



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Civil, de Sistemas y de Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



TESIS

Sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM, para optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (*Prosopis Pallida*) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque.

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero de sistemas

Autores:

Bach. Majuan Pintado David Jhoel

Bach. Santamaria Carlos Jahiro Concepcion

Asesor:

Msc. Ing. Arteaga Lora Roberto Carlos

Lambayeque – Perú

26 de enero del 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Civil, de Sistemas y de Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



TESIS

Sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM, para optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (*Prosopis Pallida*) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque.

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero de sistemas

Autores:

Bach. David Jhoel Majuan Pintado

Bach. Jahiro Concepcion Santamaria Carlos

Asesor:

Msc. Ing. Roberto Carlos Arteaga Lora

Lambayeque – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Civil, de Sistemas y de Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



TESIS

Sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM, para optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de algarrobo (*Prosopis pallida*) para el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE SISTEMAS

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO

Msc. Ing. Omar Wilton Saavedra Salazar
Presidente

Dr. Ing. Juan Villegas Cubas
Secretario

Msc. Ing. Oscar Efraim Capuñay Uceda
Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Civil, de Sistemas y de Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



Sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM, para optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de algarrobo (*Prosopis pallida*) para el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque

Msc. Ing. Roberto Carlos Arteaga Lora
Asesor

Bach. David Jhoel Majuan Pintado
Bach. en Ingeniería de sistemas

Bach. Jahiro Concepción Santamaria Carlos
Bach. en Ingeniería de sistemas



**ACTA DE SUSTENTACIÓN
 N° 627-2026-UI-FICSA**

Siendo las 12:30 pm horas del día 26 de enero del 2026, se reunieron de manera presencial los miembros de jurado de la tesis titulada: **“SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO UTILIZANDO TECNOLOGÍA GSM, PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE AGUA EN LA FASE DE CRECIMIENTO DE ALGARROBO (PROSOPIS PALLIDA) EN EL VIVERO DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO - LAMBAYEQUE”**, con código N° IS_V_2024_004, designado por Resolución Decanal N° 1008-2025-UNPRG-FICSA con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformado por los siguientes docentes:

MSC. ING. OMAR WILTON SAAVEDRA SALAZAR	PRESIDENTE
DR. ING. JUAN ELIAS VILLEGAS CUBAS	SECRETARIO
MSC. ING. OSCAR EFRAIN CAPUÑAY UCEDA	VOCAL

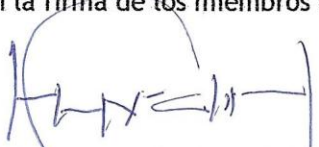
Asesorado por **MSC. ING. ROBERTO CARLOS ARTEAGA LORA**.

El acto de sustentación fue autorizado por OFICIO VIRTUAL N° 11-2026-UIFICSA, la tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: **JAHIRO CONCEPCION SANTAMARIA CARLOS Y DAVID JHOEL MAJUAN PINTADO**, tuvo una duración de 60 minutos. Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva:

	NUMERO	LETRAS	CALIFICATIVO
JAHIRO CONCEPCION SANTAMARIA CARLOS	<u>18</u>	<u>Dieciocho</u>	<u>MUY BUENO</u>
DAVID JHOEL MAJUAN PINTADO	<u>18</u>	<u>Dieciocho</u>	<u>MUY BUENO</u>

Por lo que quedan APTOS para obtener el Título Profesional de **INGENIERO DE SISTEMAS** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Civil De Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13:40 Se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.


MSC. ING. OMAR WILTON SAAVEDRA SALAZAR
 PRESIDENTE


DR. ING. JUAN ELIAS VILLEGAS CUBAS
 SECRETARIO


MSC. ING. OSCAR EFRAIN CAPUÑAY UCEDA
 VOCAL


MSC. ING. ROBERTO CARLOS ARTEAGA LORA
 ASESOR





CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo Arteaga Lora Roberto Carlos, Asesor de Tesis de los Integrantes:

Bach. Santamaria Carlos Jahiro Concepcion, con DNI 71215526 y

Bach. Majuan Pintado David Jhoel, con DNI 47731294

Y USUARIO REVISOR DE TESIS TITULADO: “SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO UTILIZANDO TECNOLOGÍA GSM, PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE AGUA EN LA FASE DE CRECIMIENTO DE ALGARROBO (PROSOPIS PALLIDA) EN EL VIVERO DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO – LAMBAYEQUE”.

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 10% verificable en el reporte de similitud del programa TURNITIN.

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

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

ATENTAMENTE,

Lambayeque, 10 de enero del 2026

.....
ING. ROBERTO CARLOS ARTEAGA LORA
DNI. 16755764

Se Adjunta lo Siguiente:

Sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM, para optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (Prosopis Pallida) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.ucacue.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	forum.arduino.cc Fuente de Internet	1%
5	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1%
7	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%

repository.usta.edu.co



Msc. Ing. Roberto Carlos Arteaga Lora
Asesor - DNI: 16755764

8	Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
11	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	"El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020 Publicación	<1 %
15	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad de La Laguna Trabajo del estudiante	<1 %
17	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %



19	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	archive.org Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
25	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
26	dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
27	revista.itson.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
28	Ladino Moreno, Edgar Orlando. "Estimación y Localización de Fugas en Sistemas de Distribución de Agua a Través de Algoritmos de Optimización Combinatoria", Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) Publicación	<1 %



29	tareasatiempo.com Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	vdocumento.com Fuente de Internet	<1 %
32	ctscafe.pe Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
35	www.isotools.us Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA Trabajo del estudiante	<1 %
37	cienciasquimicas.lasalle.mx Fuente de Internet	<1 %
38	sandrarticart.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
39	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
40	Submitted to Universidad Francisco de Vitoria Trabajo del estudiante	<1 %



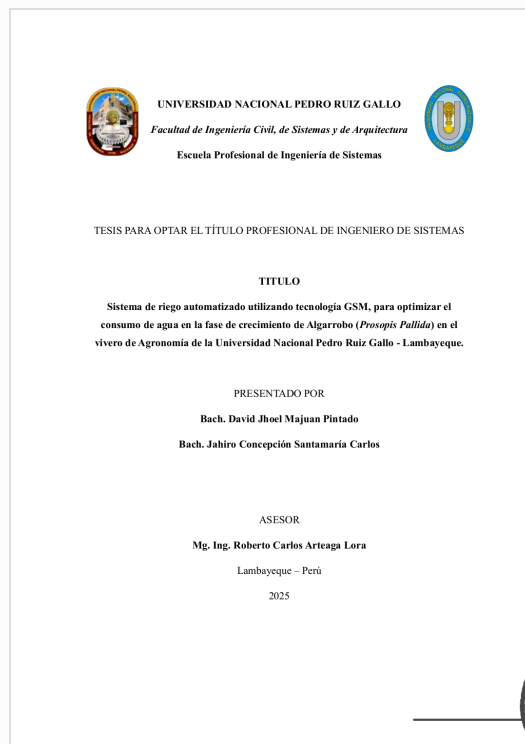


Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jahiro Concepcion SANTAMARIA CARLOS
Título del ejercicio: Informe de Tesis
Título de la entrega: Sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM, par...
Nombre del archivo: Informe_Final_Tesis.pdf
Tamaño del archivo: 2.16M
Total páginas: 108
Total de palabras: 25,007
Total de caracteres: 146,739
Fecha de entrega: 07-ene-2026 11:59p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2853859673




Msc. Ing. Roberto Carlos Arteaga Lora
Asesor - DNI: 16755764

DEDICATORIA

A Dios, por alinear nuestros pasos con salud y sabiduría, y por ser nuestra guía silenciosa en cada etapa de este recorrido universitario.

Y a nuestros amados padres, por creer en nuestra capacidad incluso antes de que nosotros mismos lo hiciéramos. Gracias por ser el refugio firme en los momentos difíciles; hoy honramos su sacrificio con este paso profesional que es tan suyo como nuestro.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo académico cristaliza el esfuerzo de años, pero nada de esto habría sido posible sin las personas que caminaron a nuestro lado.

Primero, gracias a Dios, por ser la fuente de nuestra resiliencia. A nuestros padres, quienes entendieron que este sacrificio temporal era necesario para un futuro mejor.

A nuestros asesores y profesores, por su generosidad al transmitirnos su saber y por exigirnos siempre el máximo estándar de excelencia; sus enseñanzas quedan plasmadas en estas páginas.

Finalmente, a los compañeros y amigos, que, con una palabra de aliento o un consejo oportuno, nos alentaron a no claudicar. Gracias por estar presentes.

Los autores

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Síntesis de la situación problemática	3
1.2. Justificación de la investigación	4
1.3. Formulación del problema de investigación	5
1.4. Hipótesis	5
1.5. Objetivos de la investigación	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II: DISEÑO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Bases teóricas.....	12
2.3. Bases conceptuales	32
CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	43
3.1. Tipificación de la investigación	43
3.2. Población y muestra.....	45
3.3. Técnicas, instrumentos, equipos, materiales.....	45
3.4. Procedimiento a seguir en la investigación.....	48
3.5. Diseño de contrastación de Hipótesis	51
CAPITULO IV: RESULTADOS	56
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	67
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES	68
CAPITULO: VIII: REFERENCIAS	69
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de Control.....	15
Figura 2	Control de Lazo Abierto.....	16
Figura 3	Control en Lazo Cerrado.....	17
Figura 4	Arduino Mega 2560 R3	17
Figura 5	Arquitectura de la Red GSM.....	19
Figura 6	Módulo GSM para Arduino (Shield GSM SIM 900).....	21
Figura 7	RTC DS3231	21
Figura 8	Módulo de Memoria MicroSD.....	22
Figura 9	Sensor DHT11	23
Figura 10	Sensor de Humedad de Suelo HL-69.....	24
Figura 11	Sensor de Lluvia MH-RD	25
Figura 12	Sensor Ultrasónico HC-SR04	26
Figura 13	Sensor de Flujo de Agua YF-S201	26
Figura 14	Módulo Relay 4CH	27
Figura 15	Válvula Solenoide (Electroválvula).....	28
Figura 16	Bomba de Agua Sumergible	30
Figura 17	Adaptador de corriente	31
Figura 18	Preparación de los lotes de riego.....	48
Figura 19	Instalación del sensor de humedad en bolsa	49
Figura 20	Registro de datos a través del módulo MicroSD	50
Figura 21	Visualización de data histórica.....	50
Figura 22	Diagrama esquemático de conexiones del sistema de riego automático	56
Figura 23	Diagrama de flujo del algoritmo de control	57
Figura 24	Comunicación GSM mediante comandos AT y mensajes SMS.	58
Figura 25	Prototipo del sistema con Arduino y GSM implementado	58
Figura 26	Prueba de funcionamiento del sistema de bombeo automatizado.....	59
Figura 27	Pruebas de envío y recepción de SMS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables.....	42
Tabla 2 Consumo de agua mensual por planta: riego manual vs. Automatizado	60
Tabla 3 Datos semanales de consumo de agua (en litros).....	61
Tabla 4 Crecimiento de plántulas de <i>Prosopis pallida</i>	63
Tabla 5 Resultados del análisis de comparación mediante prueba t pareada.....	63
Tabla 6. Comparativa de ahorro de agua: riego automatizado vs. Tradicional.....	66

RESUMEN

La creciente escasez hídrica global, agravada por prácticas de riego ineficientes, demanda soluciones tecnológicas innovadoras y accesibles, especialmente en sistemas agrícolas de regiones áridas como la costa norte del Perú. Este estudio de investigación aplicada abordó la optimización del recurso hídrico en un contexto crítico: la fase de crecimiento en vivero de *Prosopis pallida* (algarrobo), una especie forestal nativa clave para la reforestación. La investigación partió de la hipótesis de que la implementación de un sistema de riego automatizado, utilizando tecnología GSM para superar limitaciones de conectividad a internet, optimizaría significativamente el consumo de agua sin comprometer el desarrollo de las plántulas. Para contrastarla, se adoptó un diseño experimental puro explicativo con posprueba y grupo de control. Un total de 100 plántulas homogéneas se asignaron aleatoriamente a un grupo experimental (n=50) y un grupo de control (n=50). Se diseñó e implementó un prototipo robusto que integró un microcontrolador Arduino Mega 2560 como unidad de procesamiento central, sensores de humedad del suelo HL-69 y de flujo de agua YF-S201 para medición precisa, actuadores (bomba sumergible de 12V y electroválvula) controlados por un módulo de relés, y un módulo GSM SIM900 para telemetría y telemando vía comandos AT y SMS, permitiendo monitoreo remoto y alertas. Los resultados, analizados mediante una prueba t de Student para muestras pareadas, fueron concluyentes: durante un período de 34 semanas, el sistema automatizado redujo el consumo total de agua en un 61.1%, equivalente a un ahorro de 374 litros, diferencia estadísticamente significativa ($t_{33}=6.99$, $p<0.05$). Contrariamente a posibles efectos negativos por menor disponibilidad hídrica, el grupo experimental mostró un desempeño agronómico superior, con una altura promedio final un 11% mayor (30.0 ± 2.8 cm vs. 27.0 ± 2.5 cm) y una tasa de supervivencia del 100% (frente al 92% del grupo control). Se concluye que la automatización del riego basada en sensores y comunicación GSM no solo es técnica y contextualmente viable para entornos con infraestructura digital limitada, sino que constituye una estrategia de alta eficacia para la sostenibilidad hídrica. Este sistema de bajo costo asegura una dosificación precisa bajo demanda, elimina riegos superfluos y genera condiciones edáficas óptimas, representando una contribución tangible a la agricultura de precisión y alineándose directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 (Agua limpia y saneamiento) y 12 (Producción y consumo responsables).

Palabras clave: Riego automatizado, GSM, *Prosopis pallida*, Eficiencia en el uso del agua, Vivero forestal, Sensor de humedad del suelo, Telemetría, Desarrollo sostenible.

ABSTRACT

Global water scarcity, exacerbated by inefficient irrigation practices, demands innovative and accessible technological solutions, particularly in agricultural systems of arid regions such as northern coastal Peru. This applied research study addressed water resource optimization in a critical context: the nursery growth phase of *Prosopis pallida* (carob tree), a key native forest species for reforestation. The research was guided by the hypothesis that implementing an automated irrigation system, using GSM technology to overcome internet connectivity limitations, would significantly optimize water consumption without compromising seedling development. To test this, a pure explanatory experimental design with post-test and control group was adopted. A total of 100 homogeneous seedlings were randomly assigned to an experimental group (n=50) and a control group (n=50). A robust prototype was designed and implemented, integrating an Arduino Mega 2560 microcontroller as the central processing unit, HL-69 soil moisture and YF-S201 water flow sensors for precise measurement, actuators (12V submersible pump and solenoid valve) controlled by a relay module, and a SIM900 GSM module for telemetry and telecommand via AT commands and SMS, enabling remote monitoring and alerts. The results, analyzed using a paired Student's t-test, were conclusive: over a period of 34 weeks, the automated system reduced total water consumption by 61.1%, equivalent to a saving of 374 liters, a statistically significant difference ($t_{33}=6.99$, $p<.05$). Contrary to potential negative effects from reduced water availability, the experimental group showed superior agronomic performance, with a final average height 11% greater (30.0 ± 2.8 cm vs. 27.0 ± 2.5 cm) and a survival rate of 100% (compared to 92% in the control group). It is concluded that sensor-based irrigation automation with GSM communication is not only technically and contextually viable for environments with limited digital infrastructure but also constitutes a highly effective strategy for water sustainability. This low-cost system ensures precise on-demand dosing, eliminates superfluous irrigation, and generates optimal edaphic conditions, representing a tangible contribution to precision agriculture and aligning directly with Sustainable Development Goals 6 (Clean Water and Sanitation) and 12 (Responsible Consumption and Production).

Keywords: Automated irrigation, GSM, *Prosopis pallida*, Water-use efficiency, Forest nursery, Soil moisture sensor, Telemetry, Sustainable development.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La escasez de agua y la necesidad de optimizar el riego agrícola son problemáticas crecientes a nivel global. En regiones áridas y semiáridas (como Lambayeque, Perú), la limitada disponibilidad de agua dulce exige sistemas de riego más eficientes (Sharifnasab *et al.*, 2023). Estudios señalan que un tercio de la población mundial vive bajo estrés hídrico y que el riego tradicional (por inundación) malgasta una porción considerable del agua destinada a agricultura (Salcedo, 2015).

En el Perú, la gestión inadecuada del riego convencional ha generado baja productividad en parcelas agrícolas, especialmente por el uso de métodos de tendido o inundación que implican desperdicios significativos de agua. Frente a este escenario, Sharifnasab *et al.* (2023) indican que ha emergido el concepto de riego inteligente (smart irrigation), el cual aplica tecnologías de la información (IoT, sensores, automatización) para disminuir el consumo de agua y mejorar el rendimiento de los cultivos de manera sostenible. Asimismo, estos investigadores explican que la premisa fundamental del riego inteligente es irrigar en el momento oportuno y con la cantidad precisa, ajustándose a las necesidades reales de la planta y las condiciones ambientales. Finalmente concluyen que esto reduce el uso excesivo de agua y minimiza impactos negativos, contribuyendo a la seguridad alimentaria en contextos de cambio climático.

1.1. Síntesis de la situación problemática

La escasez y el estrés hídrico afectan a cerca de la mitad de la población mundial al menos parte del año, lo que subraya la urgencia de mejorar la eficiencia en el uso del agua en sistemas productivos como la agricultura (UNESCO/WWAP, 2024). En la misma línea, la FAO (2021) señala que tierra y agua enfrentan presiones crecientes y urge transitar hacia prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles, priorizando tecnologías de riego y monitoreo que reduzcan pérdidas.

En viveros, el manejo del riego es crítico porque la humedad del sustrato condiciona la germinación, el crecimiento inicial y el estrés hídrico de las plántulas, por lo que medirla y controlarla resulta esencial (Nandi y Shrestha, 2024). Asimismo, Kulmány *et al.* (2022) indican que sensores capacitivos de bajo costo pueden apoyar esta medición si se calibran por textura de suelo y condiciones locales para lograr exactitud aceptable. Estudios recientes convergen en que el monitoreo en tiempo real mejora la gestión hídrica, aunque la calibración local es requisito indispensable (Nandi y Shrestha, 2024).

Sobre la tecnología de control, Fabian et al. (2025) documentan la efectividad de plataformas tipo Arduino con válvulas solenoides para reducir el consumo de agua sin penalizar el crecimiento. En esa misma línea, los autores sostienen que, en contextos con conectividad limitada donde el internet móvil es inestable, la tecnología GSM/SMS surge como alternativa viable para la telemetría y el telemando en zonas rurales.

Contexto Local: La Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UNPRG) opera viveros para formación e investigación, por lo que el diseño de soluciones adaptadas a su realidad tecnológica y climática es pertinente. En paralelo, aunque el país viene ampliando la cobertura 4G en áreas rurales, la calidad de datos móviles es heterogénea, mientras que voz y SMS están ampliamente disponibles como capa mínima de servicio (MTC, 2024; OSIPTEL, 2025).

El Problema Específico: En el vivero de Agronomía de la UNPRG, la toma de decisiones de riego se dificulta por la falta de medición continua y calibrada de la humedad del sustrato, elevando el riesgo de subriego o sobrieriego y, en consecuencia, de uso ineficiente del agua. Además, la ausencia de un control automático basado en umbrales objetivos impide activar y desactivar el riego con oportunidad y precisión (Kumar *et al.*, 2024). Finalmente, las limitaciones de conectividad hacen inviable depender de plataformas que requieren datos o Wi-Fi constantes, por lo que se necesita una alternativa de telemetría y telemando vía GSM/SMS (MTC, 2024; OSIPTEL, 2025). Sin medición y control, el vivero consume más agua de la necesaria y expone a las plántulas a estrés hídrico, contraviniendo recomendaciones internacionales de sostenibilidad (FAO, 2021).

1.2. Justificación de la investigación

La propuesta es técnicamente viable porque integra sensores de humedad calibrados, lógica de control por umbrales y válvulas solenoides en plataforma de Arduino, prácticas ampliamente documentadas en la literatura reciente de riego inteligente (Kumar *et al.*, 2024). Asimismo, es contextualmente adecuada porque el uso de GSM/SMS permite operar en entornos con internet móvil intermitente, alineándose con la realidad de cobertura rural del país (MTC, 2024; OSIPTEL, 2025).

La justificación técnica y contextual se complementa con la relevancia global del proyecto. La gestión eficiente del riego en viveros es clave para la sostenibilidad hídrica: a nivel global, la agricultura concentra 70 % de las extracciones de agua dulce, por lo que mejoras marginales en la eficiencia aportan beneficios relevantes (UNESCO/UN-Water, 2024). En

ese marco, el proyecto se alinea con el ODS 6, en particular con el indicador 6.4.1 (Cambio en la eficiencia del uso del agua en el tiempo), que cuantifica el valor agregado por unidad de agua utilizada y ofrece una base metodológica para monitorear mejoras de eficiencia a lo largo del tiempo (FAO/UNSD, 2024). Del mismo modo, se vincula con el ODS 12, meta 12.2, orientada a la gestión sostenible y uso eficiente de los recursos naturales en los sistemas productivos (UN-DESA, 2025).

Esta vinculación con la sostenibilidad global subraya la pertinencia de la investigación para el ámbito local. La investigación es pertinente para *Prosopis pallida* (algarrobo) en vivero, pues la guía técnica nacional describe sus características agroecológicas y prácticas de propagación que requieren un manejo cuidadoso del riego para asegurar germinación, crecimiento inicial y establecimiento (Carrillo *et al.*, 2020).

En conclusión, la implementación de esta tecnología genera una contribución directa a la optimización del uso del agua en el cultivo de algarrobo, mejorando su crecimiento y promoviendo una gestión más sostenible de los recursos hídricos en el vivero, brindando una solución práctica y accesible a los problemas actuales de gestión del agua en la región.

1.3. Formulación del problema de investigación

¿Como optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (*Prosopis Pallida*) en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo?

1.4. Hipótesis

El consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (*Prosopis Pallida*) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, mejorará mediante la implementación de un sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo General

Optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (*Prosopis Pallida*) en el vivero de Agronomía, mediante la implementación de un sistema de riego automatizado.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de riego automatizado para el cultivo de Algarrobo (Prosopis Pallida) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Evaluar el consumo de agua en el sistema de riego tradicional versus el sistema de riego automatizado para el cultivo de Algarrobo (Prosopis Pallida) en el vivero de Agronomía.

CAPÍTULO II: DISEÑO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Babaa et al. (2020) desarrollaron un estudio cuyo objetivo fue diseñar e implementar un sistema de riego inteligente alimentado con energía solar que optimizara el uso del agua mediante control automático basado en la humedad del suelo y comunicación GSM. El trabajo empleó un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, con pruebas experimentales sobre un prototipo que midió lecturas de sensores de humedad a intervalos de cinco segundos, activando una bomba según umbrales programados. El diseño consistió en integrar un módulo Arduino UNO, relé, módulo GSM SIM900, pantalla LCD e interfaz I2C, además de dimensionar la bomba y el panel fotovoltaico. Los autores implementaron el sistema en modos automático y semimanual, configurando el algoritmo de control y validándolo en suelos de distinta textura, comprobando que el sistema encendía la bomba en condiciones de sequedad y la apagaba al alcanzar saturación, con comunicación y respaldo por GSM. Los resultados demostraron que el riego redujo significativamente la sequedad del suelo y que la energía solar permitió un funcionamiento autónomo y sostenible. En conclusión, el sistema propuesto es técnica y económicamente viable para zonas agrícolas con escasez hídrica o sin acceso a red eléctrica, pudiendo ampliarse con sensores de nivel y válvulas electrónicas para gestionar múltiples parcelas.

Barkunan et al. (2020) desarrollaron un sistema automático de riego con detección de lluvia en tiempo real, empleando un microcontrolador ARM y un módulo GSM. Este sistema planifica la cantidad de agua a aplicar según la precipitación detectada, e informa al agricultor vía mensajes móviles sobre los niveles de lluvia, a la vez que regula automáticamente el riego para evitar irrigar cuando llueve. Además, la investigación reporta que las pruebas de su prototipo estimaron con precisión la pluviometría local (con diferencias mínimas respecto a datos meteorológicos) y que, al compararlo con métodos tradicionales, la automatización logró una mejor utilización del agua en el campo.

Krishnan et al. (2020) propusieron un sistema de riego inteligente manejado por GSM que envía al productor mensajes de estado (humedad del suelo, temperatura ambiente, estado de la bomba) y emplea un control difuso (fuzzy logic) para decidir el encendido de la bomba. Su sistema incluso apaga automáticamente el motor cuando detecta lluvia

para ahorrar energía y agua, e incorpora paneles para proteger el cultivo de lluvias inesperadas. Al comparar este esquema difuso-GSM con el riego por goteo convencional y con el riego manual, encontraron que el sistema propuesto logró la mayor conservación de agua y energía entre las tres modalidades. Dichos resultados confirman que combinar sensores (humedad de suelo, temperatura, etc.), algoritmos inteligentes y comunicaciones móviles permite optimizar el riego más allá de las prácticas estándar, evitando riegos innecesarios y reduciendo costos energéticos.

Bazaluk et al. (2022) llevaron a cabo ensayos en cinco fincas durante cinco años, comparando sistemas de riego convencional (intervalos fijos) versus sistemas inteligentes de bajo costo con programación óptima según sensores y pronósticos. En todos los casos, la tecnología inteligente redujo el consumo de agua: el ahorro promedio de agua de riego osciló entre 11.6% (en maíz) hasta 17.7% (en girasol) respecto a la referencia tradicional. Asimismo, observaron incrementos en los rendimientos de ciertos cultivos gracias a que la irrigación automatizada mantenía niveles hídricos óptimos en el suelo durante periodos críticos, reduciendo el estrés de las plantas. Por ejemplo, en girasol y colza detectaron aumentos de producción de hasta 20–27% al usar riego inteligente, mientras que en trigo y maíz las mejoras fueron más modestas (~10–12%). Estos resultados multidimensionales (agua ahorrada vs. rendimiento) sugieren que la automatización permite prolongar la humedad adecuada del suelo y minimizar pérdidas (por escorrentía, evaporación, etc.), logrando en general más “kilogramos de cultivo por metro cúbico de agua” que el riego convencional. Desde un punto de vista económico, el estudio de Bazaluk y colegas también calculó que la inversión en sistemas de riego inteligentes de bajo costo se recupera en plazos favorables gracias al agua ahorrada y al incremento de cosechas, con periodos de retorno de inversión breves en cultivos de alto valor como el maíz dulce y el girasol.

Munir et al. (2021) implementaron un sistema de riego automatizado con una arquitectura IoT de tres módulos: una red de sensores ambientales (humedad de suelo, temperatura, luz, humedad del aire) desplegados en el campo, un módulo de toma de decisiones con algoritmos de machine learning (K-Nearest Neighbors) y ontologías de dominio agrícola, y servidores edge y en la nube que conectan los sensores con el actuador mediante internet y un enlace GSM. Este enfoque híbrido toma las decisiones de riego basándose tanto en reglas semánticas (ontología) como en datos cuantitativos de sensores, lo que permite determinar con precisión cuándo una parcela “requiere

riego” o “no requiere riego” en distintos grados. Una innovación clave es la incorporación de un servidor de borde (edge) entre la red IoT y el módulo GSM, de forma que gran parte del procesamiento se realiza localmente, aliviando la carga en la nube y reduciendo la latencia en la activación del riego. El resultado es un sistema robusto y rápido, capaz de funcionar incluso ante grandes volúmenes de datos de sensores sin perder confiabilidad en tiempo real. Aunque el trabajo de Munir et al. se enfocó en la arquitectura y no reportó porcentajes de ahorro de agua explícitos, su objetivo central fue garantizar un riego oportuno y preciso frente a la variabilidad climática, mejorando la eficiencia respecto a sistemas IoT convencionales solo en la nube.

Sathwik Patel et al. (2024) desarrollaron un estudio cuyo objetivo fue diseñar un sistema de riego inteligente alimentado por energía solar y conectado por GSM para optimizar la gestión del agua mediante la automatización del riego y el monitoreo continuo de la humedad del suelo. El estudio aplicó un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, basado en la construcción y validación experimental de un prototipo sin grupo de control, verificando su desempeño en condiciones reales. El diseño integró un microcontrolador ESP32, un módulo GSM SIM900, sensores de humedad, una pantalla LCD con interfaz I²C, un relevador y una bomba de 12V–4,2 W (Q_{max} 204 L/h), alimentados por un panel fotovoltaico de 5 W con controlador MPPT. El sistema operó en modo automático (activación y detención del riego según umbrales de humedad) y manual (conmutación remota vía app o SMS), registrando datos en tiempo real y notificando al usuario. Los resultados evidenciaron un control preciso del riego, reducción del consumo de agua y mejora en la eficiencia energética. En conclusión, los autores señalaron que el sistema cumplió con los objetivos planteados, ofreciendo una solución viable, sostenible y de bajo costo para zonas agrícolas con limitaciones hídricas o sin acceso a energía.

Sharifnasab et al. (2023) evaluaron en Irán un sistema de riego IoT en un cultivo de maíz (grano) bajo criterios de humedad de suelo del 40% de capacidad de campo. En comparación con el método convencional basado en calendarios meteorológicos históricos y observación visual del cultivo, el manejo inteligente permitió adelantar en aproximadamente 1 mes la etapa de cosecha al optimizar la entrega de agua en fases fenológicas sensibles. Además, lograron un ahorro de 35% en el volumen total de agua de riego (reduciendo la aplicación de 8839 a 5676 m³/ha) gracias al monitoreo continuo de la humedad y la aplicación más precisa del riego. Cabe señalar que este ahorro

significativo de agua vino acompañado de una ligera reducción en el rendimiento de grano y en la productividad hídrica, debido al estrés hídrico controlado que apresuró el ciclo del cultivo. Los autores sugieren que ajustando la programación para aplicar el déficit hídrico solo en etapas más tolerantes del maíz, se podría mantener el ahorro de agua sin detrimento del rendimiento. Estos hallazgos resaltan la importancia de un diseño experimental cuidadoso al implementar riego automatizado: es posible ahorrar grandes cantidades de agua, pero se debe equilibrar con las necesidades biológicas del cultivo para no afectar la producción.

Shekokar et al. (2024) desarrollaron un estudio cuyo propósito fue diseñar un sistema de agricultura inteligente basado en el Internet de las Cosas (IoT) que permita automatizar el riego y monitoreo de cultivos mediante sensores de humedad, temperatura, flujo de agua y un módulo GSM controlado por Arduino, optimizando así el uso del agua y la electricidad. El trabajo empleó un enfoque cuantitativo de tipo experimental, implementando un prototipo físico conectado al servidor ThingSpeak para el envío de datos y notificaciones en tiempo real. Los autores construyeron, programaron y validaron el sistema, comprobando que el mismo podía encender o apagar automáticamente la bomba de agua según los niveles de humedad del suelo y detenerla ante fallas de flujo, logrando reducir el desperdicio de recursos naturales y la intervención humana. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en la eficiencia del riego y en el manejo de la energía, concluyendo que este sistema representa una alternativa viable, económica y escalable para modernizar la agricultura y favorecer la sostenibilidad del recurso hídrico.

Chan et al. (2025) desarrollaron un estudio cuyo objetivo fue optimizar el uso del agua en la agricultura mediante la implementación de un sistema de riego automatizado alimentado por energía solar, capaz de activar y desactivar una bomba en función de los niveles de humedad del suelo. El trabajo empleó un enfoque cuantitativo de tipo experimental, en el que se construyó y probó un prototipo compuesto por un microcontrolador Arduino UNO, sensor de humedad LM393, bomba DC, relé, batería y panel fotovoltaico de 5 W, con salida visual en una pantalla LCD. El diseño integró la lógica de control en Arduino para procesar los datos del sensor y gestionar el encendido y apagado automático del riego. Los autores desarrollaron tanto el hardware como el software, realizaron simulaciones y pruebas experimentales en suelos con distintas texturas (arenoso, franco y arcilloso), observando los tiempos de riego requeridos según

la sequedad del suelo: 5, 9 y 10 segundos para suelos secos, y 1, 2 y 3 segundos al 50 % de humedad, respectivamente. Los resultados confirmaron que el sistema es eficiente en la gestión del agua y energía, además de ser autónomo y de bajo costo, representando una alternativa viable para agricultores en zonas rurales sin acceso a red eléctrica. En conclusión, los autores destacaron que la solución propuesta contribuye significativamente a la sostenibilidad del riego agrícola y al aprovechamiento racional de los recursos hídricos.

Aakunuri (2024) diseñó un sistema de riego inteligente con IoT que integra sensores de suelo y clima con una red inalámbrica, permitiendo mejorar la irrigación mediante análisis de datos y decisiones automáticas en tiempo real. En este sentido, el desarrollo de sistemas de riego automatizados basados en comunicaciones móviles ha evolucionado hacia arquitecturas que integran redes de sensores inalámbricos (WSN), controladores y plataformas IoT capaces de gestionar el flujo de información entre el campo y los dispositivos de control.

Pornillos et al. (2020) presentaron un sistema de control de riego inteligente que utiliza una red WSN enlazada mediante IoT para el monitoreo continuo de humedad del suelo y la operación remota de válvulas de riego. El estudio demostró la viabilidad de aplicar tecnología de comunicación GSM o celular en la transmisión de datos desde entornos agrícolas, validando su estabilidad y precisión en la regulación del suministro hídrico en función de las condiciones del suelo y del clima. Este tipo de arquitectura consolidó las bases para sistemas que buscan optimizar el consumo de agua mediante la toma de decisiones automáticas basadas en parámetros sensoriales medibles.

Cortes y Vargas (2021), en un proyecto desarrollado en la Universidad Católica de Colombia, implementaron un sistema de riego automatizado con monitoreo de variables ambientales que contribuye al control de humedad y temperatura en cultivos urbanos. Aunque el trabajo se centró en el diseño y funcionamiento del prototipo más que en la cuantificación experimental del ahorro de agua, evidenció el potencial de la automatización y el registro sistemático de datos como soporte metodológico para futuras evaluaciones cuantitativas.

Oblitas y Pérez (2022) desarrollaron en Lambayeque, Olmos un prototipo de riego automatizado por goteo para plantaciones jóvenes de palta y evaluaron su desempeño frente al método de inundación tradicional. Midieron el volumen de agua consumido en

escenarios controlados y encontraron que el sistema automatizado por goteo redujo en 38.62% el consumo de agua respecto al riego por inundación, manteniendo condiciones adecuadas para el cultivo. Este ahorro significativo demuestra el potencial de la automatización para mejorar la eficiencia hídrica en la costa norte peruana, donde el recurso es escaso.

Huamán (2023) construyó un prototipo de riego automatizado para pequeños huertos agroecológicos en zonas desérticas urbanas de Lima, integrando sensores de humedad, caudalímetros y controladores Arduino de bajo costo. Su sistema dosifica el agua según la humedad del suelo (abriendo válvulas solo cuando ésta cae por debajo del 50% en cada zona de cultivo), logrando una distribución más racional del agua en entornos de huerto urbano. Estos antecedentes nacionales indican que existe una tendencia creciente en Perú y la región hacia la adopción de riego automatizado, tanto en cultivos de exportación (palta, arándano) como en viveros y agricultura urbana, siempre con la expectativa de optimizar el uso del agua y mejorar la productividad de los sistemas agrícolas locales

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema Automatizado

Según Dorf (2005), un sistema automatizado se concibe como un proceso o conjunto de dispositivos que operan con mínima intervención humana. En este sentido, el autor sostiene que conceptualmente se trata de un mecanismo de control donde la participación del operador es muy reducida, integrado por elementos que permiten controlar de forma autónoma una variable física sin necesidad de intervención manual. Así mismo explica que la automatización transfiere tareas realizadas tradicionalmente por personas a un conjunto de componentes tecnológicos programados para ejecutarlas automáticamente. Finalmente concluye que dicha implementación mejora la eficiencia, la precisión y la continuidad de los procesos.

Según Reviriego (2025), un sistema automatizado típico está compuesto por sensores, un controlador y actuadores que interactúan en conjunto. Al respecto, el autor explica que los sensores captan información del entorno o del proceso (por ejemplo, mediciones de temperatura, humedad, nivel de agua, etc.), convirtiéndola en señales eléctricas utilizables. En esa misma línea, este

investigador señala que el controlador (usualmente una computadora industrial, PLC o microcontrolador) es el cerebro del sistema: recibe las señales de los sensores, las compara con los valores deseados y ejecuta una lógica de control para decidir acciones. Finalmente, el autor detalla que los actuadores son dispositivos físicos que realizan las acciones ordenadas por el controlador, convirtiendo las señales de control en movimientos o cambios en el proceso, tales como abrir una válvula, activar una bomba o encender un motor.

2.2.2. Riego

De acuerdo con la FAO (2013), el riego consiste en aportar artificialmente agua a los cultivos, generalmente a través del suelo, para suplir las necesidades hídricas de las plantas cuando la precipitación natural es insuficiente. En esa misma línea, este organismo sostiene que se trata de una práctica fundamental en la agricultura y jardinería, ya que permite el crecimiento de plantas en regiones o épocas secas al mantener la humedad del suelo en niveles óptimos para el desarrollo vegetal. Finalmente, enfatiza que mediante esta técnica se transforma la agricultura de secano (dependiente exclusivamente de la lluvia) en agricultura de regadío, lo cual aumenta la productividad de los cultivos.

Según CECOSO (2022), el agua es un recurso indispensable para la producción agrícola dado que de su disponibilidad depende la formación de biomasa en las plantas, aunque advierte que también es un recurso limitado y cada vez más escaso. Por esta razón señala que en la actualidad es crítico optimizar su uso en las actividades de riego.

De acuerdo con Intagri (2016), en la práctica del riego resulta crucial definir cuándo regar y cuánta agua aplicar. Además, sostiene que el uso de tecnologías como sensores de humedad de suelo, estaciones meteorológicas y sistemas automatizados permiten hoy programar el riego de forma más científica, evitando tanto el déficit hídrico como el riego excesivo.

Según Brouwer et al. (1985), existen diversos métodos de riego (superficial por gravedad, por aspersión, por microaspersión, localizado por goteo, entre otros), cada uno con sus ventajas, requerimientos y niveles de eficiencia en el uso del agua. Al respecto, estos autores señalan que, tradicionalmente, en muchas zonas se ha usado el riego por gravedad (inundación de surcos o tablares) debido a su

simplicidad, pero que su eficiencia hídrica es baja, ya que una parte importante del agua aplicada no es finalmente aprovechada por la planta.

2.2.3. Riego por Goteo

Según Fuentes (1990), el riego por goteo (también llamado riego localizado) es un método de irrigación altamente eficiente, en el cual el agua se aplica en forma de gotas o pequeños caudales directamente en la zona radicular de cada planta. Al respecto, el autor detalla que esto se logra mediante tuberías con orificios o emisores (goteros) dispuestos a lo largo de las líneas de cultivo, que liberan el agua de manera lenta y constante. En esa misma línea el autor destaca que, a diferencia del riego por aspersión o gravedad, el riego por goteo entrega el agua únicamente donde la planta puede absorberla (cerca de sus raíces) y a la velocidad que el suelo puede infiltrarla, minimizando pérdidas.

Por su parte, el CIMMYT (2019) reconoce a este sistema como el método más sostenible y eficiente en el uso del agua para riego. Específicamente, esta organización indica que un diseño bien implementado de goteo logra eficiencias de aplicación del agua del orden del 90% a 95%, cifras muy superiores al 55% a 60% típicamente alcanzado por riegos gravitacionales tradicionales.

Según PM Group (2024), entre los beneficios del riego por goteo se destaca el ahorro de agua, alcanzando alrededor de un 30% a 70% menos de consumo respecto a métodos convencionales. Asimismo, esta entidad señala que este sistema garantiza uniformidad en la distribución, logrando que cada planta reciba una dosis similar y uniformizando su crecimiento. En esa misma línea, la fuente menciona una significativa reducción de enfermedades, pues al no mojar el follaje disminuye la incidencia de hongos y otros patógenos ligados a la humedad.

2.2.4. Vivero y Riego en la Fase de Crecimiento

De acuerdo con Perú Ecológico (2009), un vivero se define como un espacio donde se producen y cuidan plantas jóvenes bajo condiciones controladas hasta su trasplante. En el contexto de esta especie, la misma fuente señala que el Algarrobo (*Prosopis pallida*) es un árbol nativo de las zonas áridas del norte del Perú. Finalmente, explica que, aunque los árboles adultos toleran sequías gracias

a sus raíces profundas, las plántulas dependen totalmente del riego regular, por lo que un suministro adecuado y uniforme resulta esencial para su supervivencia y desarrollo.

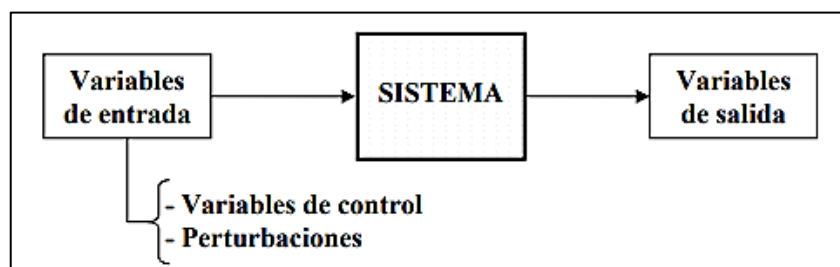
Según BCC Plant the planet (2025), durante la fase de crecimiento en vivero las plántulas de algarrobo requieren que el sustrato se mantenga húmedo pero no saturado. Al respecto, esta organización señala que un riego eficaz y uniforme garantiza que cada planta reciba la cantidad necesaria de agua sin encharcamientos ni zonas secas. En esa misma línea, la fuente destaca que dicho manejo promueve un desarrollo radicular robusto y homogéneo, produciendo plántulas de calidad listas para campo. Así mismo, la organización advierte que, al estar en contenedores o bolsas, el volumen de sustrato es limitado y la reserva de agua se agota rápidamente, de modo que incluso breves periodos de descuido pueden provocar estrés hídrico severo en las plántulas. Por el contrario, la misma entidad explica que el exceso de riego puede asfixiar las raíces (al desplazar el oxígeno del sustrato) o favorecer enfermedades fúngicas. Finalmente, concluye que el manejo del riego en vivero suele ser delicado y requiere monitoreo frecuente.

2.2.5. Sistemas de Control

Según Castaño (2019), el término sistema de control se refiere al conjunto de mecanismos o algoritmos que gobiernan el comportamiento de un proceso para alcanzar un objetivo deseado. Además, señala que en ingeniería de control se distinguen principalmente dos configuraciones: control en lazo abierto y control en lazo cerrado (retroalimentado).

Figura 1

Sistema de Control

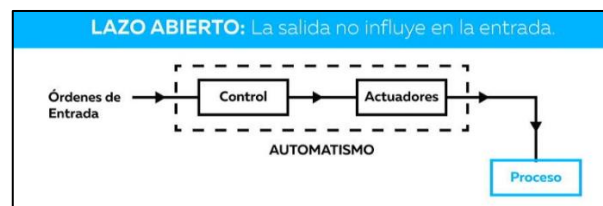


Nota. Esquema general de un sistema. Fuente: Álvarez (2014).

Control en lazo abierto: Castaño (2019) lo define como aquel en el que la acción de control se aplica sin medir la salida real del proceso ni compararla con el valor deseado. El autor detalla que el sistema actúa únicamente en función de la entrada o de un plan predefinido, asumiendo que el resultado será el esperado; Castaño recalca, además que no existe retroalimentación, por lo cual el controlador no corrige desviaciones ni sabe si se logró el efecto deseado. Un ejemplo clásico de lazo abierto es una lavadora doméstica que sigue un tiempo de lavado fijo independientemente de qué tan limpia esté la ropa, no hay sensores que midan la limpieza, la máquina simplemente ejecuta un programa establecido. La ventaja de los sistemas en lazo abierto es su simplicidad, pero son menos precisos y no se adaptan a perturbaciones o cambios en el proceso.

Figura 2

Control de Lazo Abierto

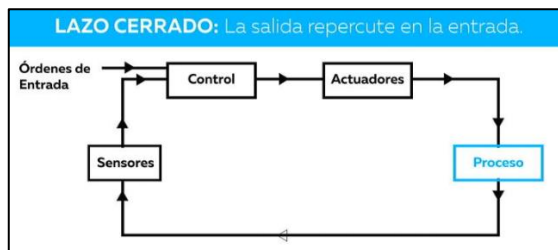


Nota. La figura muestra un sistema de control de lazo abierto.
Fuente: Altamirano (2019).

Control en lazo cerrado: Según Castaño (2019), en el esquema de control en lazo cerrado el sistema mide continuamente o periódicamente la salida del proceso mediante sensores y la compara con la referencia deseada. Al respecto, el autor explica que cualquier diferencia o error detectado se utiliza para ajustar la acción de control, de modo que el proceso se mantenga cercano al punto de consigna. En esa misma línea, este investigador señala que existe una retroalimentación constante que permite al controlador conocer la evolución de la variable controlada en todo momento. Asimismo, destaca que esta característica confiere mayor exactitud y capacidad de respuesta ante perturbaciones o cambios en el entorno, aunque a costa de una mayor complejidad técnica. Finalmente, el autor ejemplifica este concepto con el caso de un termostato que regula la temperatura de una incubadora, el cual mide la temperatura interior y acciona la resistencia calefactora para mantener el objetivo, compensando así las pérdidas de calor.

Figura 3

Control en Lazo Cerrado



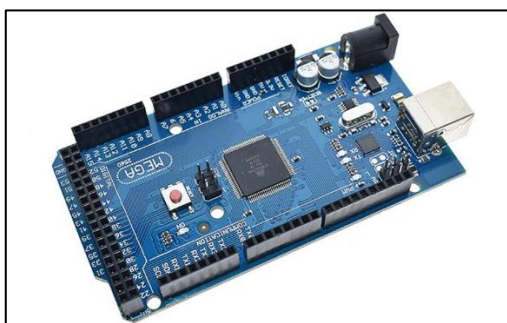
Nota. La imagen muestra un sistema de control en lazo cerrado, en el cual la salida se retroalimenta para la corrección continua del proceso. Fuente: Altamirano (2019).

2.2.6. Arduino

Fernández (2025), establece que Arduino es una plataforma de prototipado electrónico de código abierto basada en hardware y software libres, pensada para facilitar la creación de proyectos interactivos con microcontroladores. El autor detalla que, en esencia, un Arduino es una pequeña placa que integra un microcontrolador (un chip de la familia ATmega de 8 bits) junto con circuitos auxiliares (regulador de voltaje, oscilador de reloj, interfaz USB, pines de entrada/salida) que permiten conectarle fácilmente sensores, actuadores y comunicarse con un ordenador para ser programado. Asimismo, Fernández explica que su entorno de desarrollo (Arduino IDE) y lenguaje simplificado (basado en C/C++) hacen que programar un Arduino resulte accesible incluso para no especialistas.

Figura 4

Arduino Mega 2560 R3



Nota. Arduino Mega 2560 R3. Se utilizará para el manejo de datos del riego automático. Fuente: SAISAC MECATRONICA (2024).

2.2.7. Tecnología GSM

De acuerdo con INCE (2025), la tecnología GSM (Global System for Mobile Communications, originalmente Groupe Spécial Mobile) es un estándar abierto de comunicación móvil celular 2G, ampliamente adoptado a nivel mundial para servicios de voz y datos básicos. En esencia, esta organización explica que dicho estándar define cómo se estructuran las redes celulares y cómo los dispositivos móviles se comunican con la infraestructura de red para transmitir información.

Según la VIU (2023), la tecnología GSM (Groupe Special Mobile) es un sistema de comunicación móvil basado en tecnología digital que permite la conexión entre teléfonos inalámbricos y computadoras, facilitando el envío de mensajes de texto, correos electrónicos y el acceso a redes informáticas.

2.2.8. Arquitectura de la Red GSM

Según Awati R. *et al.* (2025), para comprender cómo se comunica el módulo del sistema, es fundamental describir la arquitectura de la red GSM, la cual está compuesta por varios subsistemas principales interconectados.

Según Vásconez y Chamba (2013), la arquitectura del sistema GSM se divide en tres subsistemas esenciales que permiten ofrecer servicios de telefonía móvil y conectar con otras redes. Estos subsistemas son: el **NSS** (Subsistema de Red y Conmutación), que gestiona el tráfico y las llamadas; el **BSS** (Subsistema de Estación Base), que enlaza los dispositivos móviles con la red; y el **MS** (Estación Móvil), correspondiente al equipo terminal del usuario.

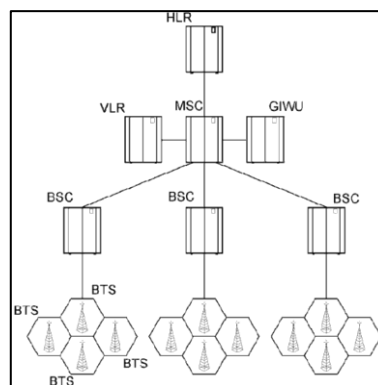
- **Estación Móvil (MS):** Según Awati et al. (2025), es el dispositivo del usuario, en este caso el módulo GSM con su tarjeta SIM, considerado similar a un teléfono móvil. En esa misma línea, los autores añaden que este componente incluye el hardware de radio y la tarjeta SIM que identifica al abonado.
- **Subsistema de Estación Base (BSS):** De acuerdo con Awati et al. (2025), este subsistema está conformado por las Estaciones Base Transceptoras (BTS) y los Controladores de Estación Base (BSC). Al respecto, los autores explican que la BTS es la antena o torre celular que establece la

comunicación de radio con los dispositivos móviles en su área o célula. Asimismo, señalan que cada BTS cubre un área geográfica determinada y maneja las comunicaciones de varios móviles dentro de su alcance. Por otro lado, indican que las BTS están conectadas a un BSC, el cual controla y gestiona varias estaciones base. Finalmente, sobre este punto, la fuente detalla que el BSC asigna canales de radio, gestiona los trasposos (handover) cuando un móvil se mueve de una celda a otra, y sirve de puente entre las BTS y el núcleo de la red.

- **Subsistema de Red y Conmutación (NSS):** Para Awati et al. (2025), este subsistema constituye el núcleo de conmutación de la red GSM. Específicamente, los autores describen que incluye el Centro de Conmutación Móvil (MSC), el cual es un nodo central encargado de enrutar llamadas y datos desde la red de radio hacia otras redes (como telefonía fija o Internet) y viceversa.

Figura 5

Arquitectura de la Red GSM



Nota. Arquitectura de la red GSM, compuesta por sus principales subsistemas y elementos de comunicación móvil. Fuente: (Suardíaz y Al-Hadithi, 2004)

2.2.9. Módulo GSM para Arduino (Shield GSM)

Según CDTECNOLOGIA (2025), el módulo GSM/GPRS compatible con Arduino, comúnmente llamado shield GSM cuando se presenta en formato de placa apilable es un dispositivo que incorpora un transceptor (como el chip SIM900 o SIM800), otorgando al microcontrolador la habilidad de conectarse a

la red celular. Al respecto, esta entidad explica que un shield típico permite enviar y recibir mensajes de texto (SMS), realizar llamadas de voz y transmitir datos GPRS (Internet móvil básico) mediante comandos AT enviados a través de una interfaz serial. En particular, la fuente detalla que el módulo SIM900 ampliamente difundido en el ámbito de desarrollo opera en cuatribanda GSM (850/900/1800/1900 MHz), característica que asegura su funcionamiento en redes de cualquier país. Finalmente, sobre su operación básica, la fuente señala que, al montar el shield sobre la placa base y proporcionarle una antena junto a una tarjeta SIM activa, el sistema puede interactuar con el módulo usando instrucciones AT para registrarse en la red móvil, comprobar la intensidad de la señal o realizar envíos de datos.

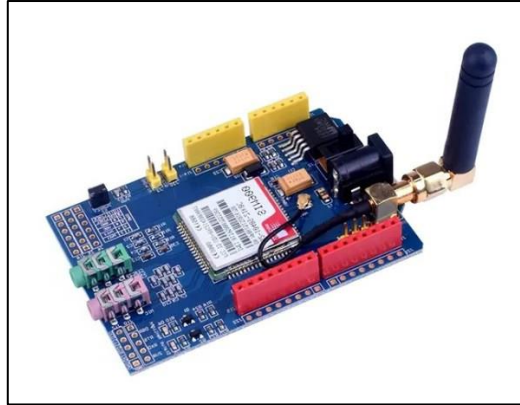
En cuanto a sus especificaciones técnicas, CDTECNOLOGIA (2025) menciona que estos shields suelen incorporar características prácticas como un zócalo para SIM de tamaño estándar y una conexión serial configurable, ofreciendo a veces la opción de utilizar software serial en los pines D7/D8 o la UART hardware en D0/D1. Asimismo, la fuente destaca la importancia de la alimentación externa opcional, dado que al transmitir se consumen picos de corriente relativamente altos cercanos a 2A brevemente que exceden la capacidad de suministro del puerto USB del Arduino. Adicionalmente, la fuente añade que estos dispositivos cuentan con indicadores LED de estado de registro en la red y, en muchos modelos, incluyen conectores de audio jack 3.5mm para llamadas de voz y una batería de respaldo para el reloj de tiempo real (RTC) interno del módulo.

En el contexto de esta implementación, CDTECNOLOGIA (2025) indica que el shield GSM cumple el rol de interfaz de comunicación remota del controlador. De esta manera, la entidad sostiene que el dispositivo convierte al prototipo de riego automatizado en un sistema IoT capaz de interactuar con usuarios o sistemas externos a través de la red móvil. Por otro lado, la fuente resalta que, dado que los shields GSM trabajan a nivel de 5V TTL en sus pines de interfaz, son directamente controlables por un Arduino, a diferencia de módulos celulares más modernos de 3.3V que requieren adaptación de niveles lógicos. Finalmente, la fuente concluye que la facilidad de tipo plug and play simplifica significativamente la implementación, ya que basta con montar el módulo,

alimentarlo correctamente con 9V-12V externos para suplir los picos de corriente y utilizar la librería adecuada para comenzar a transmitir y recibir datos.

Figura 6

Módulo GSM para Arduino (Shield GSM SIM 900)



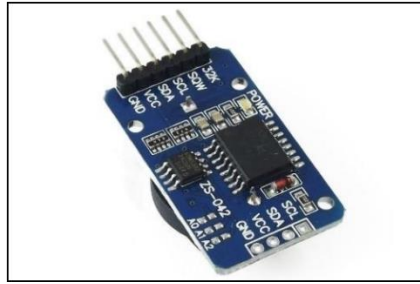
Nota. Permite la conectividad y el intercambio de datos a través de redes móviles. Fuente: (Tecneu, 2024).

2.2.10. RTC DS3231 (Reloj de Tiempo Real)

Según Tecneu (2023), el RTC DS3231 se define como un reloj en tiempo real de alta precisión diseñado para llevar el registro de fecha y hora de manera autónoma en proyectos electrónicos. Al respecto, esta entidad explica que, a diferencia de la placa Arduino que pierde el conteo temporal al reiniciarse o al cortar la alimentación, este módulo mantiene la hora gracias a la integración de una batería de respaldo y un oscilador altamente estable. En esa misma línea, la fuente indica que los RTC son dispositivos ideales para registrar eventos con marca temporal o ejecutar acciones programadas, destacando además por su bajo consumo de energía. Finalmente, la fuente resalta que el modelo DS3231 sobresale por su alta exactitud, ya que incorpora un oscilador compensado por temperatura (TCXO) que reduce los errores generados por cambios térmicos, superando así a otros modelos comunes como el DS1307

Figura 7

RTC DS3231



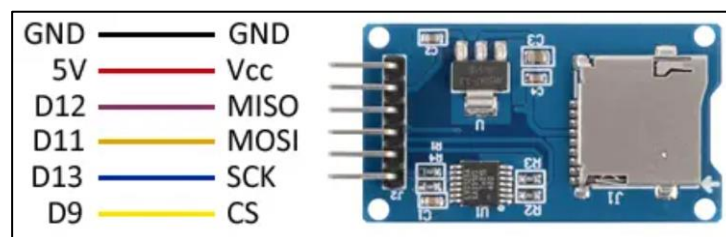
Nota. El Módulo RTC DS3231 permite capturar hora y fecha exacta de forma autónoma en proyectos electrónicos. Fuente: (Tecneu, 2023).

2.2.11. Módulo de Memoria MicroSD

Según Llamas (2022b), para el almacenamiento de datos en el sistema se utiliza un módulo lector/escritor de tarjetas MicroSD. Al respecto, el autor define a las tarjetas SD o microSD como dispositivos de memoria flash muy utilizados debido a su gran capacidad, tamaño reducido y universalidad en el mercado. En esa misma línea, la fuente señala que integrar una microSD a un Arduino permite registrar en memoria no volátil grandes volúmenes de información tales como registros históricos de lecturas o eventos de riego que posteriormente pueden ser analizados en una computadora. Asimismo, la fuente sostiene que, dado que la memoria interna de un Arduino es limitada, el uso de una tarjeta SD resulta casi imprescindible para realizar un registro de datos extensivo. Desde una perspectiva técnica, el autor explica que estos dispositivos se comunican mediante el bus SPI (Serial Peripheral Interface) cuando se emplean con microcontroladores. Finalmente, Llamas (2022b) detalla que un módulo típico incluye el zócalo para insertar la tarjeta y un circuito adaptador de nivel lógico necesario ya que las SD operan a 3.3V para garantizar la compatibilidad con las señales de 5V del Arduino.

Figura 8

Módulo de Memoria MicroSD



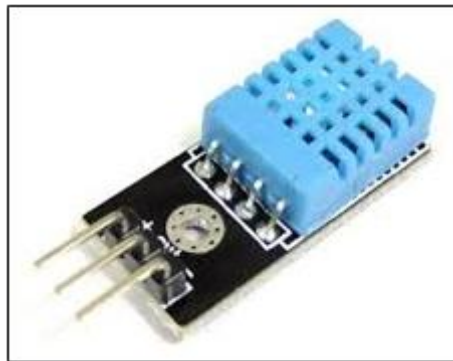
Nota. La imagen muestra un componente electrónico para almacenar datos de manera externa en proyectos electrónicos. Fuente: (Llamas, 2022b).

2.2.12. Sensor de Temperatura y Humedad DHT11

De acuerdo con Hernández (2017), el DHT11 es un sensor digital básico diseñado para medir dos parámetros ambientales: la temperatura y la humedad relativa del aire. Al respecto, el autor destaca que su popularidad en proyectos de Arduino y domótica se debe principalmente a su bajo costo, facilidad de uso y dimensiones reducidas. Desde el punto de vista técnico, la fuente detalla que internamente el dispositivo integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor (sensor de temperatura resistivo), junto con un conversor analógico-digital y la lógica de comunicación necesaria. Asimismo, explica que el sensor proporciona las lecturas en formato digital a través de un solo pin, utilizando un protocolo de comunicación de un hilo (single-bus) propio. Finalmente, la misma fuente concluye que esta característica simplifica significativamente la conexión, ya que solo se requiere alimentación (3 a 5V), tierra y un pin de datos para obtener ambas variables.

Figura 9

Sensor DHT11



Nota. Utilizado para la medición de condiciones ambientales en sistemas automatizados. Fuente: (Abraham, 2023).

2.2.13. Sensor de Humedad de Suelo HL-69

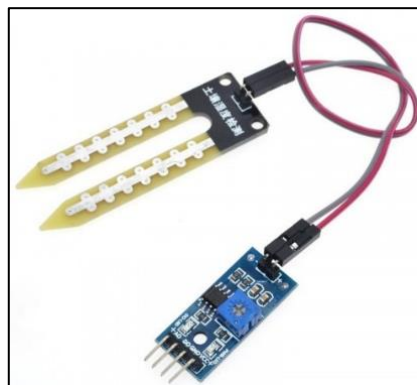
Según Gutiérrez et al. (2014), los sensores de humedad del suelo de principio resistivo categoría a la que corresponde el modelo HL-69 operan correlacionando la resistencia eléctrica del sustrato con su contenido volumétrico de agua. En este sentido, los autores explican que el dispositivo utiliza dos sondas a modo de electrodos para hacer circular una corriente

eléctrica a través del suelo, basándose en la premisa física de que el agua mejora la conductividad, mientras que el suelo seco actúa como un aislante. Asimismo, esta investigación destaca que el sistema interpreta la disminución de la resistencia entre los terminales como un aumento en la humedad, generando una señal de voltaje proporcional que es fácilmente procesable por microcontroladores en aplicaciones de agricultura de precisión. Finalmente, los investigadores concluyen que, gracias a su bajo costo y simplicidad de interfaz, esta tecnología resulta altamente viable para la implementación de nodos de sensores en sistemas de riego automatizado de pequeña y mediana escala.

De acuerdo con C&D Tecnologia (2025), el módulo HL-69 usualmente se compone de dos partes diferenciadas: la sonda propiamente dicha, que consiste en la pieza con dos pistas metálicas diseñada para insertarse en la tierra, y una placa electrónica de acondicionamiento. Al respecto, esta entidad especifica que dicho componente de control es denominado frecuentemente como módulo comparador LM393.

Figura 10

Sensor de Humedad de Suelo HL-69



Nota. Módulo de humedad utilizado para la medición volumétrica del contenido de agua en el suelo. Fuente (AWERS, 2025)

2.2.14. Sensor de Lluvia MH-RD

De acuerdo con Nawandar y Satpute (2019), el sensor de lluvia (como el modelo MH-RD) es un componente crítico en la arquitectura de un sistema de riego inteligente, encargado de detectar la ocurrencia de precipitaciones para evitar el desperdicio de recursos hídricos. En cuanto a su principio de operación, los autores detallan que el dispositivo utiliza una placa con pistas conductoras

expuestas que actúan como una resistencia variable; al entrar en contacto con el agua de lluvia, la resistencia entre pistas disminuye drásticamente, generando una señal eléctrica interpretable por el microcontrolador. Por último, los investigadores concluyen que esta detección en tiempo real es vital para la toma de decisiones autónoma, permitiendo suspender automáticamente las actividades de bombeo cuando la contribución natural de lluvia es suficiente para el cultivo.

Figura 11

Sensor de Lluvia MH-RD



Nota. Sensor de lluvia MH-RD, utilizado para la detección de precipitaciones en sistemas de monitoreo climático. Fuente: (JABOTS, 2025).

2.2.15. Sensor Ultrasónico HC-SR04

Según Adi Kuncara *et al.* (2020), el HC-SR04 es un sensor de medición de distancia que opera emitiendo ondas de sonido ultrasónicas a una frecuencia de 40 kHz para detectar objetos sin contacto físico. En cuanto a su funcionamiento interno, los autores explican que el microcontrolador envía una señal de disparo (trigger) al sensor, el cual responde emitiendo una ráfaga de pulsos y generando una señal de salida cuyo ancho de pulso corresponde al Tiempo de Vuelo (ToF) de la onda reflejada. En esa misma línea, la investigación detalla que este tiempo se utiliza para calcular la distancia exacta aplicando la fórmula física de la velocidad del sonido, logrando mediciones efectivas en rangos que van desde los 2 cm hasta los 400 cm. Finalmente, los investigadores concluyen que, si bien el sensor presenta ruido inherente en las mediciones, su integración con filtros digitales (como el filtro de Kalman) y su bajo costo lo convierten en una solución robusta para sistemas de monitoreo basados en microcontroladores e Internet de las Cosas (IoT).

Figura 12

Sensor Ultrasónico HC-SR04



Nota. La imagen muestra el sensor ultrasónico HC-SR04. Fuente: (MTLAB, 2025; Naylamp Mechatronics, 2023).

2.2.16. Sensor de Flujo de Agua YF-S201

Según Lalnunthari y Thanga (2017), el sensor de flujo YF-S201 es un dispositivo basado en el efecto Hall, reconocido en la industria por ser una solución económica y confiable para la medición de caudal en tuberías de pequeño diámetro. En cuanto a su principio de funcionamiento, estos investigadores explican que el módulo contiene internamente un rotor de molinete que gira impulsado por el paso del fluido; este movimiento activa un sensor magnético de efecto Hall integrado que genera un pulso eléctrico por cada revolución del rotor. Finalmente, los autores concluyen que la frecuencia de la señal de salida (pulsos por segundo) es linealmente proporcional a la velocidad del flujo, lo que permite a un microcontrolador calcular el volumen de agua consumido aplicando un factor de conversión específico (típicamente 7.5 Hz por litro/minuto).

Figura 13

Sensor de Flujo de Agua YF-S201



Nota. La imagen muestra el sensor de flujo de agua YF-S201. Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2018).

2.2.17. Módulo de Relé de 4 Canales (4CH Relay)

Según Edubotics (2025), un módulo de relés de 4 canales (5V) se define como una placa que integra cuatro relés electromecánicos junto con los circuitos de acoplamiento necesarios para controlarlos de forma segura mediante un microcontrolador. Al respecto, esta entidad explica que dichos relés funcionan como interruptores controlados eléctricamente, los cuales, a través de una bobina electromagnética, tienen la capacidad de abrir o cerrar circuitos independientes de mayor potencia o distinto voltaje al del circuito de control. Finalmente, la fuente señala que estos dispositivos permiten que una placa como Arduino limitada a proveer señales de 5V y pocos miliamperios controle cargas de alto voltaje o corriente (como bombas, válvulas o luces de 220V AC), garantizando al mismo tiempo el aislamiento galvánico entre ambos lados.

En nuestro sistema, el módulo de 4 relés actúa como la interfaz de potencia: permite que el Arduino controle los actuadores principales del sistema de riego, los cuales operan a voltajes/corrientes mayores. Por ejemplo:

- Un relé se utilizará para encender/apagar la bomba de agua sumergible (que podría ser de 12V DC o incluso una bomba AC). El Arduino ordena mediante un pin la activación del relé, este cierra su contacto y alimenta la bomba desde su fuente de energía adecuada. Cuando se desactiva, corta la corriente a la bomba.
- Otro relé podría controlar una válvula solenoide de agua (electroválvula) en caso de usar una para abrir/cerrar el paso del riego. Las electroválvulas suelen ser de 12V o 24V AC en riego agrícola; el relé haría de interruptor para energizarla.
- Adicionalmente, con 4 canales disponibles, hay margen para futuros expandir: por ejemplo, controlar una segunda zona de riego, un ventilador, iluminación, alarma sonora, etc., si se quisiera.

Figura 14

Módulo Relay 4CH



Nota. Modulo Realy 4C. Fuente: (Edubotics, 2025)

2.2.18. Válvula Solenoide (Electroválvula)

Según Haritha et al.(2020), la válvula solenoide es un dispositivo electromecánico fundamental en la agricultura de precisión, el cual utiliza corriente eléctrica para generar un campo magnético que controla el flujo de fluidos. En cuanto a su mecanismo de acción, los autores explican que el componente funciona mediante una bobina interna que, al ser energizada, mueve un émbolo para abrir o cerrar el paso del agua, actuando, así como un interruptor físico gestionado por el sistema de control. En esa misma línea, la investigación destaca que estas válvulas se emplean ampliamente en sistemas de aspersión y goteo automatizados para regular el suministro hídrico sin intervención manual. Finalmente, los investigadores concluyen que, al integrarse con microcontroladores (como Arduino) y relés, las electroválvulas permiten una gestión eficiente de los recursos, activándose únicamente durante los intervalos programados o cuando los sensores detectan déficit de humedad.

Figura 15

Válvula Solenoide (Electroválvula)



Nota. La imagen muestra una válvula solenoide o electroválvula.

Fuente: (GENERACALOR, 2024).

2.2.19. Bomba de Agua Sumergible

Según Siregar et al. (2020), la mini bomba sumergible es un actuador electromecánico compacto diseñado para operar completamente inmerso en el fluido, siendo un componente clave en sistemas de automatización para el llenado y vaciado de tanques. Al respecto, los autores explican que este dispositivo funciona mediante un motor de corriente continua (DC) que impulsa el agua hacia la superficie a través de una tubería, eliminando la necesidad de cebado manual. En cuanto a su control, la investigación detalla que la bomba se gestiona mediante señales digitales provenientes de un microcontrolador (como Arduino) que activa un módulo de relé, permitiendo así encender o apagar el flujo de manera automática según los niveles detectados por los sensores. Finalmente, los investigadores concluyen que la integración de estas máquinas de bombeo de bajo costo con plataformas IoT facilita la gestión remota y eficiente de los recursos hídricos en aplicaciones residenciales y de pequeña escala.

Según Llamas (2022a), las características típicas de las mini bombas sumergibles de 12V DC incluyen un caudal máximo del orden de 200 a 300 litros/hora (unos 3-5 litros por minuto) y una altura máxima de elevación o columna de agua de unos 2 a 3 metros. En cuanto al consumo energético, el autor especifica que la potencia ronda los 5W, lo que a un voltaje de 12V implica un consumo de corriente de aproximadamente 0.4 A.

En el contexto de la investigación, el autor señala que este dispositivo cumple varios propósitos teóricos fundamentales:

- **Automatización del riego:** Al respecto, la fuente indica que, en lugar de realizar el riego manualmente con regaderas o mangueras, la bomba permite que el sistema entregue agua bajo demanda. Específicamente, el autor detalla que el dispositivo es activado por un relé controlado por Arduino en los momentos precisos que los sensores indican necesidad, cerrando así el lazo de control físico.
- **Optimización del consumo:** En esa misma línea, el autor destaca que, mediante el uso de la bomba junto a un caudalímetro, es posible dosificar

exactamente cuánta agua se suministra. Como ejemplo, menciona la posibilidad de regar hasta detectar el paso de 5 litros (vía YF-S201) y luego apagar el sistema, logrando una exactitud superior a la operación manual.

- **Independencia de red eléctrica AC:** Por otro lado, el autor explica que las bombas sumergibles de baja tensión tienen la capacidad de funcionar con baterías o paneles solares. De este modo, la fuente sugiere que un sistema de riego optimizado podría alimentarse teóricamente con energías renovables in situ, siendo la bomba el principal consumidor a considerar para el dimensionamiento.
- **Protección del equipo:** Adicionalmente, el autor advierte que, desde el punto de vista de control, es crucial evitar el funcionamiento en vacío (dry run) para no dañar el mecanismo. Por ello, recomienda el uso de sensores como el ultrasónico de nivel o la lectura del caudalímetro para apagarla automáticamente en caso de bajo nivel de agua.

Finalmente, Llamas (2022a) describe que la integración de la bomba es sencilla: su salida se conecta al sistema de distribución (mangueras o goteros) y su alimentación se gestiona a través del contacto de un relé, colocándose el dispositivo dentro del reservorio al ser sumergible.

Figura 16

Bomba de Agua Sumergible



Nota. La imagen muestra una bomba de agua sumergible.
Fuente: (Llamas, 2022a).

2.2.20. Fuente de alimentación

Según Peña (2017), la fuente de alimentación eléctrica cobra una importancia fundamental al operar con sistemas Arduino. Al respecto, el autor indica que, aunque el cable USB puede ser usado inicialmente para recibir energía de la computadora, también es factible optar por fuentes alternativas, tales como los adaptadores de corriente.

En cuanto al adaptador de corriente (o fuente de alimentación conmutada), Peña (2017) lo describe como un componente esencial para proyectos estacionarios que operan conectados a la red eléctrica. En esa misma línea, el investigador explica que su función principal es convertir la corriente alterna (AC) de la toma de pared en corriente continua (DC), logrando esta transformación de manera eficiente mediante transistores en conmutación. Específicamente, la fuente detalla que este dispositivo opera con un amplio voltaje de entrada de 100 V – 240 V AC y suministra un voltaje de salida estable y constante de 12V DC, con una corriente máxima de 1 A y una eficiencia del 80%. Finalmente, autor concluye que dichas características lo hacen ideal para alimentar una tarjeta Arduino, así como actuadores de mayor consumo como mini bombas de 12V o válvulas solenoide DC.

Figura 17

Adaptador de corriente



Nota. Alimentación de corriente para el circuito. Fuente: (Peña, 2017)

2.3. Bases conceptuales

De acuerdo con Liu et al. (2025), el riego tecnificado y automatizado se ha vuelto fundamental para promover una agricultura sostenible, especialmente frente al desafío de la creciente escasez de agua. Al respecto, los autores señalan que, a nivel global, la agricultura consume cerca del 70% del agua dulce disponible. En esa misma línea, Liu los investigadores advierten que los métodos tradicionales de riego presentan ineficiencias significativas al no tener la capacidad de adaptarse a factores dinámicos como la humedad del suelo o la lluvia. Finalmente, sobre esta problemática, la investigación sostiene que este uso ineficiente del agua agrava la crisis hídrica mundial, motivo por el cual optimizar el riego constituye una prioridad indiscutible.

En respuesta a este escenario, Lefkowitz (2019) indica que la agricultura inteligente ha incorporado tecnologías de sensores, automatización y análisis de datos con el objetivo de ajustar el riego en tiempo real. Asimismo, el autor destaca que esta modernización permite reducir el desperdicio de recursos hídricos y mejorar la productividad de los cultivos. Por último, autor concluye que estudios recientes respaldan esta tendencia, evidenciando que un sistema de riego inteligente que integra datos de suelo, clima y fisiología vegetal puede ahorrar alrededor de un 40% del agua en comparación con los métodos convencionales.

En los viveros forestales, la importancia de un riego eficiente es aún más crítica según Dumroese et al. (2012), quienes señalan que el agua es el factor que más influye en el crecimiento y la sanidad de las plántulas. Al respecto, los autores advierten que omitir un riego puede causar daños severos o la muerte de las plantas jóvenes, mientras que el exceso de agua propicia enfermedades radiculares y otros problemas fisiológicos. En esa misma línea, la investigación indica que un manejo adecuado garantiza que cada planta reciba la humedad necesaria en el momento oportuno, evitando tanto el estrés hídrico como el encharcamiento. Finalmente, los investigadores explican que un sistema de riego bien diseñado y controlado mejora la calidad de las plantas, reduce costos de mano de obra y optimiza el uso del agua al minimizar el drenaje y la escorrentía excedente.

En el caso de especies forestales de zonas áridas, como el algarrobo (*Prosopis pallida*), Fernandez (2020) sostiene que la eficiencia hídrica reviste una importancia ecológica y productiva. Específicamente, el autor menciona que se busca utilizar la menor cantidad

de agua posible sin comprometer el crecimiento, dado que esta especie es clave en la reforestación de bosques secos, pero no tolera el riego excesivo o prolongados encharcamientos del suelo. En suma, la literatura sugiere que la integración de tecnologías de riego automatizado en viveros forestales representa una estrategia para lograr una agricultura sustentable, al compatibilizar la producción de plantas de calidad con la gestión eficiente del recurso hídrico.

2.3.1. Variable independiente: Sistema de riego automatizado

2.3.1.1. Sistema de riego automatizado y tecnología GSM

Según Calapaqui y Chiguano (2022), el sistema de riego automatizado es un conjunto tecnológico diseñado para distribuir agua a las plantas de manera controlada según parámetros previamente definidos. Al respecto, los autores explican que, a diferencia del riego manual o programado convencional, en este sistema se integran sensores, controladores y dispositivos de aplicación (aspersores o goteo) que permiten suministrar el agua en la ubicación, cantidad, frecuencia y horario necesarios. En esa misma línea, la fuente detalla que se trata de una herramienta de precisión donde los sensores monitorean variables, el controlador procesa esa información comparándola con umbrales óptimos y activa el riego mediante electroválvulas o bombas sin intervención humana directa.

Según Pavithra y Srinath (2014), dentro de las tecnologías empleadas para habilitar la automatización del riego, destaca la comunicación inalámbrica GSM. Los autores señalan que GSM es un estándar de telecomunicaciones móviles ampliamente disponible, incluso en zonas rurales, que permite transmitir datos y mensajes a través de la red celular. En este sentido, explican que, en los sistemas de riego automatizado, la tecnología GSM suele integrarse mediante módulos con tarjeta SIM, habilitando funciones de telemetría y control remoto. Como ejemplo de esto, en su propio sistema, el módulo GSM envía al agricultor información en tiempo real sobre las condiciones del campo (humedad del suelo, estado de válvulas, etc.) mediante mensajes de

texto SMS, además de recibir comandos a distancia para activar o desactivar el riego según la necesidad.

2.3.1.1.1. Sistema de medición: sensores de agua, clima y suelo

Una de las dimensiones clave del sistema de riego automatizado es el sistema de medición, conformado por los sensores e instrumentos que recopilan información sobre el agua y el entorno. Estos datos alimentan al controlador para decidir cuándo y cuánto regar, de manera que el riego se ajuste a las condiciones reales y se eviten desperdicios. En el presente estudio, se han identificado como indicadores del sistema de medición: la cantidad de agua utilizada, la presencia de lluvia, la disponibilidad hídrica y la humedad del suelo. A continuación, se fundamenta cada uno:

- **Cantidad de agua utilizada:** Según NIUBOL (2024), para cuantificar el volumen de agua aplicado es común emplear medidores de flujo instalados en la tubería principal. Al respecto, la entidad explica que estos caudalímetros registran el volumen que pasa durante un intervalo de tiempo, permitiendo calcular la cantidad total de agua utilizada por sector o evento.
- **Presencia de lluvia:** De acuerdo con NIUBOL (2024), incorporar información sobre lluvia es indispensable para un riego eficiente. La fuente señala que un sensor de lluvia permite detectar precipitaciones, de modo que el sistema pueda suspender los riegos programados cuando está lloviendo. Finalmente, la entidad destaca que esta lógica previene riegos innecesarios y aprovecha al máximo el agua natural, evitando la saturación del suelo.

- **Disponibilidad hídrica:** Según NIUBOL (2024), este indicador se refiere a la cantidad de agua disponible para las plantas, combinando factores como la humedad aprovechable y la accesibilidad. En ese sentido, la fuente explica que especies con raíces profundas, como el algarrobo, pueden acceder a capas húmedas inferiores, aumentando su resiliencia. Por último, se concluye que medir la disponibilidad implica evaluar cuánta agua útil hay en el sistema suelo-planta para evitar tanto déficits prolongados como excesos.
- **Humedad del suelo:** Según NIUBOL (2024), este es el indicador base para la toma de decisiones, refiriéndose al contenido volumétrico de agua en el sustrato. Al respecto, la entidad menciona que los sensores de humedad son quizás el componente más común en el riego inteligente, ya que brindan información en tiempo real sobre cuándo es necesario regar. Finalmente, la fuente sostiene que gracias a estos sensores se evita el riego por "calendario fijo", avanzando hacia un riego preciso basado en las necesidades reales del cultivo.

En conjunto, el sistema de medición provee los ojos y oídos del sistema de riego automatizado. Sensores de suelo (humedad, conductividad), sensores ambientales (lluvia, temperatura, humedad relativa) y medidores de flujo y presión trabajan en sinergia para ofrecer una imagen completa del estado hídrico del vivero.

2.3.1.1.2. Sistema de control

La segunda gran dimensión del sistema de riego automatizado es el sistema de control, que abarca los mecanismos de

comunicación, procesamiento y supervisión que permiten operar el riego de forma autónoma y remota. Aquí intervienen las tecnologías de comunicación inalámbrica, la electrónica de control (microncontroladores, PLCs o computadores) y las interfaces de usuario para monitoreo remoto de los parámetros.

- **Comunicación inalámbrica:** Este indicador se refiere a la capacidad del sistema para transmitir datos sin necesidad de cableado físico, utilizando en este estudio el estándar GSM. Según Pavithra y Srinath (2014), la comunicación inalámbrica GSM aporta conectividad de largo alcance entre el sistema de riego en campo y el usuario o servidor central. Al respecto, los autores explican que, a través del módulo GSM, el sistema puede enviar datos (vía SMS o GPRS) sobre las lecturas de los sensores y el estado de los actuadores, recibiendo a su vez instrucciones desde el usuario. En esa misma línea, los autores destacan que esto habilita la denominada telemetría agrícola, es decir, la capacidad de medir a distancia. Como ejemplo práctico, los investigadores describen un sistema en el cual el productor puede consultar el estado de humedad del suelo en cualquier momento mediante una aplicación móvil, gracias a que el módulo GSM le informa por SMS de la condición exacta del campo en respuesta a su solicitud. En suma, la fuente concluye que la comunicación GSM integra el sistema de riego a la red de telefonía celular, brindándole ubicuidad para interactuar con él desde cualquier lugar y a cualquier hora.
- **Monitoreo remoto:** Este indicador hace referencia a la supervisión a distancia de las variables del sistema, facilitada por el procesamiento del microcontrolador y

las interfaces de usuario (IoT). De acuerdo con Liu et al. (2025), el monitoreo remoto se define como la capacidad de supervisar en tiempo real las condiciones del cultivo y el funcionamiento de los equipos desde una ubicación distinta al sitio de operación. Sobre este punto, los investigadores señalan que esta funcionalidad se sustenta en el uso de microcontroladores conectados a Internet (IoT), los cuales recopilan las señales de los sensores, las procesan y las envían a plataformas en la nube para su visualización. Asimismo, los autores destacan que la ventaja principal de este monitoreo reside en la inmediatez de la información, permitiendo al agricultor observar gráficas de humedad o recibir notificaciones de fallas eléctricas directamente en un dispositivo móvil o computadora. Por último, la investigación sostiene que este nivel de supervisión remota mejora la resiliencia del manejo agrícola, ya que permite detectar anomalías críticas (como sequía imprevista o fugas) y tomar decisiones correctivas al instante sin necesidad de desplazarse al vivero.

2.3.2. Variable dependiente: Optimización del consumo de agua

2.3.2.1. Optimización en el consumo de agua

Según Dumroese et al. (2012), la optimización del consumo de agua consiste en emplear la menor cantidad posible del recurso sin comprometer el crecimiento de las plantas, lo cual se logra mediante una mayor eficiencia del riego. Al respecto, los autores explican que en viveros forestales esta eficiencia es crucial porque muchas especies se destinan a zonas con limitaciones hídricas, donde el agua puede ser un insumo costoso o escaso y su uso ineficiente incrementa los gastos de producción. Además, los investigadores añaden que un manejo adecuado del recurso reduce la extracción de fuentes naturales como

ríos y acuíferos, favoreciendo la sostenibilidad ambiental y garantizando la disponibilidad del agua a largo plazo.

En el caso de cultivos forestales como el algarrobo (*Prosopis pallida*), Fernandez (2020) sostiene que la eficiencia del uso del agua durante la fase de vivero es fundamental tanto para ahorrar recursos como para formar plantas más resistentes. El autor detalla que esto implica un delicado balance: proporcionar suficiente agua para un crecimiento saludable, pero evitando excesos que malacostumbren a la planta a condiciones de saturación.

Si el agua es limitada, las plantas reducen su tasa de crecimiento y priorizan la raíz sobre el follaje; con agua abundante pero continua, pueden generarse raíces más superficiales y una dependencia alta de riegos frecuentes. Por ello, Fernandez (2020) concluye que optimizar el consumo de agua en el vivero de algarrobo significa regar lo necesario ni más ni menos para fomentar plántulas vigorosas y aclimatadas a un uso moderado del agua, aumentando así su resiliencia en campo.

2.3.2.1.1. Duración del riego (minutos de riego por evento)

La duración del riego se refiere al tiempo durante el cual el sistema entrega agua en un evento determinado, lo cual se traduce directamente en la lámina o volumen aplicado al sustrato. Según Brouwer et al. (1985), optimizar la duración significa encontrar un equilibrio: suficiente tiempo para recargar el agua del suelo hasta niveles óptimos, pero sin excederse al punto de generar drenaje profundo o escorrentía superficial. Al respecto, los autores advierten que, si el riego dura demasiado, el agua adicional simplemente percola más allá de la zona radicular activa o se pierde, implicando un desperdicio neto del recurso.

- **Minutos a regar:** Para determinar la cantidad correcta de minutos, es necesario basarse en la capacidad de campo. Dumroese et al. (2012) recomiendan que el

riego dure lo suficiente para humedecer completamente el cepellón hasta el punto de saturación controlada. Los autores explican que el tiempo óptimo es aquel que permite llenar los poros del suelo con agua sin generar un escurrimiento excesivo por el fondo del contenedor. En la fase de crecimiento activo, Lopez y Vega (2024) sugieren ajustar los minutos a regar para aplicar volúmenes mayores debido a la alta demanda transpiratoria. Sin embargo, los autores aclaran que, en el caso del algarrobo, no se debe mantener el tiempo máximo constantemente, pues se busca desarrollar tolerancia a periodos secos. Por ello, los autores proponen modular la duración (minutos) en función de la lectura de los sensores: si la humedad objetivo se alcanza antes de lo previsto, el sistema debe cortar el riego automáticamente para optimizar el recurso.

2.3.2.2. Frecuencia de riego (intervalo entre riegos)

Según Fernandez (2020), la frecuencia de riego se refiere a cuán a menudo se realiza, típicamente expresada como el intervalo de días (o horas) entre un riego y el siguiente. El autor señala que, junto con la duración, la frecuencia conforma el calendario hídrico que determina el patrón de humedad al que estarán sometidas las plantas. En este sentido, optimizar la frecuencia significa programar los riegos ni muy seguidos (lo cual podría redundar en desperdicio de agua y exceso de humedad constante) ni muy espaciados (lo que provocaría períodos de sequía que estresen a las plantas). En otras palabras, el autor concluye que se busca la frecuencia justa para reponer el agua consumida por las plantas y evaporada del sustrato, manteniendo la humedad dentro de un rango adecuado.

- **Intervalo de días de riego:** En viveros forestales, el intervalo de días varía según la etapa fenológica. Fernandez (2020) explica que durante la germinación el intervalo suele ser cero o muy corto (riegos diarios)

debido a la baja retención del sustrato superficial. No obstante, el autor aclara que a medida que las raíces profundizan, el intervalo de días debe ampliarse, permitiendo que el sustrato se seque ligeramente entre riegos para fomentar la exploración radicular. Específicamente para la rustificación del algarrobo, Lopez y Vega (2024) destacan la importancia de aumentar el intervalo de días de riego. Al respecto, los autores mencionan que, al espaciar los eventos, se induce un "estrés hídrico controlado" que detiene el crecimiento elongativo excesivo y promueve mecanismos de adaptación a la sequía. Finalmente, Lopez y Vega (2024) concluyen que la definición correcta de este intervalo de días es determinante para obtener una planta de calidad, robusta y lista para su trasplante a campo definitivo.

2.3.2.3. Relación conceptual entre variables: impacto del riego automatizado en la optimización hídrica

Queda por establecer de forma integrada cómo el sistema de riego automatizado (variable independiente) contribuye a la optimización del consumo de agua (variable dependiente). Según Suaquita y Mamani (2025), la implementación de sistemas automáticos con sensores ha demostrado reducciones significativas en el agua utilizada. Los autores reportan un caso práctico donde se logró que "cada planta reciba justo el agua que necesita, en el momento adecuado" gracias al monitoreo en tiempo real, eliminando el desperdicio típico del riego manual. Esto concuerda con Liu et al. (2025), quienes observaron que la automatización con IoT reduce el desperdicio al evitar riegos innecesarios y responder inmediatamente a las variaciones climáticas.

Concretamente, el sistema automatizado aporta los siguientes mecanismos de optimización:

- **Riego bajo demanda:** Según NIUBOL (2024), los sensores detectan cuándo el contenido hídrico baja del nivel óptimo y el controlador activa el riego solo en ese momento. La entidad explica que, si el suelo aún tiene suficiente humedad, el sistema retrasa o cancela riegos, evitando consumo superfluo.
- **Dosificación controlada del volumen:** De acuerdo con Calapaqui y Chiguano (2022), mediante medidores de flujo y electroválvulas el sistema aporta volúmenes precisos en cada evento. Los autores destacan que, al evitar las imprecisiones del riego manual ("a ojo"), se consigue una disminución notable en el volumen total aplicado durante la temporada.
- **Integración de la información de lluvia:** NIUBOL (2024) resalta que el sensor de lluvia permite al sistema suspender riegos cuando hay precipitación natural. Al respecto, la fuente concluye que esta detección evita el riego duplicado y permite aprovechar al 100% el agua pluvial, generando ahorros críticos en zonas estacionales.
- **Reducción de error humano y mejoras en la gestión:** De acuerdo con Suaquita y Mamani (2025), la automatización minimiza problemas operativos como riegos olvidados, válvulas mal cerradas o fugas no detectadas, las cuales son causas típicas de derroche en sistemas manuales. Asimismo, Liu et al. (2025) destacan que la capacidad de llevar registros continuos de cuánto y cuándo se riega permite analizar los datos para afinar la programación de forma científica. Finalmente, los investigadores concluyen que esta gestión basada en datos contribuye a una mejora continua en la eficiencia hídrica del vivero.

En relación específica con el algarrobo (*Prosopis pallida*), durante su fase de crecimiento en vivero, un sistema automatizado ayuda a recrear un régimen hídrico óptimo: mantiene el sustrato lo suficientemente húmedo para un buen crecimiento, pero modulando gradualmente la frecuencia y volumen para que desarrolle tolerancia.

Tabla 1*Cuadro de operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Sistema de riego automatizado (Independiente)	Es un conjunto tecnológico diseñado para distribuir agua a las plantas de manera controlada según parámetros previamente definidos (Calapaqui y Chiguano, 2022).	Se medirá esta variable basada en la información que proporcionan los sensores, controladores y actuadores, relacionados al sistema de medición y sistema de control	Sistema de medición	Cantidad de agua utilizada Presencia de lluvia Disponibilidad hídrica Humedad del suelo	Sensores que registran mediciones de propiedades físicas de su entorno Modulo GSM (SIM900) Microcontrolador (Arduino Mega)
			Sistema de control	Comunicación inalámbrica Monitoreo remoto	
Optimización del consumo de agua (Dependiente)	Consiste en emplear la menor cantidad posible del recurso sin comprometer el crecimiento de las plantas, lo cual se logra mediante una mayor eficiencia del riego (Dumroese <i>et al.</i> , 2012).	Se medirá mediante el registro del volumen de agua consumido y la frecuencia de los eventos en comparación con el grupo control.	Duración de Riego Frecuencia de Riego	Minutos a regar Intervalo de días de riego	Registro de datos (Bitácora / Data Logger)

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipificación de la investigación

Tipo de investigación

De acuerdo con la Ley N.º 31250 (Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación), la investigación científica se clasifica en básica y aplicada, por lo que el presente estudio se enmarca en la categoría de investigación aplicada. Esta clasificación se sustenta en lo señalado por Hernández Sampieri et al. (2014), quienes indican que los estudios aplicados tienen como finalidad la resolución de problemas prácticos e inmediatos; premisa que coincide con el objetivo de este trabajo, el cual utiliza conocimientos de electrónica y agronomía para resolver el problema específico del excesivo consumo de agua en la fase de crecimiento del algarrobo (*Prosopis pallida*) en vivero, planteándose como solución un sistema automatizado de riego que optimiza dicho consumo.

Nivel de investigación

El estudio se ubica en un nivel explicativo, pues pretende analizar la influencia de la implementación de un sistema de riego automatizado (variable independiente) en la optimización del consumo de agua (variable dependiente) durante la fase de crecimiento del algarrobo, identificando relaciones de causalidad entre ambas variables. Según Hernández Sampieri et al. (2014), este nivel de investigación no se limita a describir conceptos, sino que está dirigido a responder a las causas de los eventos y fenómenos físicos, explicando por qué ocurre el fenómeno y en qué condiciones se manifiesta.

Enfoque de investigación

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que, para evaluar la optimización del consumo de agua, es imprescindible la recolección y el análisis de datos numéricos objetivos que reflejen el desempeño real del sistema. En este estudio, se cuantificarán variables físicas exactas, tales como el volumen hídrico suministrado, la frecuencia de riego y los porcentajes de humedad del suelo, con el fin de verificar la eficiencia lograda. Según Hernández Sampieri et al. (2014), este enfoque utiliza la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar hipótesis. Bajo esta premisa, el análisis cuantitativo permitirá demostrar

matemáticamente si la implementación del riego automatizado reduce significativamente el gasto de agua en comparación con el manejo convencional.

Diseño de investigación

El diseño de investigación corresponde al tipo experimental puro (o verdadero), específicamente identificado como un diseño con posprueba únicamente y grupo de control. Según Hernández Sampieri et al. (2014), este diseño incluye dos grupos: uno recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo de control), siendo requisito indispensable que ambos sean equivalentes y asignados de manera aleatoria. Al respecto, los autores explican que la dinámica consiste en manipular la variable independiente para observar su efecto sobre la dependiente, realizando la medición únicamente después de aplicada la intervención.

En el contexto del estudio, la manipulación de la variable independiente tiene dos niveles (presencia vs. ausencia del sistema automatizado). Siguiendo la notación clásica descrita por Hernández Sampieri et al. (2014), el esquema del diseño se representa de la siguiente manera:

- **RG1 X O_1**
- **RG2 — O_2**

Donde:

- **RG:** Asignación aleatoria de las unidades experimentales (plantones de algarrobo) a cada grupo.
- **X:** Tratamiento experimental (implementación del sistema de riego automatizado).
- **—:** Ausencia de tratamiento (Riego manual o convencional).
- **O_1 / O_2** Medición final de la variable dependiente (optimización del consumo de agua) en cada grupo.

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), este tipo de diseño controla eficazmente las amenazas a la validez interna, ya que la asignación al azar asegura que la única diferencia sistemática entre los grupos sea la presencia del tratamiento. En esa misma línea, se procuró que todos los demás factores (condiciones ambientales, sustrato, tipo de planta) fueran iguales para ambos grupos, de modo que cualquier diferencia en los resultados (O_1 vs O_2) pueda atribuirse con certeza a la implementación

del sistema de riego. Finalmente, al no incluir preprueba, se elimina el riesgo de sensibilización por mediciones iniciales, garantizando un alto rigor en la evaluación del efecto propuesto.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Según Hernández Sampieri et al. (2014), la población debe situarse claramente en torno a sus características de contenido, lugar y tiempo. En el presente estudio, la población objetivo se delimitó como el lote experimental constituido por 100 plántones de Algarrobo (*Prosopis pallida*) que fueron propagados y establecidos específicamente para fines de esta investigación en las instalaciones del vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

3.2.2. Muestra

Dado que la población corresponde a un lote finito y manejable generado para el experimento, se determinó utilizar una muestra censal (o universal). De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), este procedimiento implica la selección del 100% de las unidades de análisis de la población definida; por lo tanto, la muestra estuvo conformada por los 100 plántones disponibles, eliminando así el error de muestreo y garantizando la representatividad total del lote estudiado.

Distribución de la muestra: Para la ejecución del diseño experimental, la totalidad de la muestra fue distribuida aleatoriamente en dos grupos balanceados:

- **Grupo Experimental (RG1):** Conformado por 50 plántones, sometidos al tratamiento de riego automatizado.
- **Grupo de Control (RG2):** Conformado por 50 plántones, sometidos al manejo de riego manual convencional.

3.3. Técnicas, instrumentos, equipos, materiales

A continuación, se describen las técnicas de investigación empleadas, así como los instrumentos de medición utilizados y los principales equipos y materiales del proyecto experimental:

3.3.1. Técnicas

- **Análisis documental:** Según Arias (2012), esta técnica es un proceso basado en la búsqueda y análisis de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales. En el contexto de este estudio, se utilizó para revisar las hojas de datos (datasheets) de los componentes electrónicos (Arduino, sensores YF-S201, módulo GSM) y manuales agronómicos sobre los requerimientos hídricos del *Prosopis pallida*.
- **Observación experimental:** De acuerdo con Hernández-Sampieri et al. (2014), esta técnica consiste en el registro sistemático y confiable de comportamientos o situaciones manifiestas mediante instrumentos. Para el presente proyecto, se emplearon instrumentos de medición integrados para captar datos físicos (volumen de agua, humedad del suelo) in situ en el vivero.

3.3.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para el registro, almacenamiento y validación de la información fueron:

- **Ficha de registro de datos (Bitácora de campo):** Instrumento de formato estructurado donde se registraron manualmente las observaciones biológicas (crecimiento, estado físico de las hojas) y las validaciones de los sensores durante la fase experimental.
- **Sistema de Adquisición de Datos (Data Logger):** Constituido por el algoritmo del microcontrolador que captura, digitaliza y almacena automáticamente las variables físicas (humedad, caudal, temperatura) en la memoria MicroSD.

3.3.3. Equipos y Materiales

Para la implementación del prototipo y el desarrollo de las pruebas, se dispuso de los siguientes recursos:

A. Equipos de Procesamiento, Comunicación y Almacenamiento:

- **Microcontrolador:** Placa de desarrollo Arduino Mega 2560 R3, seleccionada por su capacidad de pines I/O.

- **Módulo GSM/GPRS (SIM900):** Para conectividad inalámbrica y alertas SMS.
- **Módulo RTC DS3231:** Reloj de tiempo real para la sincronización horaria.
- **Módulo de Memoria MicroSD:** Para el almacenamiento local de datos en archivos de texto (.csv/.txt) para su posterior análisis.

B. Sistema de Sensores (Instrumentación):

- **Sensor de Humedad de Suelo (HL-69):** Sonda resistiva insertada en el sustrato para monitorear la disponibilidad hídrica en tiempo real.
- **Sensor de Flujo de Agua (YF-S201):** Caudalímetro de efecto Hall instalado en la línea de distribución para medir el volumen exacto de agua (litros).
- **Sensor Ultrasónico (HC-SR04):** Para medir el nivel de agua disponible en el tanque reservorio mediante la detección de distancia sin contacto.
- **Sensor de Temperatura y Humedad (DHT11):** Para el registro de las condiciones microclimáticas del vivero.
- **Sensor de Lluvia (MH-RD):** Dispositivo encargado de detectar la precipitación natural para inhibir el riego automático y evitar la saturación.

C. Actuadores y Potencia:

- **Módulo de Relé de 4 Canales (5V):** Interfaz de potencia optoacoplada que permite al Arduino conmutar dispositivos de mayor voltaje.
- **Bomba de Agua Sumergible (12V DC):** Actuador principal encargado de impulsar el agua desde el reservorio hacia el sistema de distribución.
- **Válvula Solenoide:** Dispositivo electromecánico controlado por el relé para habilitar o cortar el paso del flujo en sectores específicos del riego.

- **Fuente de Alimentación:** Adaptador conmutado AC/DC (12V/2A) para energizar tanto la etapa de control como la de potencia.

D. Materiales Hidráulicos y Biológicos

- **Infraestructura de Riego:** Tanque reservorio, mangueras de polietileno, microtubos, goteros estandarizados y balde de 20 L donde se almacenará el agua que llega del tanque de reservorio.
- **Unidades Experimentales:** Plantones de Algarrobo (*Prosopis pallida*), establecidos en bolsas con sustrato preparado.

3.4. Procedimiento a seguir en la investigación

Siguiendo el diseño experimental puro, se llevó a cabo un proceso controlado en el vivero con los siguientes pasos:

3.4.1. Selección de la muestra y asignación a grupos

Del lote de 100 plantones, se seleccionaron aquellos homogéneos y se dividieron aleatoriamente en dos grupos: Grupo Experimental (50 plantones, riego automatizado) y Grupo Control (50 plantones, riego manual). Ambos grupos se ubicaron bajo condiciones ambientales idénticas.

Figura 18

Preparación de los lotes de riego



Nota. División aleatoria de 100 plantones en dos grupos: experimental (riego automatizado) y control (riego manual), bajo condiciones ambientales idénticas.

3.4.2. Aplicación del tratamiento

Durante la fase de crecimiento, se aplicaron tratamientos diferenciados. En el grupo automatizado, el riego fue activado automáticamente por el sistema cuando el sensor de humedad detectaba que el sustrato descendía del umbral crítico preestablecido. Dicho sensor se insertó verticalmente para monitorear en tiempo real los niveles de humedad proporcionados por el sistema. Por otro lado, en el grupo manual, el riego se realizó siguiendo el criterio y cronograma habitual del personal encargado del vivero. Cabe señalar que no se aplicaron fertilizantes en ninguno de los grupos con el fin de aislar el efecto del método de riego sobre el desarrollo de las plántulas.

Figura 19

Instalación del sensor de humedad en bolsa



Nota. Ubicación e instalación del sensor de humedad en la bolsa para monitoreo del riego.

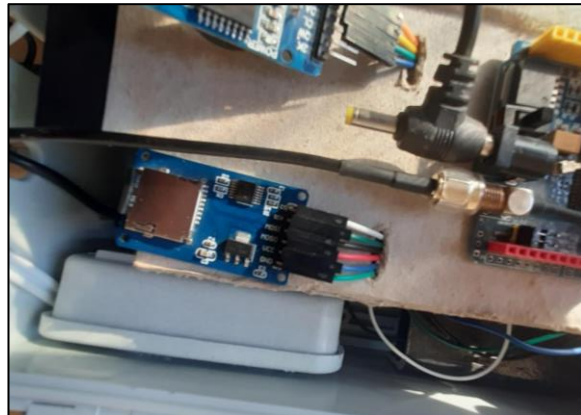
3.4.3. Recolección de datos

Se registraron los volúmenes de agua consumidos. En el grupo automatizado, la recolección fue digital mediante el sensor de flujo y el almacenamiento en MicroSD. En el grupo manual, la recolección se realizó mediante una bitácora de campo de registro físico gestionada por el personal encargado del vivero. El operario consignó la fecha de cada evento y el volumen suministrado, el

cual fue determinado por el método de conteo de recipientes (número de regaderas de capacidad estandarizada aplicadas por planta). Este método permitió documentar fielmente el manejo tradicional basado en el criterio subjetivo del personal.

Figura 20

Registro de datos a través del módulo MicroSD



Nota. Registro y almacenamiento de datos de consumo de agua mediante el módulo MicroSD.

3.4.4. Análisis de resultados

Se consolidaron los datos en una base de datos para la comparación estadística final.

Figura 21

Visualización de data histórica

```
30015908.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
N, Temperatura, HA, ELL, HT, C, FH
1, 28.2, 76, LLND, 20.7%, 1.2 L/min, 2025-01-01 06:08:04
2, 27.76, LLND, 19.1%, 1.2 L/min, 2025-01-01 06:20:35
3, 27.1, 80, LLND, 14%, 1.2 L/min, 2025-01-01 17:00:02
4, 29.3, 80, LLND, 18.8%, 1.2 L/min, 2025-01-02 06:05:26
5, 29.8, 82, LLND, 21.9%, 1.2 L/min, 2025-01-02 06:37:23
6, 26.3, 78, LLND, 17.6%, 1.2 L/min, 2025-01-02 17:46:22
7, 28.7, 78, LLND, 18.6%, 1.2 L/min, 2025-01-02 19:20:09
8, 26.70, LL, 14%, 1.2 L/min, 2025-01-03 06:00:15
9, 28.7, 81, LL, 22.1%, 1.2 L/min, 2025-01-03 06:18:06
10, 29.3, 79, LL, 18.9%, 1.2 L/min, 2025-01-03 06:46:32
11, 28.6, 78, LL, 20.5%, 1.2 L/min, 2025-01-03 08:12:50
12, 28.7, 77, LL, 14%, 1.2 L/min, 2025-01-03 17:04:42
13, 28.9, 76, LLND, 23.8%, 1.2 L/min, 2025-01-04 07:25:27
14, 26.2, 77, LLND, 21.2%, 1.2 L/min, 2025-01-04 16:12:11
15, 28.1, 82, LLND, 15.3%, 1.2 L/min, 2025-01-04 19:29:18
16, 27.3, 76, LLND, 18%, 1.2 L/min, 2025-01-05 07:31:59
17, 27.2, 69, LLND, 17.1%, 1.2 L/min, 2025-01-05 07:48:48
18, 28.3, 80, LLND, 19.7%, 1.2 L/min, 2025-01-05 07:52:13
19, 28.6, 75, LLND, 15.5%, 1.2 L/min, 2025-01-05 08:31:05
20, 27.7, 73, LLND, 19.3%, 1.2 L/min, 2025-01-05 08:53:29
21, 30, 80, LLND, 23%, 1.2 L/min, 2025-01-05 16:19:49
22, 27.8, 77, LLND, 14%, 1.2 L/min, 2025-01-05 18:22:02
23, 28.4, 74, LLND, 24%, 1.2 L/min, 2025-01-05 19:38:06
24, 29.5, 78, LLND, 17.8%, 1.2 L/min, 2025-01-05 19:50:25
```

Nota. Visualización de datos históricos almacenados en un archivo .txt para análisis posterior.

3.5. Diseño de contrastación de Hipótesis

Para la validación de la hipótesis general, la cual sostiene que el consumo de agua mejorará (se optimizará) mediante la implementación del sistema automatizado, se seguirá un procedimiento estadístico inferencial riguroso. El objetivo principal de esta investigación es determinar si el uso de un sistema de riego automatizado permite reducir significativamente el consumo de agua en comparación con el riego manual tradicional. Según Hernández Sampieri et al. (2014), la prueba de hipótesis es el proceso mediante el cual se determina si la evidencia muestral es suficiente para rechazar la hipótesis nula con un nivel de confianza determinado. En función de ello, se formularon las siguientes hipótesis estadísticas:

3.5.1. Planteamiento de las Hipótesis Estadísticas

Se traducen las hipótesis de investigación a términos estadísticos comparativos entre el Grupo Experimental (riego automatizado) y el Grupo de Control (riego manual):

- **Hipótesis Nula (H₀):** El consumo promedio de agua en el grupo con sistema de riego automatizado es igual o mayor al del grupo con riego manual. En términos poblacionales, $H_0: \mu_{automático} \geq \mu_{manual}$.
- **Hipótesis Alternativa (H₁):** El consumo promedio de agua en el grupo con sistema de riego automatizado es significativamente menor al del grupo con riego manual, es decir, el sistema automatizado sí optimiza el consumo $H_1: \mu_{automático} < \mu_{manual}$.

Estas hipótesis reflejan una predicción direccional: se espera que el sistema automatizado use menos agua que el método manual. El contraste unilateral se justifica porque la dirección del efecto está predefinida por la pregunta de investigación (reducción de consumo con automatización). En un contraste de una cola, el criterio de decisión ajusta el valor p de la prueba bilateral dividiéndolo entre dos, considerando además si la diferencia observada va en el sentido planteado por H₁ (menor consumo con riego automatizado). De este modo, solo se rechaza H₀ si el consumo promedio del grupo automatizado resulta estadísticamente más bajo que el del grupo manual.

3.5.2. Datos experimentales y muestra

Para contrastar la hipótesis se recopiló información de dos grupos experimentales de plantas bajo diferentes métodos de riego, durante un periodo de 8 meses (enero a

agosto de 2025). Un grupo empleó un sistema de riego automatizado controlado por sensores de humedad del suelo (que activaban los riegos únicamente cuando la humedad caía por debajo de cierto umbral), mientras que el segundo grupo se regó en forma manual tradicional (por un jardinero, con una frecuencia rutinaria diaria fija). Cada grupo constó de un conjunto equivalente de plantas (50 plántulas por grupo) ubicadas en parcelas similares, asegurando condiciones ambientales homogéneas.

Se registró el volumen de agua consumida en cada evento de riego de ambos grupos a lo largo del estudio, lo que proporcionó una base de datos sustancial. En total, el sistema automatizado realizó alrededor de $n \approx 1000$ eventos de riego en el periodo (eventos breves y frecuentes conforme a la demanda hídrica), mientras que el método manual realizó aproximadamente $n \approx 96$ riegos. Para hacer comparables ambos conjuntos, los datos se agregaron en intervalos de tiempo equivalentes. En particular, se consideró el consumo de agua diario en litros por grupo como la unidad de análisis: cada día se sumó la cantidad total de agua utilizada por el riego automatizado en ese día y se comparó contra la cantidad utilizada por el riego manual en el mismo día.

Cabe señalar que, adicionalmente, se monitorearon otras variables secundarias durante el experimento (por ejemplo, la humedad del suelo, la temperatura y humedad ambiental, así como la frecuencia de activación del riego) con el fin de contextualizar el desempeño de ambos métodos. Sin embargo, dichas mediciones auxiliares se analizan de forma complementaria y no forman parte del contraste principal enfocado en el consumo de agua, por lo que sus detalles se omiten en este apartado para mantener el énfasis en la hipótesis central.

3.5.3. Método de análisis estadístico

Dado que se pretende comparar los promedios de consumo de dos grupos independientes, se seleccionó una prueba t de Student para muestras independientes como metodología principal de contrastación. Esta prueba estadística evalúa si la diferencia observada entre las medias muestrales de dos grupos es lo suficientemente grande en relación con la dispersión de los datos como para concluir que existe una diferencia real en la población. En otras palabras, la prueba t independiente determinará si el consumo medio de agua difiere significativamente entre el riego

automatizado y el manual. Antes de aplicar dicha prueba, se verificó el cumplimiento de sus supuestos fundamentales, para asegurar la validez del contraste:

- **Independencia de las observaciones:** Las mediciones diarias de consumo en cada grupo pueden considerarse independientes entre sí, ya que corresponden a días distintos, y los dos grupos de plantas son distintos (no hay los mismos individuos en ambos tratamientos). Además, las parcelas se manejaron por separado, garantizando que el consumo de agua de un grupo no influye directamente en el del otro.
- **Distribución aproximadamente normal:** Se evaluó la normalidad de la variable consumo de agua diario en cada grupo mediante pruebas de bondad de ajuste (Shapiro-Wilk) y análisis gráfico (histogramas y Q-Q plots). No se evidenciaron desviaciones severas de la normalidad; en caso de existir alguna asimetría leve, el gran tamaño muestral ($n > 200$ por grupo) asegura, por el Teorema Central del Límite, que la distribución de la media muestral sea aproximadamente normal. Por tanto, es válido aplicar una prueba paramétrica sobre las medias.
- **Homogeneidad de varianzas:** Se comprobó si la variabilidad del consumo diario era similar en ambos grupos usando la prueba de Levene. Esta prueba contrasta la hipótesis nula de igualdad de varianzas poblacionales. En nuestro análisis, la prueba de Levene indicó que las varianzas entre los dos grupos no diferían de forma significativa (valor $p > 0.05$), por lo cual se puede asumir homocedasticidad (varianzas homogéneas). Esto permite emplear la versión estándar de la t de Student asumiendo varianza común.

Una vez verificados los supuestos, se procedió a configurar el contraste estadístico. Se fijó un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (95% de confianza). Dado que la hipótesis alternativa es direccional (unilateral a favor de menor consumo con riego automatizado), el contraste se planteó como una cola hacia la izquierda, tal como se mencionó. Esto implica que toda la región crítica (5% de probabilidad de error tipo I) se sitúa en la cola izquierda de la distribución de la diferencia de medias. En términos operativos, la prueba t calculada será evaluada contra el valor crítico correspondiente a $t_{\alpha; gl}$ en una cola (equivalente a $t_{(0.05; gl)}$), o alternativamente se comparará el valor p obtenido (por defecto bilateral) y se dividirá entre 2 para la decisión unilateral.

3.5.4. Procedimiento de contrastación estadística

El proceso de contraste de hipótesis se desarrolló conforme al diseño de una prueba *t* de Student para muestras pareadas, alineado con el diseño de investigación en el que se compararon mediciones semanales repetidas del consumo de agua bajo dos sistemas de riego en las mismas unidades experimentales:

1. Cálculo de estadísticos descriptivos: Para cada una de las 34 semanas con datos completos en ambos sistemas, se calculó la diferencia semanal $D_i = X_{manual,i} - X_{automatizado,i}$, donde $X_{manual,i}$ y $X_{automatizado,i}$ representan el consumo de agua en litros para la semana i bajo riego manual y automatizado, respectivamente. A partir de estas diferencias, se obtuvieron los siguientes estadísticos muestrales:

- La media muestral de las diferencias (\bar{D}), que estima el ahorro promedio semanal del sistema automatizado.
- La varianza muestral de las diferencias s_D^2 , que cuantifica la dispersión de las diferencias individuales alrededor de su media.
- La desviación estándar de las diferencias s_D , expresada en las mismas unidades que los datos originales.
- El error estándar de la media de las diferencias ($SE_{\bar{D}} = \frac{s_D}{\sqrt{n}}$), que mide la precisión de la estimación del ahorro promedio

Estos estadísticos describen la tendencia central y la variabilidad de la muestra de diferencias, proporcionando una base cuantitativa para la inferencia.

2. Cómputo del estadístico de prueba (*t*): Para evaluar si el ahorro promedio observado era estadísticamente significativo, se aplicó la fórmula de la prueba *t* para muestras pareadas:

$$t = \frac{\bar{D}}{SE_{\bar{D}}}$$

Este estadístico compara la magnitud de la media de las diferencias (\bar{D}) con su error estándar ($SE_{\bar{D}}$). Bajo la hipótesis nula, se espera que el valor de t se distribuya según una distribución *t* de Student con $n-1$ grados de libertad.

3. **Determinación del valor p:** Considerando que la hipótesis alternativa es unilateral superior ($H_1: \mu_D > 0$), el valor p se obtuvo a partir de la distribución t de Student con grados de libertad $gl=n-1$. El valor p representa la probabilidad de obtener una diferencia media tan extrema como la observada (o más) si la hipótesis nula fuera cierta. Un valor p pequeño indica que el resultado muestral es poco plausible bajo H_0 , proporcionando evidencia en contra de esta.
4. **Decisión estadística:** Se adoptó un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ como umbral máximo para la probabilidad de cometer un error tipo I. La regla de decisión estableció que:
 - Si el valor p era menor o igual que α , se rechaza H_0 .
 - Si el valor p era mayor que α , no se rechaza H_0 .Equivalentemente, la decisión puede basarse en la comparación directa entre el estadístico t calculado y el valor crítico $t_{\alpha, n-1}$ obtenido de la distribución t : si $t > t_{\alpha, n-1}$, se rechaza H_0 .
5. **Conclusiones de la prueba:** Con base en el resultado de la prueba, se extrae una conclusión inferencial acerca del parámetro poblacional μ_D . Si se rechaza H_0 , se acepta H_1 , concluyendo que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el sistema automatizado reduce significativamente el consumo de agua respecto al método manual. Esta conclusión se enmarca en un nivel de confianza del $(1 - \alpha) \times 100\%$ (95%) y debe acompañarse de una interpretación contextualizada de la magnitud y relevancia práctica del efecto observado.

En síntesis, el procedimiento de contrastación mediante prueba t pareada constituye un método riguroso para comparar dos mediciones relacionadas. Su aplicación sistemática, que incluye la descripción de las diferencias, el cálculo de un estadístico estandarizado, la determinación de la probabilidad asociada bajo H_0 , y la aplicación de una regla de decisión predefinida, permite obtener conclusiones inferenciales válidas y controladas. Este marco metodológico garantiza que la decisión sobre la diferencia entre condiciones no dependa únicamente de observaciones descriptivas, sino de un proceso estadístico objetivable y replicable, fundamentando así las afirmaciones derivadas de la investigación.

CAPITULO IV: RESULTADOS

Los resultados se presentan organizados en función de los objetivos específicos de la investigación.

4.1. Resultados sobre el diseño del sistema de riego automatizado

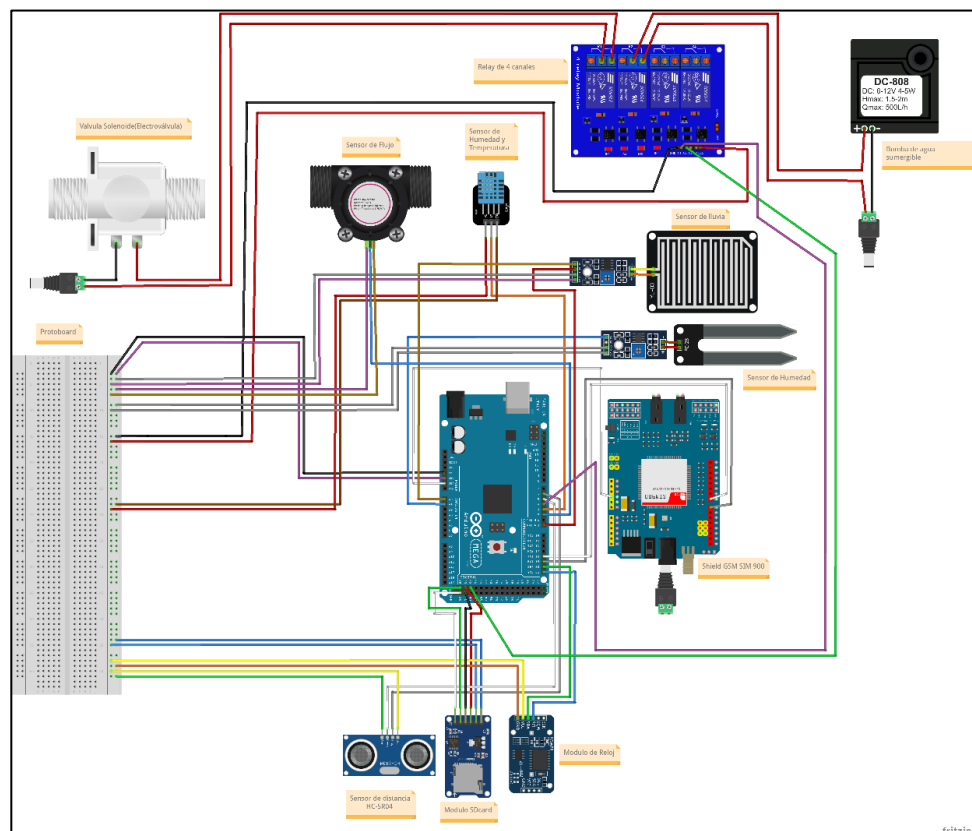
Como resultado del proceso de ingeniería, se obtuvo un prototipo funcional desarrollado a través de una metodología iterativa que integro hardware y software: con las siguientes fases:

4.1.1. Fase de Análisis y Diseño

Se definieron los requerimientos técnicos y se elaboró el esquema de conexiones entre el Arduino Mega 2560, el módulo GSM SIM900 y los sensores de campo. Se verificó la viabilidad teórica y el consumo energético para dimensionar la fuente de alimentación.

Figura 22

Diagrama esquemático de conexiones del sistema de riego automático



Nota. Esquema de conexiones entre el Arduino Mega 2560, módulo GSM SIM900 y sensores de campo.

4.1.2. Fase de Desarrollo del Software

Se programó el algoritmo de control en lenguaje C++ (Arduino IDE). Se implementaron los módulos de lectura de sensores, la lógica de decisión basada en el umbral crítico de humedad y la comunicación remota mediante comandos AT.

Figura 23

Diagrama de flujo del algoritmo de control



Nota. Diagrama de flujo que describe el algoritmo de control utilizado para gestionar el sistema de riego automatizado

Asimismo, se validó la conectividad del sistema mediante pruebas de envío y recepción de datos.

Figura 24

Comunicación GSM mediante comandos AT y mensajes SMS.

```
V_3_2_Mega Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

V_3_2_Mega
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include <RTClib.h>
#include <SPI.h> // incluye libreria
#include <SD.h> // incluye libreria
#define Pecho 5
#define Pstrig 6
String mensaje;
int SensorPin = A1; // pin analogo
int TempyHum = 3;
int relay = 4; //antes 4
int relaybomba = 48; //aqui es el nu
int relayvent = 47; //relay del ven
int temp, humedad;
int lluviaA;
int lecturaForc; //variable de lecto
String lluvia;
int cont = 0;

DHT dht(TempyHum, DHT11);
long duracion, distancia;
float pi = 22 / 7;
int radio = 5;

MENSAJE ENVIADO
AT+CMGS="932714056"
SMS: SELECCIONE MODO DE RIEGO M(Manual)//A(Automatico)//C(cambiar #celular)
Enviando
Enviando
Enviando
Enviando
Enviando, limpiando serial
MENSAJE ENVIADO
AT+CMGS="932714056"
SMS: HLS(Configuracion de valores de Humedad)
Enviando
Enviando
Enviando, limpiando serial
53
M
M
MENSTRANDO AL MODO MANUAL
MENSAJE ENVIADO
AT+CMGS="932714056"
SMS: ENTRANDO AL MODO MANUAL
```

Nota. Verificación de la comunicación GSM mediante comandos AT y SMS.

4.1.3. Implementación del Hardware y Prototipo Final

Se realizó el montaje físico y encapsulado del sistema. Las pruebas integrales validaron que el sistema activa la bomba autónomamente ante suelo seco y envía las alertas SMS correspondientes.

Figura 25

Prototipo del sistema con Arduino y GSM implementado



Nota. Prototipo del sistema de riego automatizado implementado con Arduino Mega y módulo GSM SIM 900.

Se realizaron pruebas de succión y descarga. Tal como se aprecia en la evidencia física, la bomba se posiciona en el reservorio (pozo) para la succión

de agua, la cual es transportada posteriormente a través de la manguera flexible hacia el recipiente de medición (balde) para verificar el caudal suministrado. Se aprecian también las conexiones de alimentación eléctrica de la bomba, las cuales fueron debidamente aisladas para evitar fallos por humedad.

Figura 26

Prueba de funcionamiento del sistema de bombeo automatizado

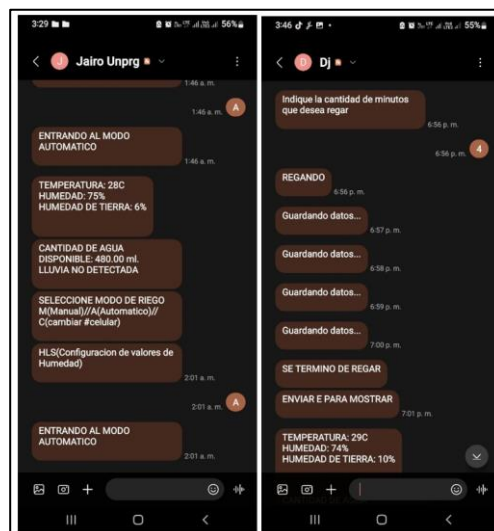


Nota. Verificación del funcionamiento del sistema de bombeo automatizado en el contexto del riego.

Finalmente, las pruebas integrales validaron que el sistema activa este mecanismo autónomamente ante la detección de suelo seco y envía las alertas SMS correspondientes.

Figura 27

Pruebas de envío y recepción de SMS



Nota. Pruebas de envío y recepción de mensajes SMS realizadas entre el usuario y el sistema de riego automatizado mediante el módulo GSM.

4.2. Resultados sobre la evaluación del consumo de agua

Se procedió a evaluar el desempeño hídrico comparando los dos grupos de estudio tras el periodo experimental. A continuación, se presenta el análisis estadístico de los datos recolectados.

4.2.1. Análisis Descriptivo del consumo

A continuación, se presenta el consumo mensual acumulado y los estadísticos descriptivos del volumen de agua por planta.

Tabla 2

Consumo de agua mensual por planta: riego manual vs. Automatizado

Mes	Riego tradicional(L)	Riego automatizado (L)	Ahorro de agua (L)	Ahorro (%)
Enero	32.5	33.1	-0.6	-1.9
Febrero	47.5	30.9	16.6	34.9
Marzo	70.5	31.2	39.3	55.8
Abril	98	28.7	69.3	70.7
Mayo	103.5	30.9	72.6	70.1
Junio	111.5	29	82.5	74.0
Julio	91	34.1	56.9	62.5
Agosto	55.5	27	28.5	51.4
Total	610.0	244.9	365.1	

Nota. Comparación del consumo mensual de agua por planta entre riego manual y automatizado durante el período enero-agosto 2025.

Interpretación: Como se observa en la Tabla 1, el Grupo Experimental (Riego Automatizado) registró un consumo total acumulado de 244.9 litros al final del periodo. En contraste, el Grupo de Control (Riego Tradicional) reportó un consumo estimado de 610.0 litros. Esto evidencia una reducción aritmética de 365.1 litros a favor de la tecnología propuesta.

4.2.2. Contrastación de Hipótesis

Para determinar si esta diferencia es estadísticamente significativa se aplicó la prueba T de Student para muestras independientes, habiéndose verificado previamente la normalidad de los datos (Kolmogorov-Smirnov $p > 0.05$).

Primero se desea contrastar si el consumo promedio de agua del sistema de riego automatizado es menor que el del riego manual, durante el mismo periodo temporal, para el cual se presentan las hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_D \leq 0$$

$$H_1: u_D > 0$$

Donde:

$$D_i = X_{\{manual,i\}} - X_{\{automatizado,i\}}$$

representa la diferencia semanal entre el consumo manual y automatizado.

Se analizaron 32 semanas con datos completos de ambos sistemas de riego, se utilizó la prueba de t de Student muestras pareadas con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. La tabla 03 presenta un extracto de los datos semanales recolectados

Tabla 3

Datos semanales de consumo de agua (en litros)

Semana	Riego tradicional	Riego automatizado	D_i
1	5.0	5.9	-0.9
2	11	9.8	1.2
3	5.0	5.6	-0.6
4	4.5	8.6	-4.1
5	10.0	5.6	4.4
6	5.5	8.8	-3.3
7	18.5	6.4	12.1
8	17.0	7.9	9.1
⋮	⋮	⋮	⋮
35	13.5	6.4	7.1

Nota. Las semanas con datos incompletos fueron excluidas del análisis pareado. Los valores presentados corresponden a consumo semanal por planta.

4.2.2.1. Cálculos estadísticos

4.2.2.1.1. Media de las diferencias

$$\sum_{i=1}^{34} D_i = 373.96 L$$

$$\bar{D} = \frac{373.96}{34} = 11,00 L$$

4.2.2.1.2. Desviación estándar

$$s_D^2 = \frac{\sum(D_i - \bar{D})^2}{n - 1} = \frac{2776,78}{33} = 84,145$$

$$s_D = \sqrt{84,145} = 9,173 L$$

4.2.2.1.3. Error estándar

$$SE_D = \frac{s_D}{\sqrt{n}} = \frac{9,173}{\sqrt{34}} = 1,573 L$$

4.2.2.2. Prueba de hipótesis

4.2.2.2.1. Estadístico t calculado

$$t = \frac{\bar{D}}{SE_D} = \frac{11,00}{1,573} = 6,99$$

4.2.2.2.2. Parámetros de la prueba

- Grados de libertad: $gl = n - 1 = 33$
- Valor crítico $t_{0,05,33} = 1,697$
- Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

La regla de decisión menciona que, si $t > t_{\alpha,gl}$, entonces se rechaza H_0 . Por tanto, el sistema automatizado ahorra agua significativamente ($p < 0,05$), con un ahorro semanal promedio de 11 litros y una reducción porcentual estimada de 61.1%.

4.3. Evaluación del desempeño agronómico

Adicionalmente, se comparó el crecimiento de las plántulas para verificar que el ahorro de agua no afectara su desarrollo, validando así la eficiencia integral del sistema.

Tabla 4*Crecimiento de plántulas de Prosopis pallida*

Indicador	Riego tradicional	Riego automatizado
Altura final (cm)	27.0 ± 2.5	30.0 ± 2.8
Supervivencia de plántulas	92%	100%

Nota. Evaluación del crecimiento y supervivencia de plántulas de *Prosopis pallida*, considerando la altura final y tasa de supervivencia.

Interpretación: Las plántulas del grupo automatizado alcanzaron una altura promedio superior (30.0 cm) frente al grupo control (27.0 cm) y una tasa de supervivencia del 100%, frente al 92% del método tradicional. Estos resultados descartan cualquier efecto negativo por estrés hídrico y sugieren que la dosificación precisa del agua favoreció el vigor de la especie *Prosopis pallida*.

4.4. Resumen estadístico

Tabla 5 *Resultados del análisis de comparación mediante prueba t pareada*

Parámetro	Valor
Semanas totales recolectadas	35
Semanas con datos completos	34
Rango de semanas analizadas	1-35
Media de diferencias (\bar{D})	11.00 L
Desviación estándar (s_D)	9,173 L
Error estándar (SE_D)	1,573 L
Estadístico t	6,99
Grados de libertad (gl)	33
Valor crítico $t_{0,05,gl}$	1.697
Volumen manual total	612.0 L
Volumen automático total	238.0 L
Ahorro total	374.0 L

Nota. Los valores presentados corresponden al análisis de las 34 semanas con datos completos en ambos sistemas de riego. El ahorro total (374.0 L) se calculó como la

diferencia acumulada entre el consumo manual y automatizado durante el período evaluado.

CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los hallazgos obtenidos en la presente investigación confirman que la automatización del riego mediante sensores de humedad permite optimizar significativamente el recurso hídrico en la producción de *Prosopis pallida*.

El resultado principal evidenció un ahorro del 61.1% en el volumen total de agua utilizada por el sistema automatizado en comparación con el método manual, lo que representa un ahorro total de 374 litros durante las 34 semanas analizadas. Este hallazgo valida la hipótesis planteada, respaldado por una prueba t pareada altamente significativa $t = 6.99, p < 0.05$. La eficiencia del sistema se explica por su capacidad para interrumpir el riego en días de baja demanda hídrica o precipitación, una funcionalidad ausente en el método de riego manual. Esta cifra es consistente con lo reportado por Avilés (2025), quien obtuvo un ahorro del 38% en viveros de cacao con tecnología similar, y se sitúa dentro del rango del 20-40% estimado por Lenín (2023) para sistemas IoT en agricultura. La automatización evitó la percolación profunda y el desperdicio habitual del riego "a ojo", ajustando el suministro a la demanda real del sustrato.

Contrario a la preocupación de que un menor riego pudiera afectar el desarrollo, las plántulas del grupo automatizado presentaron una altura promedio superior en un 11% y una tasa de supervivencia del 100%. Esto sugiere que el sistema no solo ahorra agua, sino que proporciona condiciones edáficas más estables, evitando el estrés por saturación o déficit. Estos resultados concuerdan con Fernandez (2020), quien sostiene que mantener la humedad cercana a capacidad de campo sin anegamiento favorece el crecimiento radicular y aéreo en especies forestales de zonas áridas. La automatización logró precisamente esa estabilidad, eliminando las fluctuaciones drásticas de humedad que ocurren entre riegos manuales espaciados.

Adicionalmente a los beneficios biológicos y hídricos, la implementación demostró ventajas operativas tangibles. La reducción de la intervención humana directa liberó tiempo del personal para otras labores de vivero, coincidiendo con lo observado por Suaquita y Mamani (2025) sobre la mejora en la gestión de recursos humanos. Además, la capacidad de monitoreo remoto vía GSM aportó un valor de gestión que el método tradicional no posee, permitiendo la toma de decisiones basada en datos reales y alertas inmediatas frente a fallos.

Tabla 6. *Comparativa de ahorro de agua: riego automatizado vs. Tradicional*

Estudio (año)	Contexto del cultivo	Ahorro de agua logrado
Este estudio (2025)	Algarrobo en vivero (Lambayeque, Perú)	61.1%
Avilés (2025)	Cacao en vivero (Ecuador)	38%
Lenín (2023)	Sistemas IoT en agricultura (Global)	20–40%
Morales et al. (2020)	Tecnificación a gran escala (México)	Hasta 70%

Nota. Análisis comparativo del ahorro de agua entre riego automatizado y tradicional según diversos estudios.

En síntesis, la investigación demuestra que la tecnología propuesta es una alternativa viable y superior al manejo tradicional, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y modernización agrícola en la región.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- Se logró optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de *Prosopis pallida* en el vivero de Agronomía mediante la implementación del sistema de riego automatizado. Los resultados demuestran una reducción del 61.1% en el volumen hídrico utilizado en comparación con el método tradicional, sin comprometer el desarrollo biológico de las plántulas, las cuales mostraron una tasa de supervivencia del 100% y una altura promedio superior. Esto valida la hipótesis de investigación, confirmando que la tecnificación del riego es una estrategia eficaz para la sostenibilidad hídrica en zonas áridas.
- Se diseñó e implementó exitosamente un prototipo funcional basado en el microcontrolador Arduino Mega 2560 y comunicación GSM, capaz de operar de manera autónoma. La validación técnica confirmó la fiabilidad del algoritmo de control por umbrales de humedad y la precisión de los sensores para activar el riego bajo demanda, cumpliendo con el objetivo específico de establecer una solución tecnológica adaptada a las necesidades del vivero.
- La evaluación comparativa evidenció que el sistema automatizado es significativamente más eficiente que el riego manual. El análisis estadístico (prueba T de Student, $p < 0.05$) demostró que la diferencia en el consumo de se atribuye al control preciso de la dosificación y la eliminación de riegos innecesarios en días de baja demanda evaporativa o lluvia, logrando un aprovechamiento óptimo del recurso.
- El sistema desarrollado ofrece una solución viable para optimizar el riego en viveros de zonas áridas, donde el agua es un recurso crítico. Los hallazgos refuerzan la noción de que la tecnificación del riego (apoyada en sensores y control automatizado) es una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia hídrica en la agricultura, tal como lo plantean diversos autores.

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

A partir de los resultados y conclusiones obtenidas, se proponen las siguientes recomendaciones, orientadas tanto a mejorar la aplicación práctica del sistema como a guiar trabajos futuros relacionados:

- Se recomienda la adopción permanente del sistema automatizado en el vivero de la Facultad de Agronomía para la producción de especies forestales. Asimismo, se sugiere evaluar su escalabilidad a parcelas de mayor extensión, integrando válvulas solenoides adicionales y sensores distribuidos para gestionar múltiples zonas de cultivo simultáneamente.
- Para garantizar la confiabilidad a largo plazo, es indispensable establecer un protocolo de mantenimiento que incluya la limpieza periódica de los sensores de lluvia y la recalibración de los sensores de humedad del suelo antes de cada campaña, asegurando así la precisión de las lecturas y evitando desviaciones en el punto de activación del riego.
- Se recomienda explorar posibles ajustes finos en los umbrales de control para optimizar aún más el consumo de agua. Por ejemplo, podría evaluarse si un umbral de humedad de suelo ligeramente más bajo (permitiendo que se use un poco más la reserva de agua del sustrato antes de regar) produce un ahorro adicional de agua sin afectar el crecimiento. También se sugiere incorporar pronósticos meteorológicos: integrar datos de previsión de lluvia podría evitar riegos si se espera precipitación inminente, aumentando el ahorro hídrico. En definitiva, una gestión hídrica aún más inteligente, incorporando algoritmos de control predictivo basados en clima, podría mejorar el desempeño del sistema.
- Promover la difusión de los resultados mediante talleres de capacitación dirigidos a productores locales y estudiantes. La transferencia de este conocimiento técnico es fundamental para fomentar la modernización de la agricultura en la región Lambayeque y contribuir a la mitigación de la escasez hídrica.

CAPITULO: VIII: REFERENCIAS

- 1NCE. (2025). *¿Qué es el GSM en telecomunicaciones? | 1NCE*. <https://www.1nce.com/es-es/recursos/iot-knowledge-base/que-es-el-gsm-en-telecomunicaciones>
- Aakunuri, M. (2024). Smart Irrigation System using IOT. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 10. <https://doi.org/10.4108/eetiot.7037>
- Abraham, G. (2023). *Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11 con Arduino*. <https://www.automatizacionparatodos.com/sensor-dht11-arduino/>
- Adi Kuncara, I., Endro Suseno, J., Agus, S., y Gunadi, I. (2020). Development of Ultrasonic Anemometer Using HC-SR04 with Kalman Filter Based on Microcontroller Integrated IoT. *E3S Web of Conferences*, 202, 15011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020215011>
- Altamirano, S. (2019). *SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO Y CERRADO – Suiler Altamirano*. <https://blog.escuelacontrolmas.com/contenido06-sistemas-de-control-en-lazo-abierto-y-cerrado/>
- Álvarez, B. (2014). *Capítulo 2. Sistemas de control*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Episteme. https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION
- Awati R., Ndungu S., y Mixon E. (2025). *¿Qué es GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)? | Definición de TechTarget*. <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/GSM>
- AWERS. (2025). *Sensor de Humedad de Suelo HL-69 (Resistivo)*. <https://sawers.com.pe/hl-69-modulo-sensor-humedad-suelo>
- Babaa, S. E., Muneer Ahmed, Babatunde Samuel Ogunleye, Shahid Ali Khan, Salim Ahmed Al-Jahdhami, John Regan Pillai, y Military Technological College. (2020). Smart Irrigation

- System using Arduino with Solar Power. *International Journal of Engineering Research And*, V9(05), IJERTV9IS050088. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS050088>
- Barkunan, S. R., Bhanumathi, V., y Balakrishnan, V. (2020). Automatic irrigation system with rain fall detection in agricultural field. *Measurement*, 156, 107552. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107552>
- Bazaluk, O., Havrysh, V., Nitsenko, V., Mazur, Y., y Lavrenko, S. (2022). Low-Cost Smart Farm Irrigation Systems in Kherson Province: Feasibility Study. *Agronomy*, 12(5), 1013. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051013>
- BCC Plant the planet. (2025). *La importancia de un riego adecuado para las plántulas forestales*. <https://www.bccab.com/es/art%C3%ADculo/m%C3%A9todos-de-riego-para-pl%C3%A1ntulas-forestales/>
- Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., y Heibloem, M. (1985). *Irrigation Water Management: Training Manual No. 5: Irrigation methods*. <http://hdl.handle.net/10919/66730>
- Calapaqui, I., y Chiguano, A. (2022). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Desarrollo de un sistema inteligente para el cultivo de claveles*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22941>
- Carrillo, F., García, J., Cabrera, R. M., Vásquez, J., Tuisima, Lady, Escobar, H., Aguirre, O., Quintana, C., y Amasifuen, C. (2020). *Manual técnico para la conservación y propagación de especies de algarrobo (Prosopis spp.)* (Instituto Nacional de Innovación Agraria(INIA)). <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1197>
- Castaño, S. A. (2019). *Lazo Abierto y Lazo Cerrado - [Sistemas de Control]*. <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/>
- C&D Tecnologia. (2025). *Modulo sensor de humedad del suelo HL-69*. <https://cdtecnologia.net/sensores/129-modulo-sensor-de-humedad-del-suelo-hl-69.html>

CDTECNOLOGIA. (2025). *Modulo shield GSM / GPRS para arduino SIM900L*.

<https://cdtecnologia.net/placas-electronicas/666-modulo-shield-gsm-gprs-para-arduino-sim900l-000666.html>

CECSO. (2022). *Optimización del Uso del Agua en la Agricultura: Un Camino hacia la Sostenibilidad Alimentaria*. <https://www.cecsos.mx/index.php/blog/89-optimizacion-del-uso-del-agua-en-la-agricultura-un-camino-hacia-la-sostenibilidad-alimentaria>

Chan, C. K., Malwe, P. D., Mandlik, V. T., Jaiswal, N., Jadhav, S. B., Sapkal, N., Bhopale, N.,

Sonawane, C. R., Singh, S., Varshaney, D., y Kumar, S. (2025). A Solar-Powered Automated Irrigation System Using Arduino and Moisture Sensors for Efficient Water Management in Agriculture. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(4), 24891-24896.

<https://doi.org/10.48084/etasr.11206>

CIMMYT. (2019). *Tres poderosas razones para apostar por un riego más eficiente*.

<https://idp.cimmyt.org/tres-poderosas-razones-para-apostar-por-un-riego-mas-eficiente/>

Cortes, V., y Vargas, M. F. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IoT en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Maria Poussepin*.

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/bb8b9843-c256-43d7-bacf-3dda6b5ebc59>

Dorf, R. C., y Bishop, R. H. (2005). *Sistemas de control moderno*. Pearson Educación.

Dumroese, Landis T., y Wilkinson K. (2012). *Riego y fertirriego | US Forest Service Research and Development*. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/45738>

Edubotics. (2025). *Módulo Relé 5V de 4 canales*. <https://eduboticsperu.com/tienda/modulo-rele-5v-de-4-canales/>

Escobar Manzaba, C. D., Farfán Orellana, K. J., y Escobar Manzaba, César Dario. (2018). *Diseño de un sistema de riego para la implementación de cultivos automatizados en el recinto playa*

- seca del cantón el triunfo*. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Administrativas.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36909>
- Fabian, R. P., Joaquin, J. E., Santiago, N., Verdadero, E. A., y Vergel, S. K. J. (2025). *When Crops Meet Code: A Meta-Review of Arduino-Driven Irrigation Systems*. Environmental and Earth Sciences. <https://doi.org/10.20944/preprints202505.1942.v1>
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*.
<https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
- FAO. (2021). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report 2021*. Rome.
<https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- FAO/UNSD. (2024). *SDG Indicator 6.4.1 metadata: Change in water-use efficiency over time*.
<https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/metadata-06-04-01.pdf>
- Fernandez, D. (2020). *Inoculantes micorrícicos, sustratos y contenedores en la producción de plantones de algarrobo (Prosopis sp.) en Vivero de Alta Tecnología de Canaán 2750 msnm, Ayacucho*. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/fc2066cc-eede-47b5-bcd7-6da0c162d8d4>
- Fernández, Y. (2025). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*.
<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Fuentes, J. L. (1990). *Características agronómicas del riego por goteo*.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1990_17.pdf
- GENERACALOR. (2024). *VALVULA SOLENOIDE PARA VAPOR SERIE EV225B, (032U3692+018F4520), 1/2" N/C, 220V – Genera Calor*. <https://generacalor.com.pe/product/valvula-solenoide-para-vapor-serie-ev225b-032u3692018f4520-1-2%E2%80%B3-n-c-220v/>
- Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., y Porta-Gandara, M. A. (2014). Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module. *IEEE Transactions*

- on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166-176.
<https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Haritha, J., Navina, B., y Prakash, K. (2020). Water flow controller for precision agriculture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 764(1), 012014.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/764/1/012014>
- Hernández, L. (2017). *Cómo utilizar el DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino*.
<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. F., y Baptista Lucio, M. del pilar. (2014).
Metodología de la investigación (Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Huamán Gutiérrez, L. M. (2023). *Diseño de un prototipo de riego automatizado para pequeños huertos agroecológicos utilizando arduino en zonas desérticas urbanas de Lima*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/5971>
- Intagri. (2016). *El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>
- JABOTS. (2025). *Módulo Sensor de Lluvia MH-RD | Detección de agua en proyectos Arduino*.
<https://ja-bots.com/producto/modulo-sensor-de-lluvia-mh-rd-con-comparador-lm393-para-proyectos-electronicos/>
- Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P. H., y Son, L. H. (2020). Fuzzy Logic based Smart Irrigation System using Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119902>
- Kulmány, I. M., Bede-Fazekas, Á., Beslin, A., Giczi, Z., Milics, G., Kovács, B., Kovács, M., Ambrus, B., Bede, L., y Vona, V. (2022). Calibration of an Arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 70(3), 330-340. <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0014>

- Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., y Rathnayake, U. (2024). A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487>
- Lalnunthari, J., y Thanga, H. H. (2017). Dependence of hall effect flow sensor frequency on the attached inlet and outlet pipe size. *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia)*, 56-60. <https://doi.org/10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307842>
- Lefkowitz M. (2019). *Modelo de riego inteligente predice las precipitaciones para ahorrar agua | Cornell Chronicle*. <https://news.cornell.edu/stories/2019/07/smart-irrigation-model-predicts-rainfall- conserve-water>
- Liu, X., Zhao, Z., y Rezaeipanah, A. (2025). Intelligent and automatic irrigation system based on internet of things using fuzzy control technology. *Scientific Reports*, 15(1), 14577. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98137-2>
- Llamas, L. (2022a). *Encender una bomba de agua con Arduino*. Luis Llamas. <https://www.luisllamas.es/bomba-de-agua-con-arduino/>
- Llamas, L. (2022b). *Leer y escribir en una tarjeta SD o micro SD con Arduino*. Luis Llamas. <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>
- Lopez, D., y Vega, C. (2024). *El cultivo del algarrobo en Argentina*. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/19260>
- MTC. (2024). *425 localidades rurales accederán por primera vez a Internet este año*. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/948863-mtc-425-localidades-rurales-accederan-por-primera-vez-a-internet-este-ano>
- MTLAB. (2025). *Sensor Ultrasonido HC-SR04, medición de distancia*. <https://mtlab.pe/producto/sensor-ultrasonido-hc-sr04-medicion-de-distancia/>
- Munir, M. S., Bajwa, I. S., Ashraf, A., Anwar, W., y Rashid, R. (2021). Intelligent and Smart Irrigation System Using Edge Computing and IoT. *Complexity*, 2021(1), 6691571. <https://doi.org/10.1155/2021/6691571>

- Nandi, R., y Shrestha, D. (2024). Assessment of Low-Cost and Higher-End Soil Moisture Sensors across Various Moisture Ranges and Soil Textures. *Sensors*, 24(18), 5886.
<https://doi.org/10.3390/s24185886>
- Nawandar, N. K., y Satpute, V. R. (2019). IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 979-990.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.027>
- Naylamp Mechatronics. (2018). *Tutorial sensor de flujo de agua*.
https://naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html
- Naylamp Mechatronics. (2023). *Sensor Ultrasonido HC-SR04*. Naylamp Mechatronics - Perú.
<https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>
- NIUBOL. (2024). *¿Qué sensor IoT se utiliza en el sistema de riego inteligente?*
<https://www.niuboltech.com/Product-knowledge/IoT-sensor-is-used-in-smart-irrigation-system.html>
- Oblitas Cabrera, G. J., y Pérez Hernández, L. E. (2022). *Prototipo de sistema de riego automatizado para mejora la irrigación en áreas de sembrío de paltas - Olmos*.
<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11187>
- OSIPTEL. (2025). *Indicadores de calidad de internet móvil en julio de 2025*.
<https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/osiptel-estos-fueron-los-indicadores-de-calidad-de-internet-movil-en-julio-de-2025>
- Pavithra, D., y Srinath, M. (2014). GSM based Automatic Irrigation Control System for Efficient Use of Resources and Crop Planning by Using an Android Mobile. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(4), 49-55. <https://doi.org/10.9790/1684-11414955>
- Peña, C. (2017). *Arduino. De cero a experto*.
- Perú Ecológico. (2009). *ALGARROBO (Prosopis pallida)*.
https://www.peruecologico.com.pe/flo_algarrobo_1.htm

PM Group. (2024). *Beneficios del riego por goteo para la naturaleza y el ahorro.*

<https://pmgrup.com.tr/es/2024/09/26/beneficios-del-riego-por-goteo-para-la-naturaleza-y-el-ahorro/>

Pornillos, C. J. H., Billones, M. S. O., Leonidas, J. Dlc., Reyes, E. M. A., Esguerra, B. J. J., Bolima, D. P., y Concepcion, R. (2020). Smart Irrigation Control System Using Wireless Sensor Network Via Internet-of-Things. *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/HNICEM51456.2020.9399995>

Quispe Tapara, H. (2018). Diseño de un sistema de riego automatizado por aspersión para viveros de café utilizando la tecnología arduino en la empresa Viveros Ortíz – Pasco; 2018. *Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote.*

<https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/3029>

Reviriego, J. F. (2025, enero 24). *Elementos de un sistema automatizado.*

<https://www.seas.es/blog/automatizacion/elementos-de-un-sistema-automatizado/>

SAISAC MECATRONICA. (2024). *ARDUINO MEGA 2560 R3 CON CABLE USB COMP.*

<https://mecatronica.saisac.pe/producto/arduino-mega-2560-r3-con-cable-usb-comp/>

Salcedo, A. D. (2015). *Diseño de un sistema automatizado para riego por goteo para palta Hass.*

<http://hdl.handle.net/20.500.12404/6072>

Sathwik Patel, Y., Shiva Sai, T., Sumanth, R., y Satyanarayana, A. N. (2024). Solar-Powered GSM

Irrigation for Intelligent Water Management. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 1610-1615.

<https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24APR1734>

Sharifnasab, H., Mahrokh, A., Dehghanisanij, H., Łazuka, E., Łagód, G., y Karami, H. (2023).

Evaluating the Use of Intelligent Irrigation Systems Based on the IoT in Grain Corn

Irrigation. *Water*, 15(7), 1394. <https://doi.org/10.3390/w15071394>

- Shekokar, Thosar, G., Jain, V., Bhole, V., Phalak, H., Kashikar, S., y Yeole, H. (2024). IOT Based Smart Agriculture System For Crop Monitoring And Management. *International Scientific Journal of Engineering and Management*, 03(04), 1-9. <https://doi.org/10.55041/ISJEM01668>
- Siregar, C. A., Mulyadi, D., Biantoro, A. W., Sismoro, H., y Irawati, Y. (2020). Automation and Control System on Water Level of Reservoir based on Microcontroller and Blynk. *2020 14th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/TSSA51342.2020.9310836>
- Suaquita, J., y Mamani, J. (2025). *Sistema de riego automatizado basado en IoT en el vivero forestal de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, 2023*. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/1378>
- Suardíaz, J., y Al-Hadithi, B. (2004). *Control Electrónico Mediante Telefonía Móvil digital basada en la Red GSM. II . AÑO 2004*. https://www.researchgate.net/publication/28083819_Control_Electronico_Mediante_Telefonia_Movil
- Tecneu. (2023, diciembre 28). *Manejando el Tiempo con Arduino y el Módulo DS3231*. Tecneu. <https://www.tecneu.com/blogs/tutoriales-de-electronica/domina-el-tiempo-con-arduino-un-tutorial-paso-a-paso-para-configurar-y-utilizar-el-modulo-de-real-time-clock-ds3231>
- Tecneu. (2024, junio 13). *Tutorial: Comunicando tu Arduino con un Módulo SIM900*. Tecneu. <https://www.tecneu.com/blogs/tutoriales-de-electronica/tutorial-comunicando-tu-arduino-con-un-modulo-sim900>
- UN-DESA. (2025). *Goal 12 - Responsible consumption and production*. <https://sdgs.un.org/goals/goal12>
- UNESCO/UN-Water. (2024). *Water for Prosperity and Peace | UN World Water Development Report*. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/en/2024>
- UNESCO/WWAP. (2024). *UN World Water Development Report 2024 - Statistics*. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/en/2024/s>

Vásconez, J., y Chamba, F. de J. (2013). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5304/1/>

VIU. (2023). *GSM: definición y usos en las comunicaciones móviles | VIU España*. <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-gsm-y-como-funciona>

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia

Título del proyecto:	Sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM, para optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (<i>Prosopis Pallida</i>) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque.				
Justificación de la investigación:	<p>Aunque se han desarrollado investigaciones que documentan los beneficios del riego inteligente y la lógica de control por umbrales en la agricultura comercial (Kumar et al., 2024), no obstante, no se han identificado estudios que aborden la integración de sensores de humedad y válvulas solenoides bajo plataformas de hardware abierto aplicadas específicamente al cultivo de <i>Prosopis pallida</i> (algarrobo) en entornos rurales peruanos. En esa misma línea, el MTC (2024) y OSIPTEL (2025) subrayan las limitaciones de conectividad en el país, lo que destaca la ausencia de una comprensión integral sobre cómo operan estas tecnologías en escenarios con internet móvil intermitente mediante el uso de GSM/SMS. De forma complementaria, la literatura global enfatiza que la mejora en la eficiencia hídrica en viveros es clave para la sostenibilidad, alineándose con las metas del ODS 6 y ODS 12 (UNESCO, 2024; UN-DESA, 2025), y reforzando la pertinencia de evaluaciones técnicas en especies forestales nativas que requieren un manejo cuidadoso para su establecimiento (Carrillo et al., 2020). En suma, el trabajo responde a las recomendaciones actuales para generar evidencia replicable sobre soluciones de bajo costo y alta resiliencia en el sector agrario.</p> <p>De este modo, persiste un vacío de conocimiento y práctica en la automatización de viveros forestales que resulta pertinente abordar, con especial énfasis en el control del desempeño hídrico como proceso clave para optimizar el crecimiento del algarrobo y asegurar la gestión sostenible del agua en la región.</p>				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones/Indicadores	Diseño metodológico
Problema General	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente (VI)		Enfoque: Cuantitativo
¿Como optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (<i>Prosopis Pallida</i>) en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo?	Optimizar el consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (<i>Prosopis Pallida</i>) en el vivero de Agronomía, mediante la implementación de un sistema de riego automatizado .	El consumo de agua en la fase de crecimiento de Algarrobo (<i>Prosopis Pallida</i>) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, mejorará mediante la implementación de un sistema de riego automatizado utilizando tecnología GSM.	Sistema de riego automatizado	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de medición <ul style="list-style-type: none"> ○ Cantidad de agua utilizada ○ Presencia de lluvia ○ Disponibilidad hídrica ○ Humedad del suelo • Sistema de control <ul style="list-style-type: none"> ○ Comunicación inalámbrica ○ Monitoreo remoto 	<p>Tipo de investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental puro, específicamente identificado como un diseño con posprueba únicamente y grupo de control.</p> <p>Población: Constituida por un lote experimental de 100</p>

	<p>Objetivos específicos</p> <p>-Diseñar el sistema de riego automatizado para el cultivo de Algarrobo (Prosopis Pallida) en el vivero de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.</p> <p>-Evaluar el consumo de agua en el sistema de riego tradicional versus el sistema de riego automatizado para el cultivo de Algarrobo (Prosopis Pallida) en el vivero de Agronomía.</p>		<p>Variable dependiente</p> <p>Optimización del consumo de agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de Riego <ul style="list-style-type: none"> ○ Minutos a regar • Frecuencia de Riego <ul style="list-style-type: none"> ○ Intervalo de días de riego 	<p>plantones de Algarrobo (Prosopis pallida), ubicados en el vivero de Agronomía de la UNPRG.</p> <p>Muestra: muestreo censal, abarcando la totalidad de la población (N = 100). Para fines comparativos, la muestra se divide en dos grupos de 50 unidades cada uno, sometidos al tratamiento de riego automatizado y al riego manual convencional</p> <p>Técnicas: Análisis documental y Observación experimental</p> <p>Instrumento: Ficha de registro de datos (Bitácora de campo) y el Sistema de Adquisición de Datos (Data Logger)</p>
--	--	--	---	---	--

Anexo 2 Código fuente del sistema de riego automatizado

```
1  #include <DHT.h>
2  #include <DHT_U.h>
3  #include <RTCLib.h>
4  #include <SPI.h> // incluye libreria interfaz SPI
5  #include <SD.h> // incluye libreria para tarjetas SD
6  #define Pecho 5
7  #define Ptrig 6
8  String mensaje;
9  int SensorPin = A1; // pin analogo de
10 int TempyHum = 3;
11 int relay = 4; //antes 4
12 int relaybomba = 48; //aqui es el numero de pin. ej. Pin 9 aqui va 48
13 int relayvent = 47; //relay del ventilador, aqui va 47
14 int temp, humedad;
15 int lluviaA;
16 int lecturaPorc; //variable de lectura del porcentaje de humedad del
    suelo
17 String lluvia;
18 int cont = 0;
19
20 DHT dht(TempyHum, DHT11);
21 long duracion, distancia;
22 float pi = 22 / 7;
23 int radio = 5;
24 float cantidad;
25 String numeroCel = "980176961";
26 String msjtemp = "";
27
28 RTC_DS3231 rtc;
29 volatile int NbTopsFan;
30 int Calc;
31 int hallsensor = 2;
32
33 #define SSpin 53 // Slave Select en pin digital 53 TARJETA SDCARD
34
```

```

35 File archivo; // objeto archivo del tipo File
36
37 String maxHumedadT = "90";
38 String minHumedadT = "30";
39
40 void setup() {
41   pinMode(hallsensor, INPUT);
42   Serial1.begin(19200);
43   Serial.begin(9600);
44   delay(10000);
45   Serial1.print("AT+CMGF=1\r");
46   delay(200);
47   Serial1.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
48   delay(200);
49   attachInterrupt(0, rpm, RISING);
50   dht.begin();
51   digitalWrite(relay, HIGH);
52   if (!rtc.begin()) {
53     Serial.println("No encontrado RTC");
54     Serial.flush();
55     while (1) delay(10);
56   }
57   // if (rtc.lostPower()) {
58   //   Serial.println("La alimentación del RTC se perdió, ajustando la
59   //     hora...");
60   //   rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
61   // }
62   DateTime now = rtc.now();
63   Serial.println("Configurando la fecha y la hora atual");
64   Serial.print("Fecha: ");
65   Serial.println(now.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE));
66   Serial.print("Hora:");
67   Serial.println(now.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
68   Serial.println();
69
70   pinMode(Pecho, INPUT);

```

```

71  pinMode(Ptrig, OUTPUT);
72  pinMode(13, 1);
73  pinMode(relay, OUTPUT);
74  pinMode(relaybomba, OUTPUT);
75  pinMode(relayvent, OUTPUT);
76
77  digitalWrite(relaybomba, HIGH);
78  digitalWrite(relayvent, HIGH);
79
80  Serial.println("SETUP LISTO");
81  Serial.println("DATOS");
82  datos();
83  }
84
85  void loop() {
86  cont = 0;
87  while (cont == 0) {
88  mensaje = "";
89  boolean saltoEncontrado = false;
90  String ignore = " 20\\", .\\n\\r";
91  while (Serial1.available() > 0) {
92  String mensajetemp;
93
94  mensajetemp = Serial1.readString();
95  Serial.println(mensajetemp.length());
96  mensaje = mensajetemp.substring(50, mensajetemp.length() - 2);
97  Serial.println(mensaje.substring(0, 3));
98  Serial.println(mensaje.substring(mensaje.length() - 1,
mensaje.length()));
99  if (mensaje.substring(0, 3).equals("MI-") and
mensaje.substring(mensaje.length() - 1, mensaje.length()).equals("%"))
{
100  Serial.println("yo Estoy aqui");
101  }
102  }
103  select(mensaje);
104  cont = cont + 1;
105  }

```

```

106
107
108   digitalWrite(Ptrig, LOW);
109   delayMicroseconds(2);
110   digitalWrite(Ptrig, HIGH);
111   delayMicroseconds(10);
112   digitalWrite(Ptrig, LOW);
113   duracion = pulseIn(Pecho, HIGH);
114   distancia = (duracion / 2) / 29;
115   //Serial.println(distancia);
116   //Serial.println(msjtemp);
117   if (distancia > 70) {
118     digitalWrite(relaybomba, LOW);
119   }
120   if (distancia < 10) {
121     digitalWrite(relaybomba, HIGH);
122   }
123
124   temp = dht.readTemperature();
125   if (temp > 25) {
126     digitalWrite(relayvent, LOW);
127   } else {
128     digitalWrite(relayvent, HIGH);
129   }
130
131
132   delay(500);
133   }
134
135   /*void encenderRelayBomba () {
136     digitalWrite (relaybomba,LOW);
137     Serial.println("akitoy2");
138     delay(60000); //60000 indica que es un minuto
139     digitalWrite (relaybomba,HIGH);
140   }*/
141
142   void select (String msn) {

```

```

143 Serial.print(msn);
144 //String msn2;
145 //msn2=msn;
146 if (msn != "") {
147     msjtemp = msn;
148 }
149 if (msn.equals("M")) {
150     Serial.println("ENTRANDO AL MODO MANUAL");
151     envioMensaje("ENTRANDO AL MODO MANUAL");
152     Serial.println("SELECCIONE E PARA SALIR");
153     envioMensaje("SELECCIONE E PARA SALIR");
154     mensaje = "";
155     modoManual();
156     mensaje = "";
157
158 } else if (msn.equals("A")) {
159     Serial.println("ENTRANDO AL MODO AUTOMATICO");
160     envioMensaje("ENTRANDO AL MODO AUTOMATICO");
161     mensaje = "";
162     modoAutomatico();
163     mensaje = "";
164     msjtemp = "";
165
166 } else if (msn.equals("E")) {
167
168     Serial.println("DATOS");
169     envioMensaje("DATOS");
170     mensaje = "";
171     datos();
172     msjtemp = "";
173
174 } else if (msn.equals("N")) {
175     Serial.println("SELECCIONE MODO DE RIEGO M(Manual)//A(Automatico)");
176     envioMensaje("SELECCIONE MODO DE RIEGO M(Manual)//A(Automatico)");
177     Serial.println("DATOS");
178     envioMensaje("DATOS");
179     mensaje = "";

```

```

180  datos();
181  mensaje = "";
182  msjtemp = "";
183
184  } else if (msn.equals("S")) {
185  Serial.println("Indique la cantidad de minutos que desea regar");
186  envioMensaje("Indique la cantidad de minutos que desea regar");
187  mensaje = "";
188
189  } else if (msn.toInt() > 0 and msn.toInt() < 100000000) {
190  Serial.println(msn);
191  mensaje = "";
192  encenderRelay(msn);
193  mensaje = "";
194  msjtemp = "";
195
196  } else if (msn.equals("C")) {
197  Serial.println("Indique el numero de celular de 9 digitos:");
198  envioMensaje("Indique el numero de celular de 9 digitos:");
199  mensaje = "";
200  loop();
201  } else if (msn.toInt() > 900000000 and msn.toInt() < 1000000000) {
202  Serial.println("Cambiando numero de celular...");
203  envioMensaje("Cambiando numero de celular...");
204  mensaje = "";
205  cambioCelular(msn);
206  } else if (msn.equals("HLS")) { //
207  Serial.println("Envie MI-XX% o MA-XX% para configurar valores de
humedad de tierra minimo y maximo");
208  envioMensaje("Envie MI-XX% o MA-XX% para configurar valores de humedad
de tierra minimo y maximo");
209  mensaje = "";
210  loop();
211  } else if ((msn.substring(0, 3)).equals("MI-") and
(msn.substring(msn.length() - 1, msn.length())).equals("%")) {
212  Serial.println("Cambiando valor de humedad minima...");
213  envioMensaje("Cambiando valor de humedad minima...");
214  mensaje = "";

```

```

215 cambioValorHumedadMin(msn.substring(3, msn.length() - 1));
216 msjtemp = "";
217 } else if ((msn.substring(0, 3)).equals("MA-") and
218 (msn.substring(msn.length() - 1, msn.length()).equals("%")) {
219 Serial.println("Cambiando valor de humedad maxima...");
220 envioMensaje("Cambiando valor de humedad maxima...");
221 mensaje = "";
222 cambioValorHumedadMax(msn.substring(3, msn.length() - 1));
223 msjtemp = "";
224 }
225 }
226 void cambioValorHumedadMin(String cantidad) {
227 minHumedadT = cantidad;
228 //Serial.println(minHumedadT+"%");
229 Serial.print("El valor minimo fue cambiado a: " + minHumedadT);
230 Serial.println("%");
231 envioMensaje("El valor minimo fue cambiado a: " + minHumedadT + "%");
232 }
233 void cambioValorHumedadMax(String cantidad) {
234 maxHumedadT = cantidad;
235 //Serial.println(minHumedadT+"%");
236 Serial.print("El valor maximo fue cambiado a: " + maxHumedadT);
237 Serial.println("%");
238 envioMensaje("El valor maximo fue cambiado a: " + maxHumedadT + "%");
239 }
240
241 void cambioCelular(String celular) {
242 numeroCel = celular;
243 mensaje = "";
244 datos();
245 }
246
247 void datos() {
248 humedad = dht.readHumidity();
249 temp = dht.readTemperature();
250 Serial.print("TEMPERATURA: ");

```

```

251 Serial.print(temp);
252 Serial.println("°C");
253
254 Serial.print("HUMEDAD: ");
255 Serial.print(humedad);
256 Serial.println("%");
257
258 digitalWrite(Ptrig, LOW);
259 delayMicroseconds(2);
260 digitalWrite(Ptrig, HIGH);
261 delayMicroseconds(10);
262 digitalWrite(Ptrig, LOW);
263 duracion = pulseIn(Pecho, HIGH);
264 distancia = (duracion / 2) / 29;
265 Serial.print("CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE: ");
266 cantidad = (27 - distancia) * 2 * pi * radio;
267 Serial.print(cantidad);
268 Serial.println("ml.");
269 int lectura = analogRead(SensorPin);
270
271 lecturaPorc = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);
272
273 Serial.print("La Humedad de la Tierra es: ");
274 Serial.print(lecturaPorc);
275 Serial.println("%");
276
277 lluviaA = analogRead(0);
278 if (lluviaA < 300) {
279 Serial.println("LLUVIA INTENSA, PROHIBIDO REGAR, ESPERE QUE SEQUE EL
SENSOR");
280 envioMensaje("TEMPERATURA: " + (String)temp + "C" + "\n" + "HUMEDAD: "
+ (String)humedad + "%" + "\n" + "HUMEDAD DE TIERRA: " +
(String)lecturaPorc + "%" + "\n");
281 envioMensaje("CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE: " + (String)cantidad + "
ml.");
282 envioMensaje("LLUVIA INTENSA, PROHIBIDO REGAR, ESPERE QUE SEQUE EL
SENSOR");
283
284 } else if (lluviaA < 500) {

```

```

285 Serial.println("LLUVIA MODERADA, PROHIBIDO REGAR, ESPERE QUE SEQUE EL
SENSOR");
286 envioMensaje("TEMPERATURA: " + (String)temp + "C" + "\n" + "HUMEDAD: "
+ (String)humedad + "%" + "\n" + "HUMEDAD DE TIERRA: " +
(String)lecturaPorc + "%" + "\n");
287 envioMensaje("CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE: " + (String)cantidad + "
ml.");
288 envioMensaje("LLUVIA MODERADA, PROHIBIDO REGAR, ESPERE QUE SEQUE EL
SENSOR");
289 } else {
290 Serial.println("LLUVIA NO DETECTADA");
291
292 Serial.println("SELECCIONE MODO DE RIEGO M(Manual)//A(Automatico)");
293 envioMensaje("TEMPERATURA: " + (String)temp + "C" + "\n" + "HUMEDAD: "
+ (String)humedad + "%" + "\n" + "HUMEDAD DE TIERRA: " +
(String)lecturaPorc + "%" + "\n");
294 envioMensaje("CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE: " + (String)cantidad + "
ml." + "\n" + "LLUVIA NO DETECTADA");
295 envioMensaje("SELECCIONE MODO DE RIEGO
M(Manual)//A(Automatico)//C(cambiar #celular)");
296 envioMensaje("HLS(Configuracion de valores de Humedad)");
297 }
298 }
299
300
301
302
303 void encenderRelay(String msn) { //para encender solenoide
304 envioMensaje("REGANDO");
305
306 digitalWrite(relay, LOW);
307 Serial.println("REGANDO");
308
309 envioMensaje("Guardando datos...");
310 DateTime tiempo = rtc.now();
311 String nombremanual = recorrePalabra() + ".txt"; //se guarda el
documento teniendo como nombre la hora inicial de guardado. Recuerda
que el limite de caracteres del nombre del archivo es de 8 carcateres,
si se pasa sale error.
312 Serial.println(nombremanual);
313 archivo = SD.open(nombremanual, FILE_WRITE); // apertura para
lectura/escritura de archivo datos.txt

```

```

314  if (archivo) {
315      archivo.print("T");
316      archivo.print(",");
317      archivo.print("HA");
318      archivo.print(",");
319      archivo.print("HT");
320      archivo.print(","); //sigue cantidad de agua
321      archivo.print("CA");
322      archivo.print(",");
323      archivo.print("EL1");
324      archivo.print(",");
325      archivo.print("C");
326      archivo.print(",");
327      archivo.println("FH");
328      delay(1500);
329  }
330  for (int i = 0; i < msn.toInt(); i++) {
331      guardarDatosManual(nombremanual);
332
333
334      digitalWrite(Ptrig, LOW);
335      delayMicroseconds(2);
336      digitalWrite(Ptrig, HIGH);
337      delayMicroseconds(10);
338      digitalWrite(Ptrig, LOW);
339      duracion = pulseIn(Pecho, HIGH);
340      distancia = (duracion / 2) / 29;
341      if (distancia > 70) {
342          digitalWrite(relaybomba, LOW);
343      } else {
344          digitalWrite(relaybomba, HIGH);
345      }
346
347      delay(60000); //60000 indica que es un minuto
348  }
349
350      digitalWrite(relay, HIGH);

```

```

351 Serial.println("SE TERMINO DE REGAR");
352 Serial.println("ENVIAR E PARA MOSTRAR DATOS");
353 envioMensaje("SE TERMINO DE REGAR");
354 envioMensaje("ENVIAR E PARA MOSTRAR");
355
356 loop();
357 }
358
359 void modoManual() {
360 Serial.println("¿Desea Regar?");
361 envioMensaje("DESEA REGAR - S(SI)//N(NO)");
362 mensaje = "";
363 cont = 0;
364 loop();
365 }
366
367 void modoAutomatico() {
368
369 if (Serial1.available() > 0) {
370 mensaje = Serial1.read();
371 digitalWrite(relay, HIGH);
372 digitalWrite(relaybomba, HIGH);
373 if (mensaje == "E") {
374 datos();
375 }
376 } else {
377
378 digitalWrite(Ptrig, LOW);
379 delayMicroseconds(2);
380 digitalWrite(Ptrig, HIGH);
381 delayMicroseconds(10);
382 digitalWrite(Ptrig, LOW);
383 duracion = pulseIn(Pecho, HIGH);
384 distancia = (duracion / 2) / 29;
385 cantidad = (27 - distancia) * 2 * pi * radio;
386
387 Serial.println(distancia);

```

```

388 Serial.println(lecturaPorc); //lectura del sensor humedad de tierra
389
390 if (distancia <= 10) {
391   digitalWrite(relaybomba, HIGH);
392
393 }
394 if (cantidad > 157.14) {
395   if (humedad < 85) {
396     if (lecturaPorc < minHumedadT.toInt() and lecturaPorc <
maxHumedadT.toInt()) {
397       if (lluviaA >= 500) {
398         //digitalWrite(relay,HIGH);
399         digitalWrite(relay, LOW);
400         Serial.println("REGANDO");
401         //envioMensaje("REGANDO");
402         //envioMensaje("Guardando datos...");
403         guardarDatos();
404         //delay(60000);//cada 60000 indica que es un minuto (1000*60*1)
405         //digitalWrite(relay,LOW);
406         //digitalWrite(relay,HIGH);
407         Serial.println("SE TERMINO DE REGAR");
408         //envioMensaje("SE TERMINO DE REGAR");
409         mensaje = "";
410         modoAutomatico();
411         /*if(Serial1.available()>0){
412
413           Serial.println(mensaje); //
414           mensaje=Serial1.read();
415           if(mensaje=="E"){
416             loop();
417           }
418         }
419         else{
420           modoAutomatico();
421         }*/
422       }
423     } else {

```

```

424 digitalWrite(relay, HIGH);
425 Serial.println("LA HUMEDAD DEL SUELO ESTA DENTRO DE LOS LIMITES: NO
DEBE REGAR");
426 envioMensaje("LA HUMEDAD DEL SUELO ESTA DENTRO DE LOS LIMITES: NO DEBE
REGAR");
427 datos();
428 }
429 } else {
430 digitalWrite(relay, HIGH);
431 Serial.println("La Humedad es muy alta");
432 envioMensaje("LA HUMEDAD ES MUY ALTA,ENVIE E PARA SALIR");
433 datos();
434 }
435 } else {
436 digitalWrite(relay, HIGH);
437 Serial.println("NO HAY CANTIDAD SUFICIENTE DE AGUA");
438 //envioMensaje("NO HAY CANTIDAD SUFICIENTE DE AGUA, LLENANDO TANQUE");
439 delay(2100);
440 digitalWrite(relaybomba, LOW);
441
442
443 modoAutomatico();
444 }
445 }
446 }
447
448 void envioMensaje(String mensaje) {
449 delay(200);
450 Serial1.println("AT+CMGS=\"" + numeroCel + "\"");
451 delay(500);
452 Serial1.println(mensaje);
453 delay(500);
454 Serial1.println((char)26);
455 delay(500);
456 Serial1.println();
457 delay(200);
458 Serial.println("MENSAJE ENVIADO");

```

```

459 Serial.println("AT+CMGS=\"\" + numeroCel + "\"");
460 Serial.println("SMS: " + mensaje);
461 limpiarSerial(false);
462 delay(200);
463 limpiarSerial(true);
464 }
465
466 void limpiarSerial(boolean temp) {
467 while (!(Serial1.available() > 0) && temp) {
468 delay(1000);
469 Serial.println("Enviando");
470 }
471 if (temp) {
472 Serial.println("Enviado, limpiando serial");
473 }
474 while (Serial1.available() > 0) {
475 char temp = (char)Serial1.read();
476 }
477 }
478
479 void guardarDatos() {
480 Serial.println("Inicializando tarjeta ..."); // texto en ventana de
monitor
481 if (!SD.begin(SSpin)) { // inicializacion de tarjeta SD
482 Serial.println("fallo en inicializacion!"); // si falla se muestra
texto correspondiente y
483 return; // se sale del setup() para finalizar el programa
484 }
485
486 Serial.println("inicializacion correcta"); // texto de inicializacion
correcta
487 DateTime tiempo = rtc.now();
488 String nombre = recorrerPalabra() + ".txt"; //se guarda el documento
teniendo como nombre la hora inicial de guardado. Recuerda que el
limite de caracteres del nombre del archivo es de 8 caracteres, si se
pasa sale error.
489 Serial.println(nombre);
490 archivo = SD.open(nombre, FILE_WRITE); // apertura para
lectura/escritura de archivo datos.txt

```

```

491
492  if (archivo) {
493  archivo.print("T");
494  archivo.print(",");
495  archivo.print("HA");
496  archivo.print(",");
497  archivo.print("HT");
498  archivo.print(","); //sigue cantidad de agua
499  archivo.print("CA");
500  archivo.print(",");
501  archivo.print("EL1");
502  archivo.print(",");
503  archivo.print("C");
504  archivo.print(",");
505  archivo.println("FH");
506  delay(1500);
507  //for (int i = 1; i < 4; i++) {
508  int lectura = analogRead(SensorPin);
509  lecturaPorc = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);
510  DateTime tiempo2 = rtc.now();
511  temp = dht.readTemperature(); // almacena en variable valor leido de
    temperatura
512  humedad = dht.readHumidity(); // almacena en variable valor leido de
    humedad
513  lluviaA = analogRead(0);
514  digitalWrite(Ptrig, LOW);
515  delayMicroseconds(2);
516  digitalWrite(Ptrig, HIGH);
517  delayMicroseconds(10);
518  digitalWrite(Ptrig, LOW);
519  duracion = pulseIn(Pecho, HIGH);
520  distancia = (duracion / 2) / 29;
521  cantidad = (27 - distancia) * 2 * pi * radio;
522  NbTopsFan = 0;
523  sei();
524  delay(1000);
525  Calc = (NbTopsFan * 60 / 7.5);

```

```

526  if (lluviaA < 300) {
527  archivo.print(temp); // escribe en tarjeta el valor de temperatura
528  archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
529  archivo.print(humedad); // escribe en tarjeta el valor de humedad y
    salto de linea
530  archivo.print(",");
531  archivo.print(lecturaPorc);
532  archivo.print(",");
533  archivo.print(cantidad);
534  archivo.print("%");
535  archivo.print(",");
536  archivo.print("LLI");
537  archivo.print(",");
538  archivo.print(Calc, DEC);
539  archivo.print(" L/m");
540  archivo.print(",");
541  archivo.println(tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE) + " " +
    tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
542  } else if (lluviaA < 500) {
543  archivo.print(temp); // escribe en tarjeta el valor de temperatura
544  archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
545  archivo.print(humedad); // escribe en tarjeta el valor de humedad y
    salto de linea
546  archivo.print(",");
547  archivo.print(lecturaPorc);
548  archivo.print(",");
549  archivo.print(cantidad);
550  archivo.print("%");
551  archivo.print(",");
552  archivo.print("LLM");
553  archivo.print(",");
554  archivo.print(Calc, DEC);
555  archivo.print(" L/m");
556  archivo.print(",");
557  archivo.println(tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE) + " " +
    tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
558  } else {
559  archivo.print(temp); // escribe en tarjeta el valor de temperatura

```

```

560  archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
561  archivo.print(humedad); // escribe en tarjeta el valor de humedad y
    salto de linea
562  archivo.print(",");
563  archivo.print(lecturaPorc);
564  archivo.print(",");
565  archivo.print(cantidad);
566  archivo.print("%");
567  archivo.print(",");
568  archivo.print("LLND");
569  archivo.print(",");
570  archivo.print(Calc, DEC);
571  archivo.print(" L/m");
572  archivo.print(",");
573  archivo.println(tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE) + " " +
    tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
574  }
575  archivo.close(); // cierre de archivo
576  Serial.println("escritura correcta"); // texto de escritura correcta en
    monitor serie
577  } else {
578  Serial.println("error en apertura de datos.txt"); // texto de falla en
    apertura de archivo
579  }
580  }
581
582  void guardarDatosManual(String nombre) {
583  Serial.println("Inicializando tarjeta ..."); // texto en ventana de
    monitor
584  if (!SD.begin(SSpin)) { // inicializacion de tarjeta SD
585  Serial.println("fallo en inicializacion!"); // si falla se muestra
    texto correspondiente y
586  return; // se sale del setup() para finalizar el programa
587  }
588
589  Serial.println("inicializacion correcta"); // texto de inicializacion
    correcta
590  archivo = SD.open(nombre, FILE_WRITE); // apertura para
    lectura/escritura de archivo datos.txt
591

```

```

592  if (archivo) {
593      //for (int i = 1; i < 4; i++) {
594      int lectura = analogRead(SensorPin);
595      lecturaPorc = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);
596      DateTime tiempo2 = rtc.now();
597      temp = dht.readTemperature(); // almacena en variable valor leido de
          temperatura
598      humedad = dht.readHumidity(); // almacena en variable valor leido de
          humedad
599      lluviaA = analogRead(0);
600      digitalWrite(Ptrig, LOW);
601      delayMicroseconds(2);
602      digitalWrite(Ptrig, HIGH);
603      delayMicroseconds(10);
604      digitalWrite(Ptrig, LOW);
605      duracion = pulseIn(Pecho, HIGH);
606      distancia = (duracion / 2) / 29;
607      cantidad = (27 - distancia) * 2 * pi * radio;
608      NbTopsFan = 0;
609      sei();
610      delay(1000);
611      Calc = (NbTopsFan * 60 / 7.5);
612      if (lluviaA < 300) {
613          archivo.print(temp); // escribe en tarjeta el valor de temperatura
614          archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
615          archivo.print(humedad); // escribe en tarjeta el valor de humedad y
          salto de linea
616          archivo.print(",");
617          archivo.print(lecturaPorc);
618          archivo.print(",");
619          archivo.print(cantidad);
620          archivo.print("%");
621          archivo.print(",");
622          archivo.print("LLI");
623          archivo.print(",");
624          archivo.print(Calc, DEC);
625          archivo.print(" L/m");
626          archivo.print(",");

```

```

627  archivo.println(tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE) + " " +
      tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
628  } else if (lluviaA < 500) {
629  archivo.print(temp); // escribe en tarjeta el valor de temperatura
630  archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
631  archivo.print(humedad); // escribe en tarjeta el valor de humedad y
      salto de linea
632  archivo.print(",");
633  archivo.print(lecturaPorc);
634  archivo.print(",");
635  archivo.print(cantidad);
636  archivo.print("%");
637  archivo.print(",");
638  archivo.print("LLM");
639  archivo.print(",");
640  archivo.print(Calc, DEC);
641  archivo.print(" L/m");
642  archivo.print(",");
643  archivo.println(tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE) + " " +
      tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
644  } else {
645  archivo.print(temp); // escribe en tarjeta el valor de temperatura
646  archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
647  archivo.print(humedad); // escribe en tarjeta el valor de humedad y
      salto de linea
648  archivo.print(",");
649  archivo.print(lecturaPorc);
650  archivo.print(",");
651  archivo.print(cantidad);
652  archivo.print("%");
653  archivo.print(",");
654  archivo.print("LLND");
655  archivo.print(",");
656  archivo.print(Calc, DEC);
657  archivo.print(" L/m");
658  archivo.print(",");
659  archivo.println(tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE) + " " +
      tiempo2.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
660  }

```

```

661  archivo.close(); // cierre de archivo
662  Serial.println("escritura correcta"); // texto de escritura correcta en
    monitor serie
663  } else {
664  Serial.println("error en apertura de datos.txt"); // texto de falla en
    apertura de archivo
665  }
666  }
667
668  String recorrePalabra() {
669  DateTime tiempo = rtc.now();
670
671  String palabra = "";
672  if (tiempo.day() < 10) {
673  palabra += "0" + String(tiempo.day());
674  } else {
675  palabra += String(tiempo.day());
676  }
677  if (tiempo.month() < 10) {
678  palabra += "0" + String(tiempo.month());
679  } else {
680  palabra += String(tiempo.month());
681  }
682  if (tiempo.hour() < 10) {
683  palabra += "0" + String(tiempo.hour());
684  } else {
685  palabra += String(tiempo.hour());
686  }
687  if (tiempo.minute() < 10) {
688  palabra += "0" + String(tiempo.minute());
689  } else {
690  palabra += String(tiempo.minute());
691  }
692  return palabra;
693  }
694
695  void rpm() {

```

```
696 NbTopsFan++;
```

```
697 }
```