
4	Cumple

												Intervalo de Confianza		Interpretación	
		Juez 1	Juez 2	Juez 3	Juez 4	Juez 5	Media	Desv. Estandar	V de Aiken	A	B	C	Limite Inferior		Limite Superior
¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) considerados por el agricultor?	Relevancia	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
	Representatividad	3	4	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Claridad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
¿Cuáles son los valores porcentuales de humedad de suelo (mínimo y máximo) a configurar en el controlador?	Relevancia	4	3	4	4	4	3.6	0.489897949	0.86666667	29.8416	6.43373794	37.6832	0.621175008	0.96263953	Aceptable validez
	Representatividad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
	Claridad	4	4	4	3	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
¿Cuál es la longitud vertical (en cm) desde la base del tallo hasta la hoja más alta?	Relevancia	4	3	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Representatividad	4	4	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Claridad	4	4	3	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
¿Cuál es el número total de flores abiertas contadas en la planta?	Relevancia	4	3	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Representatividad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
	Claridad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
¿Cuál es el número total de frutos contados en la planta?	Relevancia	4	4	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Representatividad	4	4	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Claridad	4	4	3	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
¿Cuál es el peso total (en gr) de todos los frutos cosechados de cada planta?	Relevancia	4	3	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Representatividad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
	Claridad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
¿Cuál es el volumen total de agua (cm3) aplicada en la planta?	Relevancia	3	4	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Representatividad	4	4	3	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Claridad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
¿Cuál es el valor resultante de dividir el peso total (gr) de los frutos por planta entre el volumen de agua (cm3) aplicada	Relevancia	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez
	Representatividad	4	3	4	4	4	3.8	0.4	0.93333333	31.8416	5.39442897	37.6832	0.701829224	0.988133411	Aceptable validez
	Claridad	4	4	4	4	4	4	0	1	33.8416	3.8416	37.6832	0.796110734	1	Aceptable validez

Anexo 8. Coeficiente de correlación intraclase de altura**Tabla 31***Valores de altura de prueba de confiabilidad inter-observador*

Planta	Altura (cm)	
	Medición Observador A	Medición Observador B
1	6,1	6
2	6,3	6
3	5,1	5
4	6,5	6,5
5	5	5
6	5,5	5,5
7	5,6	6
8	5	5
9	5,6	5,5
10	6,4	6

Tabla 32*Resultado del CCI en altura de planta*

Coeficiente de correlación intraclase	
Medidas únicas	,929 ^a
Medidas promedio	,963 ^c

a. El estimador es el mismo, esté presente o no el efecto de interacción.

c. Esta estimación se calcula suponiendo que el efecto de interacción está ausente, porque de lo contrario no se puede estimar.

Anexo 9. Coeficiente de correlación intraclase de conteo de flores**Tabla 33***Valores de conteo de flores de prueba de confiabilidad inter-observador*

Planta	Conteo flores	
	Medición Observador A	Medición Observador B
1	1	1
2	4	4
3	10	9
4	7	7
5	3	3
6	8	7
7	2	2
8	2	2
9	3	3
10	2	2

Tabla 34*Resultado del CCI en conteo de flores*

Coeficiente de correlación intraclase	
Medidas únicas	,988 ^a
Medidas promedio	,994 ^c

a. El estimador es el mismo, esté presente o no el efecto de interacción.

c. Esta estimación se calcula suponiendo que el efecto de interacción está ausente, porque de lo contrario no se puede estimar.

Anexo 10. Coeficiente de correlación intraclase de conteo de frutos**Tabla 35***Valores de conteo de frutos de prueba de confiabilidad inter-observador*

Planta	Conteo frutos	
	Medición Observador A	Medición Observador B
1	2	2
2	4	4
3	8	9
4	4	4
5	2	2
6	5	4
7	1	1
8	4	4
9	2	2
10	1	1

Tabla 36*Resultado del CCI de conteo de frutos*

Coeficiente de correlación intraclase	
Medidas únicas	,980 ^a
Medidas promedio	,990 ^c

a. El estimador es el mismo, esté presente o no el efecto de interacción.

c. Esta estimación se calcula suponiendo que el efecto de interacción está ausente, porque de lo contrario no se puede estimar.

Anexo 11. Coeficiente de correlación intraclase de peso de frutos**Tabla 37***Valores de peso de frutos de prueba de confiabilidad inter-observador*

Planta	Peso de frutos (gr)	
	Medición Observador A	Medición Observador B
1	50,31	50,31
2	53,71	53,71
3	68,52	68,52
4	60,31	60,31
5	45,16	45,16
6	75,08	75,08
7	44,78	44,78
8	57,26	57,26
9	51,49	51,49
10	65,4	65,4

Tabla 38*Resultado del CCI de peso de frutos*

Coeficiente de correlación intraclase	
Medidas únicas	1,000 ^a
Medidas promedio	1,000 ^c

a. El estimador es el mismo, esté presente o no el efecto de interacción.

c. Esta estimación se calcula suponiendo que el efecto de interacción está ausente, porque de lo contrario no se puede estimar.

Anexo 12. Análisis de Agua

Figura 70

Resultados de análisis de agua en laboratorio



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

ANÁLISIS DE AGUA

1150976

SOLICITANTE: Sr. Jhour Cristony Carbajal Pareja

PROYECTO: Implementación y supervisión con microcontrolador arduino para automatizar el riego por goteo en dos parcelas de tomates, Huanta, Huanta, Ayacucho 2025.

REGIÓN: Ayacucho **PROVINCIA:** Huanta **DISTRITO:** Huanta **LOCALIDAD:** Ciudad de Huanta

FUENTE: Río Tablachaca **ALTITUD:** 2671 m.s.n.m. **COORDENADAS:** 12°56'24.31"S; 74°14'24.92"W

FECHA DE INGRESO: 11-04-25

FECHA DE RESULTADOS: 19-04-25

Nº Laboratorio	A01454
Nº Campo	Río Tablachaca
pH	7.98
C.E. (µS/cm)	374.00
CATIONES (meq/l)	
Calcio	2.16
Magnesio	0.71
Potasio	0.08
Sodio	0.76
Suma de Cationes (meq/l)	3.71
ANIONES (meq/l)	
Nitratos	0.00
Carbonatos	0.09
Bicarbonatos	2.89
Cloruros	0.77
Sulfatos	0.05
Suma de Aniones (meq/l)	3.89
Na (%)	20.48
Boro (ppm)	0.00
RAS	0.63
Sales Solubles Totales (ppm)	239.36
Dureza (G.H.F.)	14.34
CLASIFICACIÓN	C2-S1*

(*) Se trata de agua de salinidad media. Válida para riego. En ciertos casos, puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio. Muestra riesgo importante de precipitación por ende obturación de emisores, al tratarse de un agua medianamente blanda. Existe riesgo de daño de ligero a moderado, en el uso por aspersión.

19-04-2025



Ph.D. Marblén Cerda Gómez

Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889

982781298 agrolab107@gmail.com

Anexo 13. Análisis Físico de Suelo (humedad)

Figura 71

Resultados de análisis físico de suelo (humedad) en laboratorio



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

1350987

SOLICITANTE: Sr. Jhour Cristony Carbajal Pareja

PROYECTO: Implementación y supervisión con microcontrolador arduino para automatizar el riego por goteo en dos parcelas de tomates, Huanta, Huanta, Ayacucho 2025.

REGIÓN: Ayacucho **PROVINCIA:** Huanta **DISTRITO:** Huanta **LOCALIDAD:** Ciudad de Huanta

FUENTE: Río Tablachaca **ALTITUD:** 2671 m.s.n.m. **COORDENADAS:** 12°56'24.31"S; 74°14'24.92"W

FECHA DE INGRESO: 11-04-25

FECHA DE RESULTADOS: 19-04-25

Nº Laboratorio	AS 112018	AS 112019	AS 112020
Nº Campo	S-01	S-02	S-03
Humedad actual (%)	13.07	21.35	4.37

19-04-2025



Ph.D. Marlene Cerda Gómez
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889

982781298 agrolab107@gmail.com

Anexo 14. Análisis Físico de Suelo (capacidad de campo y punto de marchites)

Figura 72

Resultados de análisis físico general de suelo en laboratorio



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

1350987

SOLICITANTE: Sr. Jhour Cristony Carbajal Pareja

PROYECTO: Implementación y supervisión con microcontrolador arduino para automatizar el riego por goteo en dos parcelas de tomates, Huanta, Huanta, Ayacucho 2025.

REGIÓN: Ayacucho **PROVINCIA:** Huanta **DISTRITO:** Huanta **LOCALIDAD:** Ciudad de Huanta

FUENTE: Río Tablachaca **ALTITUD:** 2671 m.s.n.m. **COORDENADAS:** 12°56'24.31"S; 74°14'24.92W

FECHA DE INGRESO: 11-04-25

FECHA DE RESULTADOS: 19-04-25

Nº Laboratorio	AS 112013
Nº Campo	Huanta
Capacidad de campo (%)	29.75
Punto de marchites (%)	16.79
Densidad aparente (g.cc ⁻¹)	1.20
Arena (%)	46
Limo (%)	28
Arcilla (%)	26
Clase Textural	Franco Arcillo Arenoso

19-04-2025



Ph. D. Marileni Cerda Gómez
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889

982781298 agrolab107@gmail.com

Anexo 15. Código en Arduino IDE del sistema de control manual y automatizado.

```
// ----- Definiciones -----  
// Sensor de humedad  
#define pinHumedad1 A3  
#define pinHumedad2 A4  
const int valorAire1 = 460;  
const int valorAgua1 = 350;  
const int valorAire2 = 480;  
const int valorAgua2 = 360;  
const int limiteMinimoHumedad = 28;  
const int limiteMaximoHumedad = 32;  
int porcentajeHumedadAutomatizado=0, porcentajeHumedadManual=0;  
bool sistemaEncendido = false;  
// Sensor de flujo de agua  
int diaAnterior = -1;  
const float factorConversion = 7.5; // Pulsos por litro (según sensor)  
unsigned long tiempoAnterior = 0;  
float frecuencia = 0.0;  
    //Automatizado  
#define pinFlujoAguaAutomatizado 3  
volatile int conteoPulsosAutomatizado = 0; // Número de pulsos  
float flujoLitrosMinutoAutomatizado;  
float volumenTotalAutomatizado=0.0;  
    //Manual  
#define pinFlujoAguaManual 2  
volatile int conteoPulsosManual = 0; // Número de pulsos  
float flujoLitrosMinutoManual;  
float volumenTotalManual=0.0;  
// Relés  
#define RELE_ON 0  
#define RELE_OFF 1  
#define rele_1 31  
int estadoValvulaAutomatizado = 0;  
bool envioInmediatoAutomatico = false; // Bandera para envíos inmediatos  
//Sensor de temperatura y humedad ambiente  
#include <DHT.h>  
#define DHTPIN 5 // Pin al que está conectado el sensor  
#define DHTTYPE DHT11 // Tipo de sensor (DHT11)  
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  
float temperaturaAmbiente;  
//Ethernet Shield  
#include <SPI.h>  
#include <Ethernet.h>  
#include <NTPClient.h>  
#include <EthernetUdp.h>
```

```

EthernetUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", -5 * 3600, 60000); // UTC-5 (Perú)
int minutoActual=0;
unsigned long ultimaActualizacionHora = 0;
unsigned long tiempoUltimaLectura = 0;
// Configuración de Ethernet
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; // Dirección MAC única
IPAddress ip(192, 168, 1, 102); // Cambia según tu red
//THING_SPEAK
#include <ArduinoHttpClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
const char* apiKeyRead = "FZTG0PNESZFWAPS1";
char server[] = "api.thingspeak.com";
String apiKey = "6BM8KBOUW2LX75SG"; // Reemplaza con tu API Key
EthernetClient client; //Ambos casos
HttpClient http(client, server, 80); //Solo para leer datos
//REINICIAR ARDUINO
#include <EEPROM.h> // Librería para manejar la EEPROM
#include <avr/wdt.h> // Librería para el Watchdog Timer
#define ADDR_CONTADOR 0 // Dirección en EEPROM para almacenar el contador
void reinicioForzoso() {
  Serial.println("Reiniciando...");
  int contadorReinicioForzoso = EEPROM.read(ADDR_CONTADOR);
  if (contadorReinicioForzoso >= 12) {
    EEPROM.write(ADDR_CONTADOR, 0); // Reiniciar el contador
    while (true) {
      delay(1000);
    }
  }
  contadorReinicioForzoso++;
  EEPROM.update(ADDR_CONTADOR, contadorReinicioForzoso); // Guardar en EEPROM
  delay(20000); // Esperar 20 segundos antes del reinicio
  wdt_enable(WDTO_15MS); // Activar el watchdog con un tiempo de espera corto
  while (true){ // Bucle infinito para forzar el reinicio
  }
}
// ----- Configuración -----
void setup() {
  // Comunicación serial
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Sistema iniciado.");
  delay(120000); //delay de 2 minuto, esperando que el wifi se conecte correctamente ante un apagón
  //Shield Ethernet

```

```

if (Ethernet.begin(mac) == 0) {
  Serial.println("Error al iniciar Ethernet. Verifique la conexión.");
  reinicioForzoso();
}
Serial.println("Ethernet iniciado.");
// Iniciar NTP
timeClient.begin();
// Inicializar el sensor DHT11
delay(1000);
dht.begin();
// Configuración sensores de humedad
pinMode(pinHumedad1, INPUT);
pinMode(pinHumedad2, INPUT);
// Configuración sensor flujo de agua
pinMode(pinFlujoAguaAutomatizado, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinFlujoAguaAutomatizado),
  contarPulsosAutomatizado, RISING);
pinMode(pinFlujoAguaManual, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinFlujoAguaManual),    contarPulsosManual,
  RISING);
// Configuración relés
pinMode(rele_1, OUTPUT);
digitalWrite(rele_1, HIGH); // Iniciar relé apagado (relé activado por LOW)
//Apagar Rele
digitalWrite(rele_1, HIGH); // Apaga el relé al establecer la conexión
}
// ----- Funciones -----
// Sensor humedad suelo
void controlarHumedadAutomatizado() {
  int humedad = analogRead(pinHumedad1); //AUTOMATIZADO
  porcentajeHumedadAutomatizado = map(humedad, valorAire1, valorAgua1, 0,
  100);
  porcentajeHumedadAutomatizado = (0.394*porcentajeHumedadAutomatizado)-
  4.0127;
  if(porcentajeHumedadAutomatizado<=0){
    porcentajeHumedadAutomatizado=0;
  }
  Serial.print("Humedad 1: ");
  Serial.print(humedad);
  Serial.print(", Humedad 1: ");
  Serial.print(porcentajeHumedadAutomatizado);
  Serial.println("%");
}
void controlarHumedadManual() {
  int humedad = analogRead(pinHumedad2); //MANUAL
  porcentajeHumedadManual = map(humedad, valorAire2, valorAgua2, 0, 100);
}

```

```

porcentajeHumedadManual = (0.3628*porcentajeHumedadManual)-3.1521;
if(porcentajeHumedadManual<=0){
  porcentajeHumedadManual=0;
}
Serial.print("Humedad 2: ");
Serial.print(humedad);
Serial.print(", Humedad 2: ");
Serial.print(porcentajeHumedadManual);
Serial.println("%");
}
//Sensor flujo de agua Automatizado
void medirFlujoAguaAutomatizado() {
  unsigned long tiempoActual = millis();
  unsigned long intervalo = tiempoActual - tiempoAnterior;
  tiempoAnterior = tiempoActual;
  // Capturar pulsos y reiniciar contador
  noInterrupts();
  int pulsos = conteoPulsosAutomatizado;
  conteoPulsosAutomatizado = 0;
  interrupts();
  float segundos = intervalo / 1000.0; // convertir ms a segundos
  if (segundos > 0.0) {
    frecuencia = pulsos / segundos;
  } else {
    frecuencia = 0.0;
  }
  // Fórmula de conversión del datasheet
  flujoLitrosMinutoAutomatizado = frecuencia / factorConversion;
  if (flujoLitrosMinutoAutomatizado <= 0) flujoLitrosMinutoAutomatizado = 0.0;
  // Calcular volumen (L/min * 1000 / 60) * segundos = volumen en cm³
  float volumenActualCm3 = ((flujoLitrosMinutoAutomatizado * 1000.0) / 60.0) *
segundos;
  if (volumenActualCm3 > 0.0) {
    volumenActualCm3 = (0.8323*volumenActualCm3) + 7.3271; //CALIBRACIÓN
  } else {
    volumenActualCm3 = 0.0;
  }
  volumenTotalAutomatizado = volumenTotalAutomatizado + volumenActualCm3;
  Serial.print("Volumen acumulado (cm³) Automatizado: ");
  Serial.println(volumenTotalAutomatizado);
}
void contarPulsosAutomatizado() {
  conteoPulsosAutomatizado++;
}

```

```

//Sensor flujo de agua Manual
void medirFlujoAguaManual() {
  unsigned long tiempoActual = millis();
  unsigned long intervalo = tiempoActual - tiempoAnterior;
  tiempoAnterior = tiempoActual;
  // Capturar pulsos y reiniciar contador
  noInterrupts();
  int pulsos = conteoPulsosManual;
  conteoPulsosManual = 0;
  interrupts();
  float segundos = intervalo / 1000.0; // convertir ms a segundos
  if (segundos > 0.0) {
    frecuencia = pulsos / segundos;
  } else {
    frecuencia = 0.0;
  }
  // Fórmula de conversión del datasheet
  flujoLitrosMinutoManual = frecuencia / factorConversion;
  if (flujoLitrosMinutoManual <= 0) flujoLitrosMinutoManual = 0.0;
  // Calcular volumen (L/min * 1000 / 60) * segundos = volumen en cm³
  float volumenActualCm3 = ((flujoLitrosMinutoManual * 1000.0) / 60.0) * segundos;
  if (volumenActualCm3 > 0.0) {
    volumenActualCm3 = (1.2698*volumenActualCm3) + 12.874; //CALIBRACIÓN
  } else {
    volumenActualCm3 = 0.0;
  }
  volumenTotalManual = volumenTotalManual + volumenActualCm3;
  Serial.print("Volumen acumulado (cm³) Manual: ");
  Serial.println(volumenTotalManual);
}
void contarPulsosManual() {
  conteoPulsosManual++;
}
// Funciones de control de relés
void controlarRele() {
  if (!sistemaEncendido && porcentajeHumedadAutomatizado <
limiteMinimoHumedad ) {
    sistemaEncendido = true;
    abrirValvula();
    if(estadoValvulaAutomatizado==0){ //Si el estado anterior era 0, significa que se
acaba de activar. Solamente envia info cuando cambia de estado, si estuvo en el
mismo estado mucho tiempo, no envia nada.
      enviolnmediatoAutomatico = true; // Marcar para envío inmediato
    }
  }
}
else if (sistemaEncendido && porcentajeHumedadAutomatizado >

```

```

limiteMaximoHumedad) {
    sistemaEncendido = false;
    cerrarValvula();
    if(estadoValvulaAutomatizado==1){ //Si el estado anterior era 1, significa que se
acaba de desactivarse, enviar .
        enviInmediatoAutomatico = true; // Marcar para envío inmediato
    }
}
}
void abrirValvula() {
    digitalWrite(rele_1, RELE_ON); //activarRele
    estadoValvulaAutomatizado = 1;
}
void cerrarValvula() {
    digitalWrite(rele_1, RELE_OFF); //desactivarRele
    estadoValvulaAutomatizado = 0;
}
// Sensor DHT11
void leerSensorDHT() {
    // Leer temperatura en Celsius
    temperaturaAmbiente = dht.readTemperature();
    temperaturaAmbiente = (0.778*temperaturaAmbiente)+3.6353;
    if (isnan(temperaturaAmbiente)) {
        temperaturaAmbiente=0.0;
    }
    Serial.print("Temperatura Ambiental: ");
    Serial.print(temperaturaAmbiente);
    Serial.println(" °C");
}
//ENVIO DE DATOS
void enviarThingSpeak() {
    if (client.connect(server, 80)) {
        // Enviar los primeros 8 datos al primer canal
        String url1 = "/update?api_key=" + apiKey +
            "&field1=" + String(porcentajeHumedadAutomatizado)+
            "&field2=" + String(porcentajeHumedadManual)+
            "&field3=" + String(volumenTotalAutomatizado)+
            "&field4=" + String(volumenTotalManual)+
            "&field6=" + String(temperaturaAmbiente)+
            "&field7=" + String(estadoValvulaAutomatizado);
        client.print("GET " + url1 + " HTTP/1.1\r\n");
        client.print("Host: api.thingspeak.com\r\n");
        client.print("Connection: close\r\n\r\n");
        Serial.println("Datos enviados");
        client.stop();
    }
}

```

```

}else {
    Serial.println("Error: No se pudo conectar a ThingSpeak");
}
}
}
void leerSensores(){
    controlarHumedadAutomatizado(); // Leer y procesar humedad
    controlarHumedadManual(); // Leer y procesar humedad
    controlarRele(); // Controlar los relés
    medirFlujoAguaAutomatizado(); // Leer y procesar flujo de agua
    medirFlujoAguaManual(); // Leer y procesar flujo de agua
    leerSensorDHT(); // Leer y procesar DHT11
}
// ----- Bucle principal -----
void loop() {
    unsigned long tiempoActual = millis();
    // Ejecutar funciones cada 2 segundos
    if (tiempoActual - tiempoUltimaLectura >= 2000) {
        tiempoUltimaLectura = tiempoActual;
        leerSensores();
        minutoActual = timeClient.getMinutes();
        //Envío de datos a ThingSpeak cada hora exacta o media hora (envío durante 2
min)
        if (minutoActual == 0 || minutoActual == 1 || minutoActual == 30 || minutoActual
== 31) {
            enviarThingSpeak();
            Serial.println("Envío de datos condicion IF");
        }
    }
    // Actualizar hora cada minuto (por si se deactualiza)
    if (tiempoActual - ultimaActualizacionHora >= 60000) { // 60 segundos
        timeClient.update(); // Actualizar la hora desde el servidor NTP
        ultimaActualizacionHora = tiempoActual;
        //Reiniciar valor de volumenTotalFlujoAgua diariamente
        int diaActual = timeClient.getDay(); // 0 = Domingo, 1 = Lunes, ..., 6 = Sábado
        if (diaActual != diaAnterior) {
            volumenTotalAutomatizado = 0.0;
            volumenTotalManual = 0.0;
            diaAnterior = diaActual;
        }
    }
    // Si se activa envioInmediatoAutomatico, enviar datos durante 2 minuto
    if (envioInmediatoAutomatico) {
        Serial.println("ENVIO AUTOMÁTICO");
        unsigned long tiempoInicio = millis();
        unsigned long ultimoEnvioSegundos = 0;
        while (millis() - tiempoInicio <= 120000) { // Ejecutar durante 2 minuto

```

```

    unsigned long tiempoActualSegundos = millis();
    if (tiempoActualSegundos - ultimoEnvioSegundos >= 2000) { // Cada 2
segundos
        ultimoEnvioSegundos = tiempoActualSegundos;
        leerSensores();
        enviarThingSpeak();
    }
}
envioInmediatoAutomatico = false; // Resetear la bandera después del envío
}
Serial.println("-----");
}

```

Anexo 16. Etiquetado de las plantas de tomate del sistema de riego manual.





Anexo 17. Etiquetado de las plantas de tomate del sistema de riego automatizado.







UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 08-2026-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE SISTEMAS

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 033-2026-FIMGC-D**, a los **treinta y uno días del mes de marzo de 2026**, siendo las **10:00 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. Carlos Auberto PRADO PRADO**, y los miembros: **Dr. Efraín Elías PORRAS FLORES**, **Mg. Christian LEZAMA CUELLAR** y **Mg. Fiorella LUQUE MENDIETA**, actuando como secretario docente el **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero de Sistemas**, del Bachiller en Ingeniería de Sistemas:

Jhour Cristony CARBAJAL PAREJA

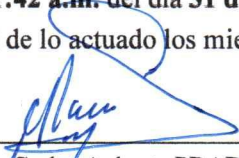
Quien presentó la tesis denominada:

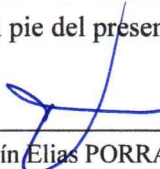
Influencia de un sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate Solanum lycopersicum en un invernadero, Huanta 2025.

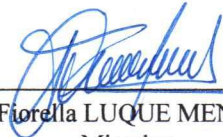
Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

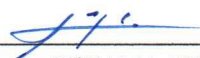
Aprobado con 15 (Quince)

Siendo las **11:42 a.m.** del día **31 de marzo del 2026**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.


MSc. Ing. Carlos Auberto PRADO PRADO
Presidente


Dr. Efraín Elías PORRAS FLORES
Miembro


Mg. Fiorella LUQUE MENDIETA
Miembro


Mg. Christian LEZAMA CUELLAR
Miembro - Asesor


Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Secretario docente de la FIMGC

FACULTAD DE INGENIERÍA
DE MINAS Y CIVIL
Av. Independencia S/N
Ciudad Universitaria
Central Tel. 066 312510
Anexo 151



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 037-2026-KPS-FIMGC/UNSCH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Nombres y Apellidos : Jhour Cristony, Carbajal Pareja

Escuela Profesional : INGENIERÍA DE SISTEMAS

Título de la Tesis : Influencia de un sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* en un invernadero, Huanta 2025.

Evaluación de la Originalidad : **18%** Índice de Similitud

Identificador de la entrega : 2945969184

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 30 de abril de 2026



Firmado digitalmente por:
PERALTA SOTOMAYOR Karel
FAU 20143860754 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 30/04/2026 07:37:43-0500

Influencia de un sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* en un invernadero, Huanta 2025.

por Jhour Cristony CARBAJAL PAREJA

Fecha de entrega: 27-abr-2026 06:02p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2945969184

Nombre del archivo: MEMORANDO_N°_236-2026-FIMGC-UNSCH-CERTIFICADO_DE_ORIGINALIDAD-JHOUR_CRISTONY_CARBAJAL_PAREJA.pdf (8.91M)

Total de palabras: 29604

Total de caracteres: 166591

Influencia de un sistema de control de riego por goteo manual y automatizado en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* en un invernadero, Huanta 2025.

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

oa.upm.es

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

1%

7

www.sidalc.net

Fuente de Internet

<1%

8

www.interciencia.net

Fuente de Internet

<1%

9

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

10

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1%

11

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1%

12

repositorio.uaaan.mx:8080

Fuente de Internet

<1%

13

faz.ujed.mx

Fuente de Internet

<1%

14	infoandina.org Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	Elmer Gómez-Pérez, Orlando Meza-Zaleta, Enrique Díaz-Ramos. "Automated drip irrigation system with flow control", Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social, 2018 Publicación	<1 %
18	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
20	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
21	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	windpress.info Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
25	smcsmx.org Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	cusam.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
28	naylampmechatronics.com Fuente de Internet	<1 %
29	congresorebiza.mx Fuente de Internet	<1 %

30	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.uia.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	<1 %
33	creativecommons.org Fuente de Internet	<1 %
34	vbook.pub Fuente de Internet	<1 %
35	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
36	repositorioinstitucional.buap.mx Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad Nacional de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
38	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
39	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	Juan Carlos Cárdenas Valverde. "Rúbrica y Desempeño Docente en la Provincia de Huancayo", Thesis Commons, 2021 Publicación	<1 %
41	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
45	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
46	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

47	www.elpais.com.uy Fuente de Internet	<1 %
48	www.riego.mx Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
50	store.intecx.com.pe Fuente de Internet	<1 %
51	Rodríguez Valencia, Gabriela Anicama Injante, Christian Irving. "Business Consulting Para la Empresa Agrícola Miranda", Pontificia Universidad Católica del Perú (Perú) Publicación	<1 %
52	Submitted to University of Bolton Trabajo del estudiante	<1 %
53	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
54	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %
55	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
56	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
57	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
58	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
59	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
60	www.appropedia.org Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo