



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO IOT PARA MONITOREO
DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA FINCA “SAN JACINTO”
DEL CANTÓN NARANJAL, PROVINCIA DEL GUAYAS**

AUTOR

LLIGUIN RIVAS DIXON ANDREW

TUTOR

ING. TOBAR CUESTA BYRON ALEXANDER, MSC.

**NARANJAL, ECUADOR
2026**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE COMPUTACIÓN**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN PROTOTIPO IOT PARA MONITOREO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA FINCA “SAN JACINTO” DEL CANTÓN NARANJAL, PROVINCIA DEL GUAYAS**, realizado por el estudiante LLIGUIN RIVAS DIXON ANDREW; con cédula de identidad N°0925825911 de la carrera COMPUTACIÓN, facultad de ciencias agrarias programa regional de enseñanza Naranjal, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Tobar Cuesta Byron Alexander, MSc.
Tutor

Naranjal, 19 de mayo del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO IOT PARA MONITOREO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA FINCA “SAN JACINTO” DEL CANTÓN NARANJAL, PROVINCIA DEL GUAYAS”, realizado por el estudiante LLIGUIN RIVAS DIXON ANDREW, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. SÁNCHEZ PALACIOS LUIS, M.Sc.

PRESIDENTE

ING. LASCANO MONTES ARIANA, M.Sc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. OSTAIZA CLAVIJO GINGER, M.Sc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. TOBAR CUESTA BYRON, MSc.

EXAMINADOR SUPLENTE

Naranjal, 19 de mayo del 2026

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, primero, a Dios, por darme la fuerza para seguir adelante cuando el camino se hizo difícil y por acompañarme en cada paso hasta llegar a este momento tan importante de mi vida. También quiero agradecer a mis padres, Nixon Lliguin Guerrero y Egma Rivas León, por todo el esfuerzo, el apoyo y las enseñanzas que me han brindado desde siempre, ya que este logro también es de ellos y nada de esto habría sido posible sin su confianza y su respaldo. A mis hermanos, Widman Lliguin Rivas y Andy Lliguin Rivas, por estar conmigo en todo momento, por su apoyo y por ser parte de cada meta que he podido alcanzar. A mis perros, Anais, Yeika y Max, por su compañía, su cariño y por hacer más llevaderos muchos días de cansancio con su simple presencia. También dedico este trabajo a mí mismo, por no rendirme ante las dificultades, por el esfuerzo, la dedicación y la perseverancia que fueron necesarios para llegar hasta aquí. Este logro representa años de aprendizaje, sacrificio y crecimiento personal, y simboliza la culminación de una etapa muy importante de mi vida. A todos ustedes, que han sido parte fundamental de este camino y de este sueño hecho realidad, dedico este trabajo con profunda gratitud y cariño.

AGRADECIMIENTO

Deseo dejar constancia de mi más sincero agradecimiento a Dios, quien me brindó la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de llegar hasta este momento tan importante de mi vida, acompañándome en cada etapa de este proceso de aprendizaje, esfuerzo y crecimiento personal. Expreso también mi agradecimiento al Ing. Byron Alexander Tobar Cuesta, MSc., por su orientación, sus conocimientos, su disposición para brindar apoyo y sus valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo de titulación. De manera especial, agradezco a mis padres, Nixon Lliguin Guerrero y Egma Rivas León, por su amor, sacrificio, dedicación y apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación académica. Gracias por creer en mí, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por brindarme siempre las herramientas necesarias para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, Widman Lliguin Rivas y Andy Lliguin Rivas, gracias por su compañía, apoyo y motivación constante durante este camino, así como por formar parte importante de cada meta alcanzada. Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación personal y profesional, acompañándome y brindándome su apoyo durante esta etapa de mi vida. Gracias a todos ustedes, este logro hoy es una realidad y representa no solo el cumplimiento de una meta académica, sino también el resultado del esfuerzo, la confianza y el respaldo recibido a lo largo de los años.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, LLIGUIN RIVAS DIXON ANDREW, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre DESARROLLO DE UN PROTOTIPO IOT PARA MONITOREO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA FINCA “SAN JACINTO” DEL CANTÓN NARANJAL, PROVINCIA DEL GUAYAS, para optar el título de INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, realizado por LLIGUIN RIVAS DIXON ANDREW, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Naranjal, 19 de mayo del 2026

LLIGUIN RIVAS DIXON ANDREW
C.I. 0925825911

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un prototipo basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de la evapotranspiración en la finca “San Jacinto”, ubicada en el cantón Naranjal, provincia del Guayas, ante la problemática del uso de registros manuales que generan imprecisión, discontinuidad en los datos y limitaciones en la toma de decisiones de riego. El estudio se fundamentó en el uso del tanque evaporímetro Clase A y en principios teóricos relacionados con la evapotranspiración de referencia, sensores ambientales y tecnologías IoT aplicadas a la agricultura de precisión. La metodología empleada fue de tipo aplicada, con un diseño no experimental y enfoque observacional de campo, integrando sensores de temperatura, humedad, radiación solar, velocidad del viento y nivel de agua, conectados a una placa Arduino GIGA R1 WiFi y a una plataforma digital para el registro y visualización de datos. Como resultado, el prototipo permitió obtener mediciones continuas, estables y coherentes con los registros manuales, mejorando la organización y disponibilidad de la información climática y del nivel del tanque. Asimismo, se comprobó la viabilidad técnica del sistema, su correcta transmisión de datos y su utilidad como apoyo para definir el momento oportuno del riego. En conclusión, el sistema IoT desarrollado constituye una herramienta funcional y confiable que optimiza el monitoreo de la evapotranspiración y contribuye a un manejo más eficiente y responsable del recurso hídrico en la finca San Jacinto.

Palabras clave: *evapotranspiración, IoT, monitoreo ambiental, sensores ambientales, tanque evaporímetro Clase A.*

ABSTRACT

This research aimed to develop an Internet of Things (IoT)–based prototype for monitoring evapotranspiration at the “San Jacinto” farm, located in the Naranjal canton, Guayas province, in response to the limitations of manual records that cause data inaccuracy, discontinuity, and difficulties in irrigation decision-making. The study was grounded in the use of the Class A evaporation pan and theoretical principles related to reference evapotranspiration, environmental sensors, and IoT technologies applied to precision agriculture. An applied research approach with a non-experimental and field observational design was adopted. The system integrated sensors for temperature, relative humidity, solar radiation, wind speed, and water level, connected to an Arduino GIGA R1 WiFi board and a digital platform for data storage and visualization. The results showed that the prototype provided continuous and stable measurements consistent with traditional manual records, thereby improving the organization, availability, and reliability of climatic and tank-level information. In addition, the technical feasibility of the system, the stability of data transmission, and its usefulness as a support tool for optimizing irrigation scheduling were verified. In conclusion, the developed IoT system represents a functional and reliable tool that enhances evapotranspiration monitoring and contributes to more efficient and responsible management of water resources at the San Jacinto farm.

Keywords: *evapotranspiration, IoT, environmental monitoring, environmental sensors, Class A evaporation pan.*

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Antecedentes del problema	13
1.2. Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.3. Justificación de la investigación	14
1.4. Delimitación de la investigación	15
1.5. Objetivo general	15
1.6. Objetivos específicos	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Estado del arte	16
2.2. Bases científicas y teóricas de la temática	17
2.3. Marco legal.....	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Enfoque de la investigación.....	21
3.2. Metodología.....	21
4. RESULTADOS	25
4.1. Análisis de los requerimientos técnicos para el desarrollo del prototipo IoT de monitoreo de la evapotranspiración	25
4.2. Arquitectura electrónica del prototipo mediante el uso de Fritzing para la integración de sensores, microcontroladores y módulos de comunicación	26
4.3. Implementación del prototipo IoT en condiciones reales de campo y verificación de su operatividad y precisión en la transmisión de datos	27
5. DISCUSIÓN	29
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
6.1. Conclusiones.....	32
6.2. Recomendaciones.....	33
BIBLIOGRAFÍA	34

ANEXOS	38
APÉNDICES	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Modelo de entrevista para el propietario	38
Anexo N° 2: Modelo de encuesta para los trabajadores	40
Anexo N° 3: Componentes electrónicos y sensores del sistema.....	42
Anexo N° 4: Ejemplo de visualización de datos en la aplicación web	43
Anexo N° 5: Área destinada al monitoreo (Finca San Jacinto).....	43
Anexo N° 6: Diagrama de conexión del prototipo IoT.....	44
Anexo N° 7: Encuesta realizada al propietario	44
Anexo N° 8: Encuesta realizada al primer trabajador.....	45
Anexo N° 9: Encuesta realizada al segundo trabajador	47
Anexo N° 10: Prototipo del tanque evaporímetro con sistema de sensores instalado.....	49
Anexo N° 11: Registro manual del dueño de la finca	50
Anexo N° 12: Reporte generado por el sistema AquaMonitor	51
Anexo N° 13: Modulo reporte digital del sistema IoT del tanque evaporímetro Clase A.....	52
Anexo N° 14: Instalación del sistema de riego y sensores en el área experimental	53
Anexo N° 15: Código en IDE de Arduino.....	53
Anexo N° 16: Resultados de la encuesta (Tablas y gráficos)	54
Anexo N° 17: Variables ambientales monitoreadas por el sistema	59
Anexo N° 18: Acta de entrega y recepción.....	60

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice N° 1: Manual de Usuario	63
Apéndice N° 2: Manual Técnico.....	73

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes del problema

La gestión eficiente del agua en la agricultura se basa en estimaciones precisas de la evapotranspiración de referencia. “La demanda hídrica de los cultivos depende directamente de las condiciones climáticas locales” (Ingrao et al., 2022, pp. 45–68). En ese sentido, el monitoreo climático resulta fundamental para una correcta planificación del riego.

El tanque evaporímetro Clase A es una herramienta tradicional utilizada para este propósito. “Mide la evaporación del agua y, mediante un coeficiente específico del tanque, ajusta los valores obtenidos para estimar la ETo” (Ortiz et al., 2020, pp. 16–25). En ese sentido, este método permite obtener estimaciones más precisas de la evapotranspiración de referencia.

Una de las cuestiones más importantes en la estimación de la evapotranspiración es la precisión de los métodos utilizados. “Las fórmulas sugeridas por la FAO y la relación ETo/Eo proporcionan estimaciones precisas al utilizar datos climáticos locales” (Herrera et al., 2024, p. 15). En ese sentido, el ajuste adecuado del coeficiente Kp mejora la exactitud de las estimaciones.

En el Valle de Tumbaco, Ecuador, se han evaluado diversos métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo), incluyendo el uso del tanque evaporímetro Clase A. Los hallazgos revelan que, aunque el método de Penman-Monteith (FAO56) ofrece estimaciones más precisas, el tanque evaporímetro Clase A sigue siendo una opción viable, especialmente en áreas con datos climáticos limitados. No obstante, se enfatiza la importancia de calibrar localmente el coeficiente Kp para mejorar la exactitud de las estimaciones (Chile y Ortiz, 2020, pp. 7-16). Así, la calibración adecuada del coeficiente del tanque permite obtener resultados más confiables según las condiciones climáticas de cada región.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha establecido lineamientos para el uso del tanque evaporímetro Clase A, subrayando la importancia de aplicar un coeficiente de calibración (Kp) que ajuste las mediciones de evaporación del tanque según las condiciones específicas del sitio. Este coeficiente generalmente oscila entre 0,40 y 0,85, dependiendo de

factores como la humedad relativa, la velocidad del viento y la ubicación del tanque en relación con las áreas cultivadas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022, pp. 2-3). Así, la correcta calibración del coeficiente K_p permite obtener estimaciones más precisas de la evapotranspiración según las condiciones climáticas locales.

La exactitud de las mediciones obtenidas con el tanque evaporímetro Clase A depende de la calibración precisa del coeficiente K_p para cada región específica. La ausencia de estudios locales que determinen valores exactos de K_p puede llevar a estimaciones incorrectas de la evapotranspiración de referencia, afectando la eficiencia en la programación del riego. Por lo tanto, es esencial realizar investigaciones que ajusten y validen el coeficiente K_p en diferentes zonas agroecológicas del país.

Además, aunque el tanque evaporímetro Clase A es una herramienta útil, su uso debe complementarse con otros métodos y tecnologías para mejorar la precisión en la estimación de la E_{To} . La integración de datos obtenidos de estaciones meteorológicas automatizadas y técnicas de teledetección puede proporcionar una visión más completa y precisa de las necesidades hídricas de los cultivos (Gusmerotti et al., 2024, pp. 21-42).

1.2. Planteamiento y formulación del problema

1.2.1. Planteamiento del problema

En la finca “San Jacinto”, ubicada en el cantón Naranjal, provincia del Guayas, no existe un sistema automatizado para medir la evapotranspiración. Actualmente, dicha medición se realiza de forma manual, lo que provoca inexactitudes en los datos, interrupciones frecuentes en los registros y dependencia total del personal técnico. Esto limita la capacidad de tomar decisiones de riego basadas en información oportuna y confiable. En consecuencia, el uso del recurso hídrico no es óptimo, lo que puede derivar en riegos ineficientes y afectar la producción agrícola de la finca.

1.3. Justificación de la investigación

El proyecto surgió de la necesidad de obtener datos precisos y continuos sobre la evapotranspiración, evitando los errores de los registros manuales.

Mediante tecnología IoT, se automatizó el monitoreo de variables como temperatura, humedad, viento y radiación solar, permitiendo el acceso remoto a la información y una mayor confiabilidad de los datos. Además, el prototipo fue diseñado para implementarse fácilmente en fincas con condiciones climáticas y cultivos similares, ofreciendo una alternativa eficiente y amigable con el medio ambiente.

1.4. Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se desarrolló en la finca "San Jacinto", ubicada en el cantón Naranjal, en el Km 68 vía Naranjal (**Ver anexo. Figura 1**).
- **Tiempo:** El estudio tuvo una duración de 7 meses.
- **Población:** La recopilación de la información se realizó en la finca "San Jacinto", donde se estableció contacto con el propietario y dos empleados.

1.4.1. Formulación del problema

¿De qué manera el desarrollo de un prototipo IoT contribuye a mejorar el monitoreo de la evapotranspiración en la finca "San Jacinto" del cantón Naranjal?

1.5. Objetivo general

Desarrollar un prototipo IoT para monitorear la evapotranspiración mediante la implementación de sensores ambientales y tecnologías de transmisión de datos, con el fin de proporcionar información precisa y continua que respalde la toma de decisiones en el riego agrícola, en la finca "San Jacinto" del cantón Naranjal.

1.6. Objetivos específicos

- Analizar los requerimientos técnicos necesarios para el desarrollo de un prototipo IoT destinado al monitoreo automatizado de la evapotranspiración en la finca "San Jacinto".
- Diseñar la arquitectura electrónica del prototipo mediante el uso de Fritzing, integrando sensores ambientales, microcontroladores y módulos de comunicación para el registro y envío de datos de evapotranspiración.
- Implementar el prototipo IoT en condiciones reales de campo, verificando su operatividad y precisión en la recolección y transmisión continua de datos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Al Hamwi et al. (2024) probaron un sistema parecido en un invernadero, donde varios sensores de bajo costo registraban de manera continua la evapotranspiración del cultivo. Sus resultados muestran que, cuando el productor dispone de estos datos en tiempo real, le resulta más sencillo ajustar los riegos al agua que el sistema suelo-planta-atmósfera está perdiendo en ese ambiente controlado.

Cepeda et al. (2025) la implementación del Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura ha posibilitado la creación de plataformas avanzadas de monitoreo y control automático de riego, contribuyendo significativamente a la eficiencia y sostenibilidad en la gestión hídrica. Diferentes estudios recientes confirman que estos sistemas permiten no solo recopilar datos ambientales en tiempo real sino también optimizar el consumo hídrico, adaptando el riego según condiciones cambiantes, lo que incrementa la productividad y minimiza el desperdicio de agua en escenarios agrícolas tecnificados.

Zhengguang et al. (2024) validaron una arquitectura agrícola basada en IoT, la cual permite recolectar datos climáticos en tiempo real para estimar la evapotranspiración en cultivos de campo abierto. Este sistema, al estar conectado a internet, automatiza la recopilación, envío y análisis de datos sin requerir supervisión directa del agricultor.

Asif et al. (2023) destacan el uso de placas microcontroladoras avanzadas en proyectos agrícolas, y mencionan arquitecturas compatibles con sistemas complejos de sensores y conectividad inalámbrica. En este contexto, la placa Arduino GIGA R1 se presenta como una solución ideal por su capacidad WiFi-integrada, lo que permite recolectar, procesar y enviar datos desde sensores ambientales en tiempo real, siendo clave en el diseño de sistemas de monitoreo automatizados para agricultura de precisión.

Wang (2024) diseñó un sistema de control ambiental en invernaderos que recopila variables como la radiación solar, la cual influye directamente en la evapotranspiración de los cultivos. Aunque no se menciona el protocolo RS485,

muchos sensores utilizados en estos entornos transmiten datos a través de este estándar, debido a su confiabilidad en distancias largas.

Li y Tartakovsky (2023) incorporaron un anemómetro en su sistema inteligente de monitoreo agrícola con el fin de registrar la velocidad del viento, una variable que acelera la evapotranspiración. La información del anemómetro fue clave para alimentar modelos de aprendizaje automático que ajustan dinámicamente el riego en función del viento registrado en tiempo real.

2.2. Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1. Evapotranspiración de referencia

En este trabajo se entiende la evapotranspiración de referencia como la cantidad aproximada de agua que un cultivo podría perder en un día con las condiciones de clima registradas en la finca. Para calcularla se usan las lecturas de temperatura, humedad, radiación solar y velocidad del viento que captan los sensores instalados junto al tanque Clase A en San Jacinto, y este valor sirve como base para decidir cuánta agua conviene aplicar con el riego.

La ETo aporta el valor base sobre el cual se construye todo el sistema de riego del proyecto, ya que sirve como una medida técnica que orienta la cantidad de agua que debe suministrarse a los cultivos según las condiciones climáticas. Según Pereira et al. (2023), la evapotranspiración de referencia permite estimar el consumo hídrico de los cultivos mediante datos meteorológicos y coeficientes de cultivo, lo que facilita el cálculo de las necesidades hídricas y la planificación eficiente del riego.

2.2.2. Sensor de humedad y temperatura SHT31-D

En sistemas agrícolas automatizados, contar con dispositivos capaces de medir condiciones ambientales en tiempo real es clave para un manejo eficiente del agua. Uno de estos componentes es el sensor SHT31-D, que puede captar temperatura y humedad relativa de forma simultánea. Kumar et al. (2022) destacan su precisión, bajo consumo energético y tamaño compacto como ventajas para su aplicación en campo. Dentro del sistema propuesto, este sensor permite generar información constante y confiable que alimenta el control del riego.

Este sensor cumple un rol operativo dentro del sistema automatizado, ya que es el encargado de registrar dos de las variables más influyentes en el cálculo de la demanda hídrica. Su integración al prototipo permite que se generen lecturas constantes y confiables, lo cual facilita tomar decisiones en tiempo real sin depender de mediciones manuales o estimaciones externas.

El uso inteligente de sensores en la agricultura de precisión ha permitido optimizar la gestión del riego mediante la obtención de datos en tiempo real de variables como temperatura, humedad o radiación solar. Esta información es clave para definir horarios y volúmenes de riego en función de las necesidades reales del cultivo y las condiciones ambientales. De hecho, estudios recientes han demostrado que el empleo de sensores como el SHT31-D facilita una mejora sustancial en la toma de decisiones y en la eficiencia del uso hídrico (Olivera y Kuennen, 2023, pp. 55-75).

2.2.3. Coeficiente K_p

Las lecturas del tanque Clase A no se usan directamente, sino que se corrigen con un coeficiente K_p . En la práctica, este número compensa el efecto del viento, de la humedad y del lugar donde está colocado el tanque en la finca, de modo que la evaporación medida se acerque más a lo que realmente necesita el cultivo cuando se programa el riego (Grismer y Snyder, 2020, pp. 12-15).

Esta herramienta resulta especialmente útil en zonas rurales donde no se dispone de instrumentos meteorológicos avanzados. La FAO (2022) reconoce su importancia como un mecanismo de ajuste que mejora la validez de las estimaciones. En el contexto del proyecto, permite adaptar los datos recolectados al entorno específico de la instalación.

El coeficiente K_p aporta una herramienta de ajuste que mejora la precisión de las mediciones de evaporación en campo. Su aplicación dentro del sistema garantiza que los datos registrados se adapten al contexto local, tomando en cuenta características propias del entorno. Esto permite que el monitoreo sea más exacto, incluso en lugares donde no hay tecnología meteorológica avanzada.

2.2.4. Tanque evaporímetro

El tanque evaporímetro Clase A es un instrumento tradicional que sigue vigente por su capacidad de medir la evaporación directa del agua de manera

simple y accesible. Aunque ha sido desplazado en parte por herramientas digitales, su utilidad se mantiene, sobre todo cuando se lo emplea como referencia en sistemas automatizados. Como indican Bashir et al. (2023), su bajo costo y facilidad de uso lo convierten en una opción ideal para validar datos en campo. En el sistema que se plantea, actúa como un respaldo físico complementario a los sensores digitales.

Este instrumento actúa como el punto de partida para la estimación directa de evaporación. Al ser económico y fácil de implementar, permite validar las mediciones del sistema automatizado y compararlas con un método físico. Su inclusión respalda la fiabilidad del proyecto y permite mantenerlo funcional incluso en ausencia de conectividad o sensores complejos.

2.2.5. Sensores ambientales

El monitoreo de variables climáticas como temperatura, viento o radiación solar requiere del uso de sensores que capturen estas condiciones en tiempo real. Esta tecnología permite que los sistemas de riego puedan adaptarse a los cambios del entorno sin intervención manual. Pargo et al. (2025) proponen su integración en sistemas inteligentes como un mecanismo para optimizar el uso del agua. En esta propuesta, estos sensores cumplen el papel de intermediarios entre el ambiente y el sistema, generando información esencial para la toma de decisiones.

Estos dispositivos constituyen los “sentidos” del sistema, ya que capturan las condiciones reales del entorno donde se encuentra el cultivo. Su uso permite que el sistema de riego se adapte dinámicamente a factores externos como el viento o la radiación, optimizando la distribución del agua según el momento y las condiciones específicas del día.

2.3. Marco legal

Asamblea Nacional del Ecuador

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. El Estado la gestionará de forma descentralizada, participativa, equitativa y solidaria, reconociendo la gestión comunitaria del agua; su gestión se basará en los principios de sostenibilidad, precaución y responsabilidad.

Art. 411.- El Estado adoptará políticas integradas para mitigar el cambio climático, mediante la limitación de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, la deforestación y la contaminación atmosférica; y

para reducir la vulnerabilidad de la población, frente a los efectos nocivos del cambio climático. Se promoverá el uso de tecnologías limpias y alternativas. (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pp. 151-153)

Art. 4.- El agua es un recurso natural estratégico, limitado y vulnerable, que constituye un patrimonio nacional de uso público, y forma parte del ciclo hidrológico. Su gestión se orienta al desarrollo sostenible, la soberanía alimentaria, la erradicación de la pobreza y al interés general.

Art. 16.- El Estado garantizará la calidad y disponibilidad del agua a través de mecanismos de prevención, conservación, remediación, rehabilitación, restauración ambiental y de monitoreo permanente. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014, pp. 2-5)

Art. 97.- *La investigación en las instituciones de educación superior tendrá como objetivo contribuir al desarrollo del conocimiento, las ciencias, las tecnologías y la innovación, y a la solución de los problemas del país, especialmente de las comunidades, pueblos y nacionalidades.* (Ley Orgánica de Educación Superior, 2010, pp. 52-54)

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador

Disposición General 2.- Se promoverá la implementación de tecnologías limpias, prácticas sostenibles y métodos de monitoreo ambiental, orientadas a la disminución del impacto ambiental en actividades agroproductivas. (Reglamento Ambiental del Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020, pp. 1-4)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Enfoque de la investigación

3.1.1. Tipo de alcance de la investigación

La investigación fue de tipo aplicado, ya que buscó resolver un problema práctico mediante el desarrollo de un prototipo funcional para el monitoreo de la evapotranspiración en una finca. El estudio no tuvo como objetivo generar teoría nueva, sino que planteó una solución tecnológica concreta para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el entorno agrícola.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, ya que no se intervinieron ni alteraron las variables independientes. En su lugar, se observaron los fenómenos tal como ocurrían en el entorno natural. El sistema de monitoreo fue instalado en la finca y se registraron los datos de manera automática mediante sensores, sin introducir cambios artificiales en las condiciones del ambiente.

3.2. Metodología

3.2.1. Recolección de datos

3.2.1.1. Recursos

3.2.1.1.1. Recursos humanos.

Estudiante responsable: Lliguin Rivas Dixon Andrew

Docente guía: Ing. Tobar Cuesta Byron Alexander, MSc.

Propietario de la finca (colaborador): Facilitó el acceso al terreno donde se llevará a cabo la instalación del prototipo y permitió el monitoreo del sistema durante el periodo de pruebas.

3.2.1.1.2. Recursos tecnológicos.

Los recursos tecnológicos descritos fueron seleccionados en función de su compatibilidad, precisión, disponibilidad en el mercado y facilidad de integración. Estos elementos permitieron construir un sistema funcional que automatizó la captura, procesamiento y almacenamiento de datos climáticos necesarios para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en campo abierto (**Ver anexo. Tabla 1**).

3.2.1.2. Métodos y técnicas

3.2.1.2.1. Métodos.

- **Método observacional de campo**

Se aplicó este método, ya que el objetivo fue monitorear variables climáticas mediante sensores en un entorno real, sin intervenir ni modificar los fenómenos naturales. Este método permitió registrar cómo se comportaron la temperatura, humedad, radiación, viento y nivel de agua en condiciones reales, y validar el funcionamiento del prototipo diseñado para ese fin.

3.2.1.2.2. Técnicas.

- **Técnica de entrevista informal**

Como complemento, se aplicó una entrevista informal al propietario de la finca, con el fin de conocer sus impresiones sobre el sistema, su utilidad y su comprensión de los datos registrados. Esta conversación no siguió un guion rígido, sino que estuvo orientada a obtener apreciaciones prácticas sobre el prototipo (**Ver Anexo 1**).

- **Técnica de encuesta estructurada**

Se aplicó una encuesta con preguntas cerradas y de opción múltiple, dirigida a los trabajadores agrícolas. Esta permitió conocer sus prácticas de riego, nivel de conocimiento sobre el clima y percepción sobre el uso de herramientas tecnológicas (**Ver Anexo 2**).

- **Identificación de requerimientos técnicos**

En esta etapa se definieron los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema de monitoreo, incluyendo las variables climáticas que se registraron (temperatura, humedad, viento, radiación solar y nivel del agua), los sensores requeridos para su medición, el tipo de microcontrolador, la fuente de alimentación y el método de transmisión de datos. También se establecieron los criterios de ubicación y condiciones del entorno en la finca “San Jacinto”.

- **Diseño electrónico del circuito en Fritzing**

Aquí se elaboró un diagrama esquemático del sistema utilizando el software Fritzing. El diseño incluyó la conexión lógica y eléctrica entre el microcontrolador Arduino GIGA R1, los sensores ambientales, la fuente de energía y los módulos de comunicación. Esta representación sirvió como guía para el montaje físico del prototipo (**Ver anexo. Figura 2**).

- **Programación del microcontrolador Arduino GIGA R1**

En la etapa de programación se escribió el código del Arduino GIGA R1 para que leyera los sensores cada cierto tiempo (en esta tesis se usó un intervalo de X minutos) y, con esos valores, calculara la evapotranspiración de referencia. El mismo programa envía las lecturas a la aplicación web que se usa en la finca, de manera que ya no es necesario que el propietario anote los datos a mano ni revise el tanque varias veces al día.

- **Montaje físico del sistema**

Una vez diseñado y programado, el sistema fue ensamblado físicamente en una zona específica de la finca. Se instalaron los sensores en el entorno natural, considerando su orientación, seguridad y exposición adecuada al clima. El montaje aseguró que las condiciones reales fueran representativas y funcionales para obtener datos confiables.

- **Implementación de una base de datos en la nube**

Durante esta etapa, se configuró una base de datos digital para almacenar la información registrada por los sensores. Esta plataforma permitió visualizar y consultar los datos en tiempo real o histórico, lo que facilitó el monitoreo continuo desde cualquier dispositivo con acceso remoto.

- **Validación funcional del sistema**

Se evaluó el funcionamiento del prototipo comparando los resultados obtenidos con los del tanque evaporímetro Clase A, considerado como método de referencia tradicional. Esta validación permitió comprobar la precisión y confiabilidad del sistema desarrollado y su viabilidad para ser aplicado en otros entornos agrícolas similares (**Ver anexo. Tabla 2**).

3.2.2. Población y muestra

3.2.2.1. Población

La población estuvo compuesta por las personas que permitieron el desarrollo del monitoreo climático dentro de la finca “San Jacinto”, ubicada en el cantón Naranjal. Esta población incluyó al propietario del terreno y dos personas que facilitaron el acceso a las zonas destinadas para la instalación del prototipo. No se consideraron trabajadores operativos agrícolas, ya que el proyecto no intervino en las actividades de producción ni en el manejo del riego.

3.2.2.2. Muestra

En este estudio no se seleccionó una muestra, ya que el tamaño de la población fue reducido y completamente accesible. Se trabajó con la totalidad de los involucrados, lo que permitió obtener información directa y completa sin la necesidad de aplicar técnicas de muestreo probabilístico o no probabilístico. Esto facilitó una validación cualitativa más precisa sobre la utilidad del sistema propuesto.

3.2.3. Análisis estadístico

En este proyecto no se realizó un análisis estadístico, ya que se enfocó en verificar el funcionamiento básico de un prototipo IoT para el monitoreo de la evapotranspiración. Los datos ambientales fueron recolectados automáticamente mediante sensores y se visualizaron en tablas o gráficos simples para comparar su comportamiento con las lecturas del tanque evaporímetro Clase A.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de los requerimientos técnicos para el desarrollo del prototipo IoT de monitoreo de la evapotranspiración

Para identificar las necesidades reales del sistema, se aplicó una entrevista al propietario de la finca San Jacinto y una encuesta a los dos trabajadores agrícolas. A través de estos instrumentos fue posible conocer cómo se realiza actualmente la medición de la evaporación y bajo qué criterios se toman las decisiones relacionadas con el riego (**Ver anexo. Figura 3-7**).

La información recopilada permitió constatar que el control del tanque evaporímetro Clase A se lleva a cabo de forma manual y con una frecuencia variable, lo que puede generar diferencias en los registros debido a la disponibilidad de tiempo y a las condiciones ambientales del momento. Además, se evidenció que factores como la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento influyen directamente en la pérdida de agua, aunque no se registran de manera continua.

Con base en este análisis, se definió que el prototipo debía incorporar un sistema capaz de medir automáticamente el nivel de agua del tanque y registrar de forma constante las variables climáticas asociadas a la evapotranspiración. Para ello, se consideró adecuado el uso de un sensor digital SHT31-D para la medición de temperatura y humedad relativa, debido a su estabilidad y precisión en condiciones variables. Asimismo, se contempló un sensor de radiación solar con comunicación RS485, recomendable para entornos agrícolas donde se requiere una transmisión de datos más confiable, y un anemómetro para registrar la velocidad del viento, variable estrechamente vinculada al incremento de la evaporación.

En relación con el nivel del agua, se planteó la utilización de un sensor sumergible con salida de 4–20 mA, tipo de señal ampliamente empleado en aplicaciones industriales por su estabilidad frente a interferencias. Este sistema se complementa con sensores de flotador para controlar los niveles mínimo y máximo, garantizando seguridad operativa y una referencia física constante dentro del tanque.

Respecto a la unidad de procesamiento, se adoptó una plataforma que ofreciera múltiples interfaces de comunicación, buena capacidad de lectura analógica y conectividad inalámbrica integrada para la transmisión remota de datos. En función de estas características, se optó por la placa Arduino GIGA R1 WiFi, ya que dispone de mayor capacidad de procesamiento, un amplio número de pines y soporte simultáneo para protocolos como I2C y RS485, además de conectividad WiFi-incorporada. Estas prestaciones la hacen más adecuada para integrar varios sensores y manejar comunicaciones múltiples en comparación con placas de menor alcance orientadas a aplicaciones más básicas (**Ver anexo. Tabla 1**).

En conjunto, este análisis permitió definir los criterios técnicos necesarios para el desarrollo del prototipo IoT, asegurando que su planteamiento respondiera a las condiciones reales del entorno agrícola y a las necesidades identificadas durante la etapa diagnóstica.

4.2. Arquitectura electrónica del prototipo mediante el uso de Fritzing para la integración de sensores, microcontroladores y módulos de comunicación

El esquema de conexiones elaborado en Fritzing sirvió como base para organizar la integración eléctrica del sistema antes del montaje físico (**Ver anexo. Figura 2**).

La alimentación se estructura al momento de una fuente principal de 24 V DC, desde la cual se distribuye energía hacia los distintos módulos. Mediante convertidores LM2596 se obtienen 12 V para la válvula solenoide y 5 V para el microcontrolador y los sensores. Esta división de voltajes ayuda a separar las cargas de mayor consumo y contribuye a mantener estabilidad en las señales de medición.

El Arduino GIGA R1 WiFi actúa como núcleo del sistema, recibiendo y procesando la información proveniente de los sensores. El SHT31-D opera bajo protocolo I2C para el registro de temperatura y humedad relativa, mientras que el sensor de radiación solar y el anemómetro trabajan con señales analógicas de 0–5 V conectadas a las entradas correspondientes de la placa.

La medición del nivel de agua se basa en una señal industrial de 4–20 mA, adaptada mediante el módulo correspondiente para su lectura adecuada por el

microcontrolador. Para dispositivos con comunicación RS485 se utilizan convertidores a TTL, garantizando compatibilidad eléctrica con la placa.

El sistema incorpora además un sensor de flotador normalmente abierto, empleado como referencia física de nivel y apoyo al monitoreo continuo del tanque.

La disposición del cableado fue planificada considerando rutas internas, punto de tierra común y ubicación estratégica de los módulos dentro de la caja IP65, lo que facilita una instalación ordenada y reduce riesgos eléctricos durante el montaje.

4.3. Implementación del prototipo IoT en condiciones reales de campo y verificación de su operatividad y precisión en la transmisión de datos

El prototipo IoT fue implementado en la finca “San Jacinto” con el propósito de evaluar su desempeño en condiciones reales de operación y comprobar la confiabilidad de las mediciones registradas. Durante la fase experimental, el sistema permaneció en funcionamiento continuo, registrando las variaciones ambientales propias del entorno agrícola (**Ver anexo. Figura 8**).

Las mediciones de temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y nivel del tanque evaporímetro se mantuvieron estables y coherentes con el comportamiento climático habitual del sector. La lectura constante de estas variables permitió observar la respuesta del sistema frente a cambios ambientales diarios.

En relación con el nivel de agua del tanque evaporímetro Clase A, las variaciones registradas siguieron el patrón esperado del proceso natural de evaporación. Al comparar estos datos con las anotaciones manuales realizadas por el propietario, se identificó correspondencia general entre ambos métodos de medición (**Ver anexo. Figura 9**), lo que respalda la consistencia del sistema automatizado.

Mientras que el método convencional se realiza una vez al día y en horarios variables, el prototipo permitió establecer lecturas programadas en un horario fijo, manteniendo uniformidad en la recolección de datos sin modificar la dinámica habitual de trabajo en la finca.

La información capturada fue almacenada y presentada mediante reportes digitales que permiten visualizar el comportamiento histórico de las variables ambientales registradas (**Ver anexo. Figura 10**). A partir de estos datos se calculó la evapotranspiración referencial (ET_o), utilizada como parámetro técnico para la activación del sistema de riego automatizado.

Para la toma de decisiones de riego se establecieron tres rangos de referencia basados en la pérdida de agua por evaporación registrada en el tanque evaporímetro Clase A. Cuando la evaporación se mantuvo entre 0.00 cm y 0.40 cm, el sistema consideró que no era necesario realizar riego. Valores comprendidos entre 0.41 cm y 0.69 cm fueron clasificados como estado de observación, indicando un aumento moderado en la pérdida de agua. Finalmente, valores superiores a 0.70 cm activaron la condición de riego, debido a la mayor demanda hídrica del cultivo. Esta configuración permitió relacionar las variaciones de evaporación con el comportamiento hídrico del entorno agrícola, facilitando una respuesta automatizada acorde a las condiciones registradas (**Ver anexo. Tabla 3**).

En el cultivo de banano, el suelo debe mantenerse cercano a su capacidad de campo, evitando descensos prolongados que puedan generar estrés hídrico. Para el sistema implementado se definieron tres rangos de referencia basados en la calibración del sensor en campo: valores inferiores a 450 unidades indicaron humedad adecuada; valores entre 450 y 650 representaron un nivel intermedio; y valores superiores a 650 señalaron condición crítica de humedad, activando el riego automatizado. Esta configuración permitió mantener el suelo dentro de un rango favorable para el desarrollo del cultivo, evitando tanto el exceso como el déficit de agua (**Ver anexo. Figura 12**).

El código desarrollado en el entorno Arduino IDE permitió configurar la lectura periódica de los sensores y el envío automatizado de datos hacia la plataforma digital (**Ver anexo. Figura 13**). Durante la etapa de evaluación no se evidenciaron interrupciones significativas en la transmisión, lo que confirma la estabilidad de la comunicación inalámbrica en condiciones reales de campo.

La implementación permitió verificar la operatividad del prototipo, la consistencia en la recolección de datos y la continuidad en su transmisión, cumpliendo con el objetivo planteado para esta etapa del proyecto.

5. DISCUSIÓN

En el prototipo desarrollado en la finca San Jacinto se han incorporado sensores que miden la temperatura y la humedad (SHT31-D), así como dispositivos para registrar la radiación solar, la velocidad del viento y el nivel de agua en un tanque Clase A. Estos componentes fueron elegidos por su compatibilidad con Arduino GIGA R1, su disponibilidad en el mercado local y su capacidad para funcionar eficazmente en condiciones de campo. Esta elección respalda lo afirmado por Kumar et al. (2022), quienes destacan que los sensores ambientales de bajo consumo y alta precisión son fundamentales en los sistemas de agricultura de precisión, ya que facilitan el monitoreo continuo de las variables climáticas relevantes para el riego.

Además, la incorporación del tanque evaporímetro Clase A como un referente físico se alinea con investigaciones previas que subrayan su utilidad en entornos rurales, donde no siempre hay acceso a estaciones meteorológicas completas. Según Bashir et al. (2023), este tanque sigue siendo una herramienta adecuada para validar o complementar sistemas avanzados de estimación de evapotranspiración, lo que coincide con su función dentro del prototipo al servir como soporte adicional a las mediciones digitales.

Por otro lado, la combinación de un sensor sumergible de 4–20 mA junto con sensores de flotador para controlar el nivel del agua en el tanque responde a la necesidad de disponer de señales robustas frente a interferencias, así como elementos mecánicos simples que faciliten el mantenimiento local. Esta estrategia está en consonancia con las recomendaciones de Pargo et al. (2025), quienes sugieren que los sistemas inteligentes de riego deben incluir sensores confiables y fáciles de reemplazar, adaptados a las condiciones reales de explotación, especialmente cuando se busca disminuir la dependencia de equipos sofisticados.

La arquitectura electrónica creada en Fritzing integra la placa Arduino GIGA R1, una fuente de 24 V, módulos LM2596, junto con sensores y actuadores dentro de una única caja IP65. Este diseño busca lograr un ensamblaje compacto, seguro y que facilite el mantenimiento. Esta estrategia se alinea con las recomendaciones de Chew et al. (2020), quienes indican que una planificación adecuada del cableado y la disposición física de los componentes en sistemas IoT simplifica el proceso de

montaje, minimiza errores de conexión y mejora la estabilidad operativa del sistema.

El uso de la placa Arduino GIGA R1 WiFi como núcleo central permite el procesamiento eficiente de señales provenientes de todos los sensores, a la vez que transmite datos a una aplicación web en tiempo real. Esto abarca funciones como la lectura, el cálculo de evapotranspiración y la transmisión inalámbrica dentro de un único dispositivo. Asif et al. (2023) resaltan que las placas microcontroladoras con conectividad incorporada son particularmente idóneas para aplicaciones de monitoreo agrícola, dado que eliminan la necesidad de módulos adicionales y soportan arquitecturas complejas con múltiples sensores y comunicación IoT, lo cual respalda la elección hecha en este prototipo.

Asimismo, optar por una fuente de 24 V junto con módulos reductores LM2596 para obtener tensiones de 12 V y 5 V garantiza una distribución energética confiable para bombas, válvulas, sensores y sistemas electrónicos de control. Este enfoque está respaldado por las observaciones realizadas por Sharma y Verma (2023), quienes enfatizan la relevancia de contar con una etapa de alimentación correctamente dimensionada y protegida para asegurar el funcionamiento continuo en sistemas automatizados de riego, evitando caídas en el voltaje que pudieran comprometer tanto la lectura sensorística como el rendimiento operativo de los actuadores.

Durante la implementación en la finca San Jacinto, las lecturas del sistema IoT se mantuvieron constantes y coincidieron con los registros manuales del propietario sobre el nivel del tanque Clase A. Esto sugiere que el prototipo está calculando de manera eficaz la evapotranspiración de referencia según las condiciones locales. Esta concordancia es similar a lo que reporta Molina (2024), quien señala que los sistemas automatizados de riego en cultivos tropicales mejoran la coherencia y continuidad de los datos en comparación con los registros manuales, minimizando vacíos informativos y errores derivados de la disponibilidad del personal.

El funcionamiento ininterrumpido del prototipo, junto con el almacenamiento de datos en una plataforma web accesible desde cualquier dispositivo, se alinea con las experiencias documentadas por Li et al. (2025) y Cepeda et al. (2025). Estos

estudios destacan que la integración de IoT en la agricultura proporciona información climática y sobre el estado del riego en tiempo real, lo cual facilita la toma de decisiones y optimiza el uso del agua. En el contexto de la finca San Jacinto, esta característica permite comparar días secos y húmedos, identificar períodos con mayor demanda hídrica y ajustar oportunamente el momento para activar la bomba o electroválvula.

Por último, la activación automática del riego al detectar mediante sensores de humedad del suelo niveles inferiores al umbral establecido refleja un enfoque basado en las condiciones reales tanto del suelo como de la atmósfera, propuesto por Saghafian et al. (2023) y Pargo et al. (2025). Estos autores argumentan que los sistemas inteligentes que combinan monitoreo ambiental con criterios automáticos para su activación contribuyen a un manejo más eficiente del riego y a disminuir el desperdicio de agua, objetivos también observados en el rendimiento del sistema AquaMonitor en la finca San Jacinto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El análisis de los requerimientos técnicos permitió establecer que el tanque evaporímetro Clase A es el elemento principal del sistema y que los sensores y la plataforma IoT se seleccionaron para automatizar y asegurar un monitoreo continuo y confiable de su nivel de agua y de las variables ambientales que influyen en la evaporación, garantizando así la viabilidad técnica del prototipo en las condiciones reales de la finca San Jacinto.

El diseño de la arquitectura electrónica mediante Fritzing permitió definir de forma clara y ordenada la integración entre el microcontrolador, los sensores ambientales y los módulos de comunicación, estableciendo una estructura coherente para el registro y envío de los datos de evapotranspiración. Esta organización del sistema facilitó el montaje físico del prototipo y aseguró la compatibilidad eléctrica y funcional entre los componentes seleccionados.

La implementación del prototipo IoT en la finca San Jacinto permitió comprobar su correcto funcionamiento en condiciones reales de campo, evidenciando estabilidad en la recolección de datos y continuidad en su transmisión hacia la plataforma digital. Las mediciones obtenidas se mantuvieron coherentes con el comportamiento esperado de las variables ambientales y del nivel del tanque, lo que confirma la operatividad y precisión del sistema para el monitoreo automatizado.

6.2. Recomendaciones

Mantener el sistema de llenado automático y de lectura del tanque evaporímetro Clase A junto con los sensores ambientales en condiciones adecuadas de operación y calibración, con el fin de asegurar que el monitoreo continuo del nivel de agua y de las variables climáticas se realice de forma confiable y represente correctamente las condiciones reales de la finca San Jacinto.

Conservar el esquema electrónico desarrollado en Fritzing como referencia técnica del sistema y verificar su correcta aplicación durante el montaje o futuras modificaciones, a fin de mantener la integridad de las conexiones y asegurar el funcionamiento estable del registro y la transmisión de datos de evapotranspiración.

Mantener el prototipo en operación continua y realizar revisiones periódicas del sistema de sensores y de la comunicación, con el propósito de conservar la estabilidad en la recolección de datos y asegurar la precisión y confiabilidad de la transmisión de la información registrada en condiciones reales de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Al Hamwi, W., Dubbert, M., Schaller, J., Lück, M., Schmidt, M., y Hoffmann, M. (2024). Technical note: A low-cost, automatic soil–plant–atmosphere enclosure system to investigate CO₂ and evapotranspiration flux dynamics. *Biogeosciences*, 2(1), 39-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/bg-21-5639-2024>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2022). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO FIAT PANIS.
- Asif, M., Saeed, M., Saidani, O., Javed, T., Almuqren, L., Nawaz, R., y Jahangir, R. (2023). IoT and Ensemble Long-Short-Term-Memory-Based Evapotranspiration Forecasting for Riyadh. *MDPI*, 23(17), 32-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23177583>
- Asiimwe, G. (2022). Journal of Irrigation and Drainage Engineering. *ASCE*, 148(6), 3-4. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001668](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001668)
- Bashir, R. N., Saeed, M., Al-Sarem, M., Marie, R., Faheem, M., Karrar, A. E., y Elhussein, B. (2023). Smart reference evapotranspiration using Internet of Things and hybrid ensemble machine learning approach. *Internet of Things*, 24(3), 23-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100962>
- Cepeda, C., Paredes, A., y Hidalgo, W. (2025). Estudio de sistemas inteligentes basados en sensores IoT en agricultura. *Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 10(2), 15-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.63380/hij.v3n2.2025.134>
- Chew, K., Ling, S., Lee, W., y Tan, K. (2020). IoT Soil Moisture Monitoring and Irrigation System Development. *ICSCA*, 4(20), 13-15. <https://doi.org/10.1145/3384544.3384595>
- Chile, M., y Ortiz, R. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 7-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Arts. 318 y 411. *Constitución de la República del Ecuador*. Quito, Ecuador.

- Dong, Y., Werling, B., Cao, Z., y Li, G. (2024). Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management. *Frontiers*, 6(4), 14-16. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1353597>
- Gabhane, D., Gade, S., Gadekar, A., Gade, A., y Gabale, P. (2023). *Smart Irrigation using Soil Moisture Sensor*. IJNRD.
- Grismer, M., y Snyder, R. (2020). Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration Conversion Methods. *GeoSciences*, 128(3), 12-15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2002\)128:3\(180\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:3(180))
- Gusmerotti, L., Gattinoni, N., Di Bella, C., y Mercau, J. (2024). Predicción de la evapotranspiración de referencia mediante NASA-POWER: contraste con estaciones meteorológicas en el sudeste de Córdoba. *SADIO. Electronic Journal of Informatics and Operations Research*, 6(2), 21-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.24215/15146774e050>
- Herrera, J., González, F., Sarmiento, O., Cun, R., Chaterlán, Y., y Cisneros, E. (2024). Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia en la provincia Artemisa. *Ingeniería Agrícola*, 14(1), 11-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.3354/cr030079>
- Ingrao, C., Siracusa, V., y Tricase, C. (2022). Water footprint and evapotranspiration in irrigated agriculture. *Agronomy*, 15(10), 45-68. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy15102282>
- Kumar, R., Patel, N., y Singh, Y. (2022). Environmental sensing systems for precision agriculture: Technologies and applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 334(12), 11-15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47180-3_50
- Ley Orgánica de Educación Superior. (2010). Art. 97. *Ley Orgánica de Educación Superior*. Quito, Ecuador.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). Arts. 4 y 16. *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Quito, Ecuador.

- Li, W., y Tartakovsky, D. (2023). Fast and Accurate Estimation of Evapotranspiration for Smart Agriculture. *Water Resources Research*, 13(2), 23-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2023WR034535>
- Olivera, G., y Kuennen, G. (2023). Sensores y aplicaciones de IoT en entornos agrícolas. *Revista Invecom*, 14(2), 55-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.15809119>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Evapotranspiración del cultivo*. FAO FIAT PANIS.
- Ortiz, R., Tamayo, C., Chile, M., y Méndez, A. (2020). Coeficiente del tanque evaporimetro Clase A para estimar la evapotranspiracion de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 5(1), 16-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1424>
- Pargo, T. A., Shirazi, M. A., y Fadai, D. (2025). Smart and Efficient IoT-Based Irrigation System Design: Utilizing a Hybrid Agent-Based and System Dynamics Approach. *arXiv*, 4(2), 32-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18298>
- Pereira, L., Allen, R., Raes, D., y Smith, M. (2023). *Guía técnica para calcular las necesidades hídricas de los cultivos mediante la estimación de la evapotranspiración*. FAO FIAT PANIS.
- Reglamento Ambiental del Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). Disposiciones generales. Quito, Ecuador.
- Robles, K. (2024). *Análisis de la eficiencia de riego mediante un sistema automatizado en el cultivo de Raphanus sativus bajo condiciones de invernadero [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28899>
- Thornthwaite, C. (2025). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *JSTOR*, 38(1), 55-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/210739>
- Vaz, P., Schütz, G., Guerrero, C., y Cardoso, P. (2024). Impact of Employing Weather Forecast Data as Input to the Estimation of Evapotranspiration by

Deep Neural Network Models. *arXiv*, 3(2), 32-36.
<https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.18489>

Wang, C. (2024). Intelligent Agricultural Greenhouse Control System Based on Internet of Things and Machine Learning. *arXiv*, 3(1), 23-25.
<https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.09488>

Zhengguang, Z., Dongmei, Z., Qing, L., y Yanjun, L. (2024). Smart reference evapotranspiration using Internet of Things and hybrid ensemble machine learning approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 3(2), 12-17.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100962>

ANEXOS**Anexo N° 1. Modelo de entrevista para el propietario**

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN

Objetivo: Recoger apreciaciones cualitativas sobre las condiciones actuales de manejo del riego y las expectativas, utilidad y facilidad de uso del sistema automatizado de monitoreo de evapotranspiración propuesto.

1. ¿Actualmente se lleva algún control sobre el clima o el agua evaporada en la finca?

2. ¿Cómo decide usted cuándo regar los cultivos o cuándo detener el riego?

3. ¿Conoce o ha escuchado sobre el tanque evaporímetro Clase A?

4. ¿Cree que sería útil contar con un sistema que registre automáticamente la temperatura, humedad, radiación y viento en la finca?

5. ¿Qué opinión le genera la idea de visualizar los datos desde una plataforma digital o celular?

6. ¿Considera que un sistema así podría facilitar la toma de decisiones sobre el manejo del agua?

7. ¿Qué ventajas o desventajas cree que tendría este tipo de tecnología en su finca?

8. ¿Qué tan dispuesto/a estaría a usar un sistema así, si fuera de uso sencillo?

9. ¿Qué otros elementos consideran importantes que deberían incluirse en este tipo de proyecto?

10. ¿Le gustaría recibir algún tipo de resumen o informe diario/semanal sobre las condiciones climáticas?

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 2. Modelo de encuesta para los trabajadores

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN

Objetivo: Conocer los hábitos actuales, conocimientos básicos y disposición de los trabajadores frente a la incorporación de un sistema automatizado de monitoreo.

1. ¿Realiza usted tareas relacionadas con el riego?

- Sí, siempre
- Algunas veces
- No, nunca

2. ¿Cómo decide usted cuándo regar los cultivos?

- Observando el suelo o las plantas
- Por instrucciones del encargado
- Por experiencia personal
- No me corresponde decidir

3. ¿Conoce usted el tanque evaporímetro Clase A?

- Sí
- No

4. ¿Ha usado antes algún sensor o equipo electrónico en el trabajo agrícola?

- Sí
- No
- No estoy seguro

5. ¿Qué tan difícil cree que sería manejar un sistema automático de medición de clima?

- Muy fácil
- Fácil
- Difícil
- Muy difícil

6. ¿Estaría dispuesto a aprender cómo funciona este sistema si ayuda a mejorar el riego?

- Sí
- No
- Tal vez

7. ¿Cuál de las siguientes variables cree que afecta más el riego? (Puede marcar más de una)

- Temperatura
- Humedad del aire
- Viento
- Radiación solar
- Nivel de agua disponible

8. ¿Le gustaría recibir alertas o mensajes sobre el clima o el riego?

- Sí, por celular
- Sí, en la finca
- No me interesa

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 3: Componentes electrónicos y sensores del sistema**Tabla 1.****Componentes electrónicos y sensores del sistema**

N°	Componente	Modelo/Referencia	Función principal	cantidad
1	Tanque evaporímetro Clase A	Estándar FAO	Medición de evaporación.	1
2	Placa microcontrolador	Arduino GIGA R1	Procesamiento y envío de datos.	1
3	Sensor de temperatura y humedad	SHT31-D	Registro de temperatura y humedad del aire.	1
4	Sensor de radiación solar	RS485 Solar Sensor	Medición de radiación incidente.	1
5	Sensor de velocidad de viento	Anemómetro	Captura de velocidad de viento.	1
6	Sensor de nivel sumergible	4–20 mA	Registro del nivel de agua en el tanque.	1
7	Sensor de nivel tipo flotador	Flotador horizontal	Verificación de nivel mínimo y máximo.	2
8	Fuente de alimentación	24 V DC	Alimentación general.	1
9	Módulo reductor	LM2596	Conversión de voltaje.	2
10	Caja de protección	IP65	Protección del sistema.	1
11	Cables, conectores y terminales	Varios	Conexiones eléctricas.	Varios

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 4: Ejemplo de visualización de datos en la aplicación web

Tabla 2.

Ejemplo de visualización de datos en la aplicación web

Fecha y hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Nivel Agua (cm)	Viento (m/s)	Radiación (W/m ²)
11/12/2025 09:00	18.0	95	20.3	0.3	110
12/12/2025 09:00	24.0	80	20.0	1.0	300
13/12/2025 9:00	31.0	40	19.7	2.2	580

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 5: Área destinada al monitoreo (Finca San Jacinto)

Figura 1.

Área destinada al monitoreo (Finca San Jacinto)

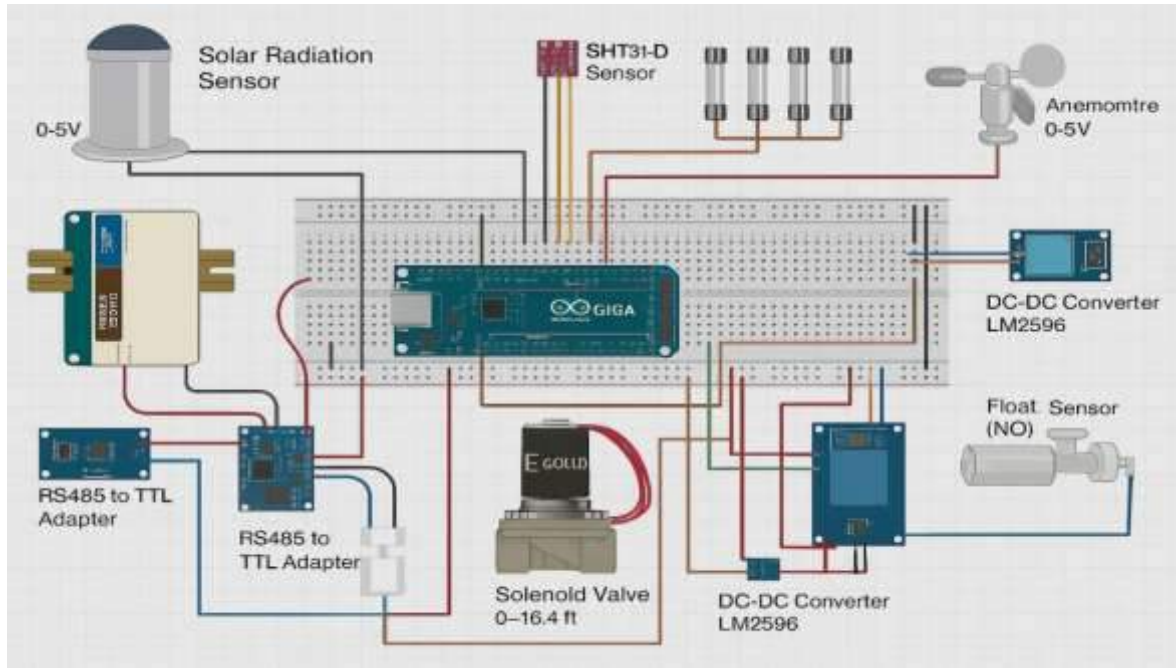


Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 6: Diagrama de conexión del prototipo IoT

Figura 2.

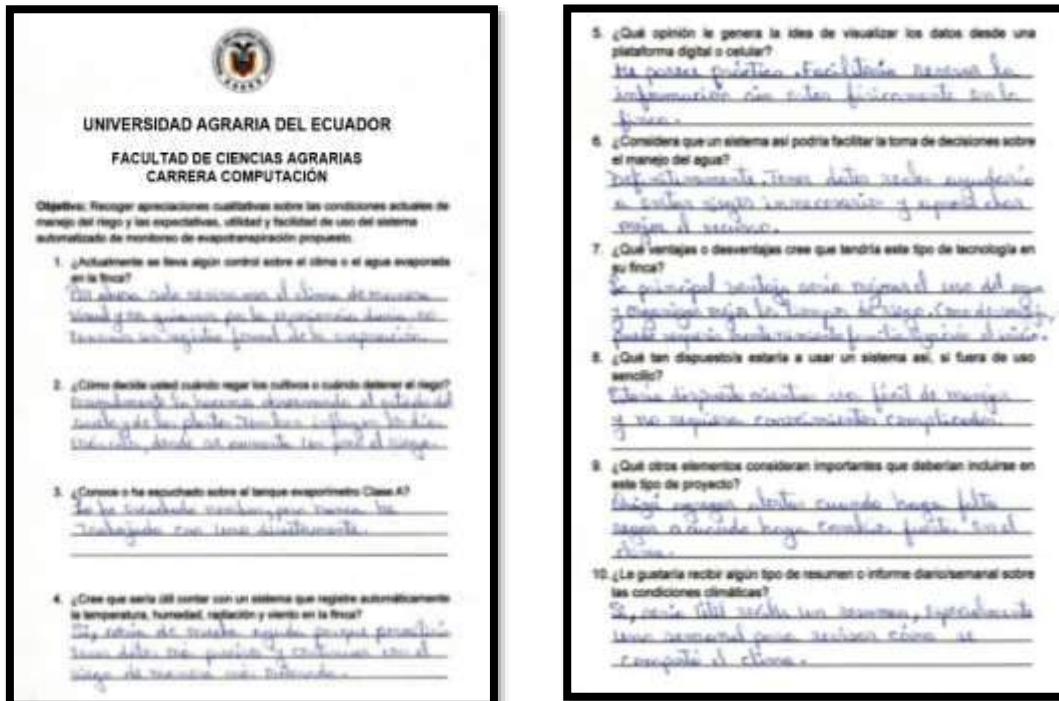
Diagrama de conexión del prototipo IoT



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 7: Encuesta realizada al propietario


Figura 3. Encuesta Realizada al propietario



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 8: Encuesta realizada al primer trabajador

Figura 4.

Encuesta Realizada al primer trabajador

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN

Objetivo: Conocer los hábitos actuales, conocimientos básicos y disposición de los trabajadores frente a la incorporación de un sistema automatizado de monitoreo.

1. ¿Realiza usted tareas relacionadas con el riego?

Sí, siempre

Algunas veces

No, nunca

2. ¿Cómo decide usted cuándo regar los cultivos?

Observando el suelo o las plantas

Por instrucciones del encargado

Por experiencia personal

No me corresponde decidir

3. ¿Conoce usted el tanque evaporímetro Clase A?

Sí

No

4. ¿Ha usado antes algún sensor o equipo electrónico en el trabajo agrícola?

Sí

No

No estoy seguro

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 5.

Encuesta Realizada al primer trabajador (segunda página)

5. ¿Qué tan difícil cree que sería manejar un sistema automático de medición de clima?

Muy fácil

Fácil

Difícil

Muy difícil

6. ¿Estaría dispuesto a aprender cómo funciona este sistema si ayuda a mejorar el riego?

Sí

No

Tal vez

7. ¿Cuál de las siguientes variables cree que afecta más el riego? (Puede marcar más de una)

Temperatura

Humedad del aire

Viento

Radiación solar

Nivel de agua disponible

8. ¿Le gustaría recibir alertas o mensajes sobre el clima o el riego?

Sí, por celular


Sí, en la finca

No me interesa

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 9: Encuesta realizada al segundo trabajador

Figura 6.

Encuesta Realizada al segundo trabajador

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN

Objetivo: Conocer los hábitos actuales, conocimientos básicos y disposición de los trabajadores frente a la incorporación de un sistema automatizado de monitoreo.

1. ¿Realiza usted tareas relacionadas con el riego?

Sí, siempre

Algunas veces

No, nunca

2. ¿Cómo decide usted cuándo regar los cultivos?

Observando el suelo o las plantas

Por instrucciones del encargado

Por experiencia personal

No me corresponde decidir

3. ¿Conoce usted el tanque evaporímetro Clase A?

Sí

No

4. ¿Ha usado antes algún sensor o equipo electrónico en el trabajo agrícola?

Sí

No

No estoy seguro

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 7.

Encuesta Realizada al segundo trabajador (segunda página)

5. ¿Qué tan difícil cree que sería manejar un sistema automático de medición de clima?

Muy fácil

Fácil

Difícil

Muy difícil

6. ¿Estaría dispuesto a aprender cómo funciona este sistema si ayuda a mejorar el riego?

Sí

No

Tal vez

7. ¿Cuál de las siguientes variables cree que afecta más el riego? (Puede marcar más de una)

Temperatura

Humedad del aire

Viento

Radiación solar

Nivel de agua disponible

8. ¿Le gustaría recibir alertas o mensajes sobre el clima o el riego?

Sí, por celular

Sí, en la finca

No me interesa

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 10: Prototipo del tanque evaporímetro con sistema de sensores instalado

Figura 8.

Prototipo del tanque evaporímetro con sistema de sensores instalado



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 11: Registro manual del dueño de la finca

Figura 9.

Registro manual del dueño de la finca

Fecha	Hora de revisión	Nivel inicial de agua (cm)	Nivel final de agua (cm)	Evaporación estimada (cm)	Decisión de riego
01/06/2024	01:40	15.0	14.5	0.5	Riego
02/06/2024	06:00	15.0	14.5	0.5	No Riego
03/06/2024	01:35	15.0	14.1	0.9	Riego
04/06/2024	01:50	15.0	14.0	1.0	Riego
05/06/2024	01:30	15.0	14.2	0.8	Riego
06/06/2024	01:40	15.0	14.0	1.0	Riego
07/06/2024	06:10	15.0	14.5	0.5	No Riego
08/06/2024	01:50	15.0	14.9	0.1	Riego
09/06/2024	06:30	15.0	14.6	0.4	No Riego
10/06/2024	01:45	15.0	14.2	0.8	Riego
11/06/2024	05:05	15.0	14.4	0.6	No Riego
12/06/2024	01:35	15.0	14.1	0.9	Riego
13/06/2024	01:50	15.0	14.0	1.0	Riego
14/06/2024	06:30	15.0	14.6	0.4	No Riego
15/06/2024	01:40	15.0	14.3	0.7	Riego
16/06/2024	06:00	15.0	14.5	0.5	No Riego
17/06/2024	01:30	15.0	14.1	0.9	Riego
18/06/2024	01:45	15.0	14.0	1.0	Riego
19/06/2024	06:40	15.0	14.4	0.6	No Riego
20/06/2024	01:35	15.0	14.2	0.8	Riego
21/06/2024	06:15	15.0	14.6	0.4	No Riego
22/06/2024	01:40	15.0	14.1	0.9	Riego
23/06/2024	01:55	15.0	14.0	1.0	Riego
24/06/2024	06:45	15.0	14.5	0.5	No Riego
25/06/2024	01:30	15.0	14.2	0.8	Riego
26/06/2024	01:50	15.0	14.0	1.0	Riego
27/06/2024	06:30	15.0	14.6	0.4	No Riego
28/06/2024	01:35	15.0	14.1	0.9	Riego
29/06/2024	01:45	15.0	14.3	0.7	Riego
30/06/2024	06:00	15.0	14.5	0.5	No Riego

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 12: Reporte generado por el sistema AquaMonitor

Tabla 3.

Reporte automático de balance hídrico generado por el sistema AquaMonitor.

Fecha	Hora	Nivel inicial de agua (cm)	Nivel final de agua (cm)	Evaporación estimada (cm)	ETo (mm)	Agua aplicada (L)	Decisión de riego
04/05/2026	09:00	20.00	15.25	4.75	5.21	30.00	Regar
05/05/2026	09:00	20.00	15.57	4.43	7.19	41.00	Regar
06/05/2026	09:00	20.00	19.34	0.66	7.31	42.00	Observación
07/05/2026	09:00	20.00	20.02	-0.02	6.28	36.00	No regar
08/05/2026	09:00	20.00	19.06	0.94	7.93	45.00	Regar
09/05/2026	09:00	20.00	19.46	0.54	6.82	49.00	Observación
10/05/2026	09:00	20.00	19.58	0.42	5.21	37.00	Observación
11/05/2026	09:00	20.00	19.24	0.76	7.44	53.00	Regar
12/05/2026	09:00	20.00	19.12	0.88	7.88	56.00	Regar

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 13: Modulo reporte digital del sistema IoT del tanque evaporímetro Clase A

Figura 10.

Modulo reporte digital del sistema IoT del tanque evaporímetro Clase A



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 14: Instalación del sistema de riego y sensores en el área experimental

Figura 11.

Instalación del sistema de riego y sensores en el área experimental



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 15: Código en IDE de Arduino

Figura 12.

Código de IDE de Arduino

```

1 #include <WiFi.h> // WiFi: internet GIGA BL
2 #include <ArduinoHttpClient.h> // Para HTTPS
3 #include <Wire.h>
4 #include "Adafruit_SHT31.h"
5
6 Adafruit_SHT31 sht31 = Adafruit_SHT31();
7
8 // ===== CONFIG. WIFI =====
9 const char* ssid = "Andrew"; // <- TU SSID
10 const char* password = "005825014"; // <- TU CONTRASEÑA
11
12 // ===== CONFIG. FIREBASE =====
13 const char* firebaseHost = "equamonitor-4ec75-default-rtdb.firebaseio.com";
14 const char* firebaseSecret = "AIzaSyAhl0uW52rFYSzXwXdf1YgIRSc1KPLj88HU";
15 const char* deviceId = "giga-r1-san-jacinto-01"; // el que usa tu dashboard
16
17 WiFiClient wifi; // cliente SSL para HTTPS (puerto 443)
18 HttpClient client(wifi, firebaseHost, 443);
19
20 unsigned long lastSend = 0;
21 const unsigned long sendInterval = 10000; // enviar cada 10 s
22
23 void setup() {
24   Serial.begin(115200);
25   delay(1000);
26
27   Serial.println("Iniciando GIGA + SHT31 + Firebase...");
28
29   // ---- SHT31 ----
30   if (!sht31.begin(0x44)) { // dirección que viene por el scanner
31     Serial.println("❌ No se detecta el SHT31");
32     while (1) delay(1);
33   }
34   Serial.println("✅ SHT31 detectado");
35
36   // ---- WIFI ----
37   Serial.println("Conectando a WiFi:");
38   Serial.println(ssid);

```

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 16: Resultados de la encuesta (Tablas y gráficos)

Tabla 4. Resultados de la pregunta 1. ¿Realiza usted tareas relacionadas con el riego?

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Sí, siempre	1	50%
Algunas veces	1	50%
No, nunca	0	0%
Total	2	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 13. Distribución porcentual de la pregunta 1 de la encuesta



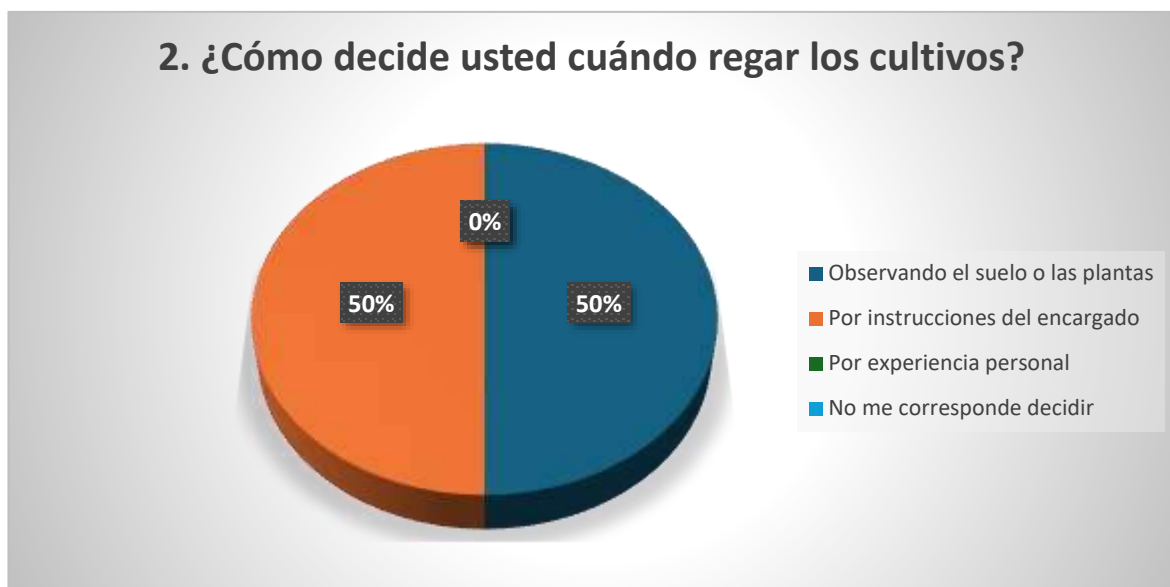
Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 5. Resultados de la pregunta 2. ¿Cómo decide usted cuándo regar los cultivos?

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Observando el suelo o las plantas	1	50%
Por instrucciones del encargado	1	50%
Por experiencia personal	0	0%
No me corresponde decidir	0	0%
Total	2	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 14. *Distribución porcentual de la pregunta 2 de la encuesta*



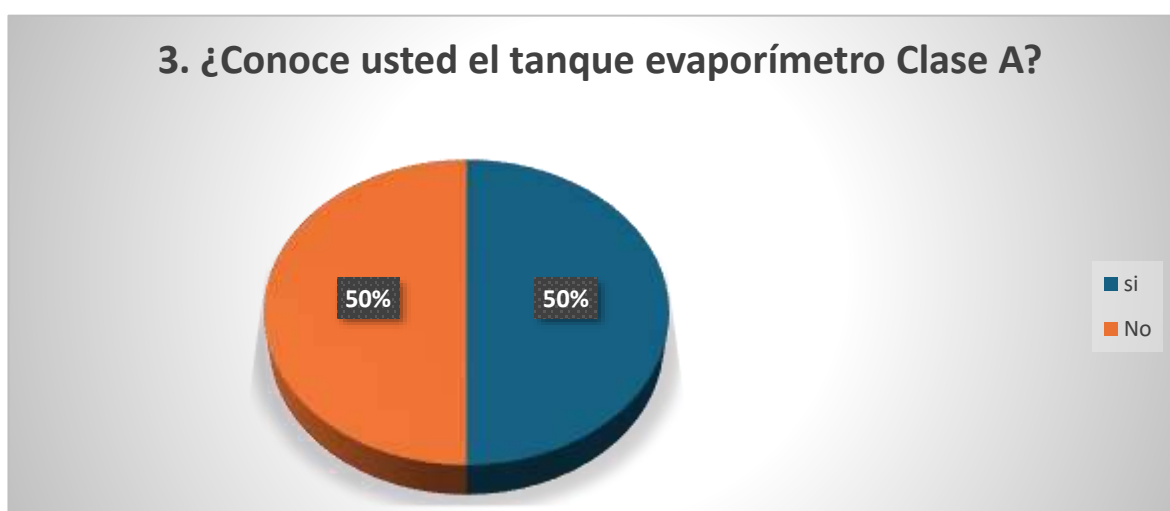
Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 6. *Resultados de la pregunta 3. ¿Conoce usted el tanque evaporímetro Clase A?*

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Sí	1	50%
No	1	50%
Total	2	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 15. *Distribución porcentual de la pregunta 3 de la encuesta*



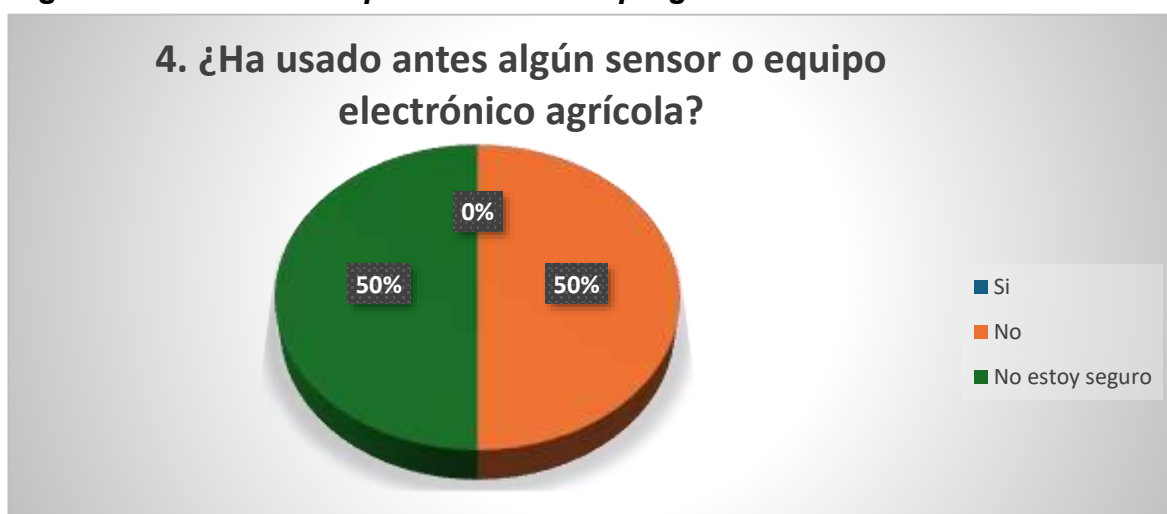
Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 7. Resultados de la pregunta 4. ¿Ha usado antes algún sensor o equipo electrónico en el trabajo agrícola?

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Sí	0	0%
No	1	50%
No estoy seguro	1	50%
Total	2	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 16. Distribución porcentual de la pregunta 4 de la encuesta



Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 8. Resultados de la pregunta 5. ¿Qué tan difícil cree que sería manejar un sistema automático de medición de clima?

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Sí	0	0%
No	1	50%
No estoy seguro	1	50%
Total	2	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 17. Distribución porcentual de la pregunta 5 de la encuesta



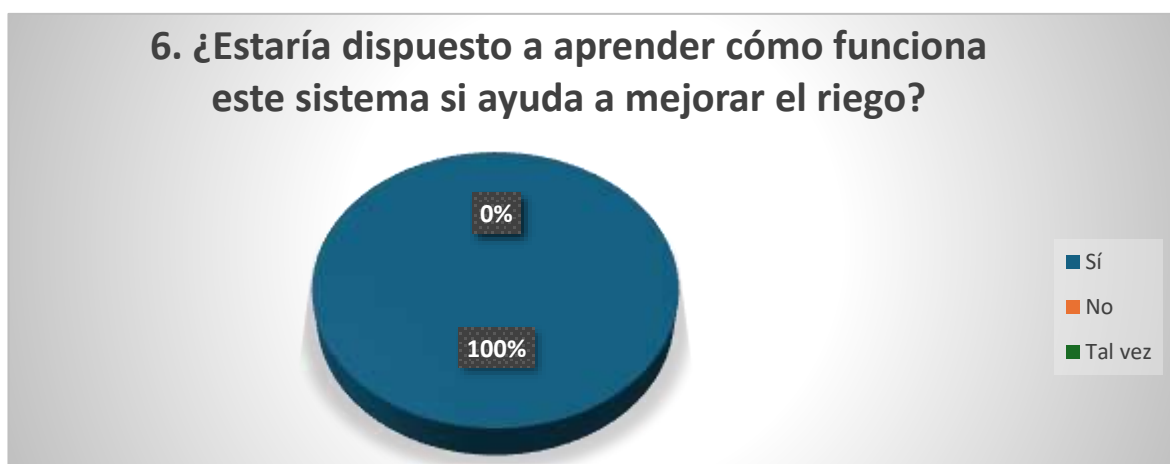
Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 9. Resultados de la pregunta 6. ¿Estaría dispuesto a aprender cómo funciona este sistema si ayuda a mejorar el riego?

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Sí	2	100%
No	0	0%
Tal vez	0	0%
Total	2	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 18. Distribución porcentual de la pregunta 6 de la encuesta



Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 10. Resultados de la pregunta 7. ¿Cuál de las siguientes variables cree que afecta más el riego? (Puede marcar más de una)

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Temperatura	2	28.6%
Humedad del aire	1	14.3%
Viento	1	14.3%
Radiación solar	1	14.3%
Nivel de agua disponible	2	28.6%
Total	7	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 19. Distribución porcentual de la pregunta 7 de la encuesta



Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 11. Resultados de la pregunta 8. ¿Le gustaría recibir alertas o mensajes sobre el clima o el riego?

Variable	Cantidad	Porcentaje
Sí, por celular	1	50%
Sí, en la finca	1	50%
No me interesa	0	0%
Total	2	100%

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 20. Distribución porcentual de la pregunta 8 de la encuesta



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 17: Variables ambientales monitoreadas por el sistema

Tabla 12.

Variables ambientales monitoreadas por el sistema

Variable	Sensor utilizado	Unidad
Temperatura	SHT31-D	°C
Humedad relativa	SHT31-D	%
Radiación solar	RS485	W/m ²
Velocidad del viento	Anemómetro	m/s
Nivel de agua	Sensor 4–20 mA	cm

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 17: Acta de entrega y recepción

ACTA DE ENTREGA Y CIERRE DEL SISTEMA

Fecha: 19/05/2026

Lugar: Finca San Jacinto, Cantón Naranjal, Provincia del Guayas, Ecuador.

PARTES INVOLUCRADAS

Cliente/Organización: Manuel Antonio Rivera Cedeño

Desarrollador: Dixon Andrew Lliguin Rivas

OBJETIVO DEL ACTA

El presente documento formaliza la entrega y cierre del sistema denominado **“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO IOT PARA MONITOREO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA FINCA “SAN JACINTO” DEL CANTÓN NARANJAL, PROVINCIA DEL GUAYAS.”**, desarrollado como parte del proyecto académico y profesional.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ENTREGADO

Nombre del sistema: AquaMonitor.

Objetivo principal: Desarrollar un prototipo IoT para monitorear la evapotranspiración mediante la implementación de sensores ambientales y tecnologías de transmisión de datos, con el fin de proporcionar información precisa y continua que respalde la toma de decisiones en el riego agrícola, en la finca “San Jacinto” del cantón Naranjal.

Características principales:

- **Monitoreo automático de variables ambientales:** Registro continuo de temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento mediante sensores integrados al sistema.
- **Monitoreo del nivel de agua:** Medición automática del nivel del tanque evaporímetro Clase A mediante sensor sumergible y sensores de flotador de seguridad.

- **Visualización remota de información:** Consulta de datos en tiempo real e históricos mediante la plataforma web AquaMonitor.
- **Automatización del riego:** Activación automática del sistema de riego en función de los parámetros definidos para la humedad del suelo y las condiciones de evapotranspiración.
- **Generación de reportes:** Almacenamiento y consulta de registros históricos para el análisis del comportamiento ambiental y del sistema de riego.

Módulos entregados:

- **Módulo Dashboard:** Visualización de temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, nivel del tanque evaporímetro y estado general del sistema.
- **Módulo de Alertas:** Generación y consulta de notificaciones relacionadas con el funcionamiento del sistema.
- **Módulo de Riego:** Monitoreo y control del sistema de riego automatizado y manual.
- **Módulo de Reportes:** Consulta y exportación de registros históricos almacenados en la base de datos.
- **Módulo de Configuración:** Administración de parámetros generales de operación.

DOCUMENTACIÓN INCLUIDA

Se entrega la siguiente documentación como parte del proyecto:

- Manual de usuario.
- Manual técnico.
- Código fuente implementado en Arduino IDE.
- Diagramas de conexión desarrollados en Fritzing.
- Código fuente implementado en HTML, CSS y JavaScript.

VALIDACIÓN Y PRUEBAS

El propietario de la finca ha revisado y verificado el funcionamiento general del sistema, incluyendo las siguientes pruebas:

- Pruebas de monitoreo de variables ambientales.
- Pruebas de lectura del nivel del tanque evaporímetro.
- Pruebas de transmisión de datos hacia la plataforma web.
- Pruebas de funcionamiento del sistema de riego automatizado.
- Pruebas de generación y visualización de reportes.

ENTREGABLES ADICIONALES

- Capacitación básica impartida sobre el funcionamiento general del sistema.
- Configuración del prototipo para su funcionamiento en condiciones reales de campo.
- Entrega de acceso a la plataforma web AquaMonitor.

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

Las partes involucradas certifican que el prototipo desarrollado cumple con los objetivos planteados durante la ejecución del proyecto y que la entrega se realiza de conformidad con los requerimientos establecidos para el monitoreo de la evapotranspiración y el apoyo a la gestión del riego agrícola en la finca San Jacinto.

FIRMAS DE LAS PARTES

Por el Cliente:

Nombre: Manuel Antonio Rivera Cedeño

Cargo: Propietario de la Finca San Jacinto

Firma: _____

Por el Desarrollador:

Nombre: Dixon Andrew Lliguin Rivas

Cargo: Desarrollador del sistema

Firma: _____

APÉNDICES

Apéndice N° 1: Manual de Usuario

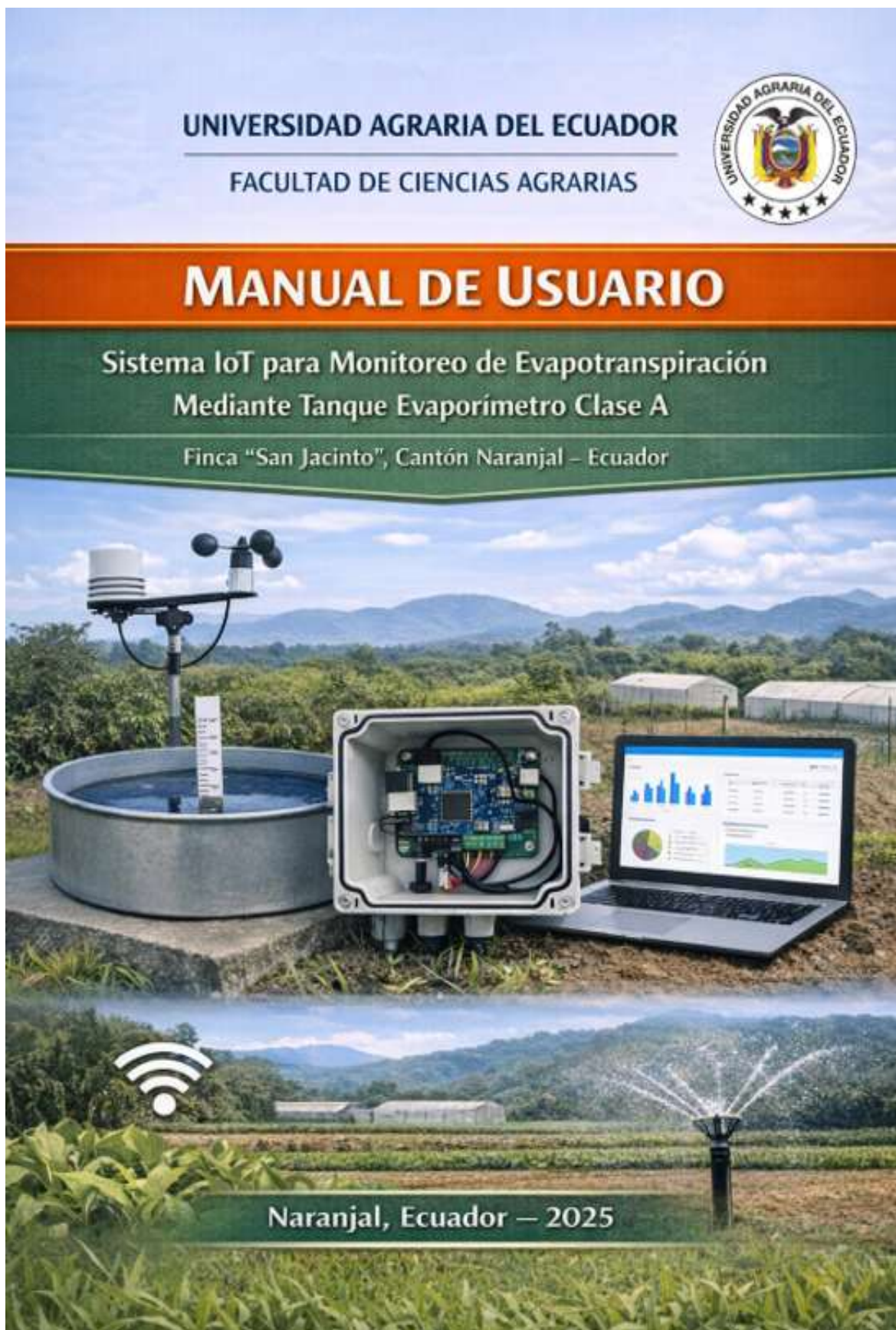


TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	66
2. ¿QUÉ HACE EL SISTEMA?.....	67
3. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA	67
3.1 Uso de la aplicación web AquaMonitor	67
3.2 Panel principal (Dashboard).....	68
3.3 Alertas del sistema.....	69
3.4 Sistema de riego.....	70
3.5 Reportes.....	71
4. RECOMENDACIONES DE USO	71
5. MANTENIMIENTO BÁSICO	72
6. CONSIDERACIONES FINALES.....	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Módulo panel principal	66
Figura 2: Módulo de alerta	66
Figura 3: Módulo de Riego	70
Figura 4: Módulo de reporte	68

1. INTRODUCCIÓN

Este manual de usuario tiene como finalidad orientar al usuario en el manejo adecuado del sistema AquaMonitor, implementado en la finca “*San Jacinto*”, y servir como una guía práctica para el uso correcto de todas sus funciones. El sistema ha sido desarrollado para permitir el monitoreo continuo de las condiciones ambientales, el nivel de agua del tanque evaporímetro Clase A y el estado del sistema de riego automatizado, proporcionando información clara y accesible para apoyar la toma de decisiones en las labores agrícolas.

AquaMonitor integra diferentes módulos que facilitan la visualización de datos en tiempo real, el seguimiento histórico de las mediciones y el control básico del sistema de riego. Gracias a su funcionamiento automático, el usuario no necesita realizar mediciones manuales constantes, lo que contribuye a un mejor aprovechamiento del tiempo y a una gestión más eficiente del recurso hídrico. El sistema está diseñado para ser utilizado por personas con conocimientos básicos de informática, priorizando una interfaz sencilla e intuitiva.

En este manual se describen paso a paso las principales opciones de la plataforma, la forma correcta de acceder al sistema, la interpretación de los datos mostrados en pantalla y las recomendaciones básicas para un uso adecuado. De esta manera, se busca que el usuario pueda utilizar AquaMonitor de forma segura, confiable y eficiente, aprovechando todas las ventajas que ofrece para el monitoreo del cultivo y el manejo del riego en la finca San Jacinto.

2. ¿QUÉ HACE EL SISTEMA?

El sistema AquaMonitor monitoriza continuamente las condiciones ambientales y los niveles de agua de riego en terrenos agrícolas. Mediante sensores instalados, el sistema recopila datos como temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, así como el nivel de agua en el tanque de evaporación.

Además, el sistema monitoriza la humedad del suelo para determinar las necesidades de riego de las plantas. Con base en esta información, el riego se activa automáticamente solo cuando es necesario, evitando así el consumo excesivo de agua. Todos los datos recopilados son accesibles a través de una aplicación web, lo que simplifica la monitorización del sistema sin necesidad de mediciones manuales ni conocimientos técnicos especializados.

3. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA

Una vez que el sistema ha sido instalado y conectado a la red eléctrica, comienza a operar de forma automática. No dispone de interruptores ni requiere ser encendido o apagado de manera diaria, ya que fue diseñado para permanecer en funcionamiento continuo.

Al recibir energía, el sistema realiza un breve proceso de inicio y luego comienza a registrar la información de los sensores. Durante su operación normal, no es necesaria la intervención del usuario. La desconexión del sistema solo se realiza en caso de mantenimiento o revisión técnica.

3.1 Uso de la aplicación web AquaMonitor

La aplicación web AquaMonitor permite revisar la información que el sistema registra de forma continua y conocer el estado general del monitoreo ambiental y del sistema de riego. El acceso se realiza desde cualquier navegador con conexión a internet ingresando al enlace <https://aquamonitor-53f2c.web.app>. Al cargar la página, se muestra la pantalla de inicio de sesión y, una vez completado este paso, se accede directamente al panel principal, donde se visualizan los datos y el estado actual del sistema.

3.2 Panel principal (Dashboard)

En la pantalla principal se puede ver de forma clara cómo está funcionando el sistema. Allí aparece información básica como el estado del clima, la cantidad de agua que tiene el tanque y si el riego está activo o no.

El tanque evaporímetro realiza una sola lectura al día, en un horario que puede configurarse previamente. Esta lectura se hace de manera automática, sin necesidad de que alguien vaya a medir o anotar datos, ya que el sistema se encarga de todo el proceso. Una vez tomada la lectura, el sistema guarda la información y la muestra en la aplicación.

En esta misma pantalla también se encuentran dos botones que permiten llenar o vaciar el tanque de forma manual. Estas opciones se utilizan únicamente cuando se requiere hacer alguna revisión o mantenimiento, ya que durante el funcionamiento normal el sistema maneja el tanque de forma automática.

Después de realizar la lectura diaria del tanque, el sistema revisa el estado del cultivo utilizando los sensores de humedad del suelo. Si se detecta que al suelo le falta agua, el sistema activa el riego de manera automática. En caso contrario, el riego no se ejecuta, evitando el uso innecesario de agua.

Además, se muestra una gráfica sencilla que indica cómo ha variado el nivel del agua del tanque durante el día. Cuando la gráfica baja de forma lenta y uniforme significa que el sistema está funcionando correctamente. Si la gráfica presenta una caída rápida o cambios bruscos, puede indicar que el nivel del agua es bajo o que se requiere una revisión del sistema.

Figura 1.

Modulo panel principal



Elaborado por: El Autor, 2026

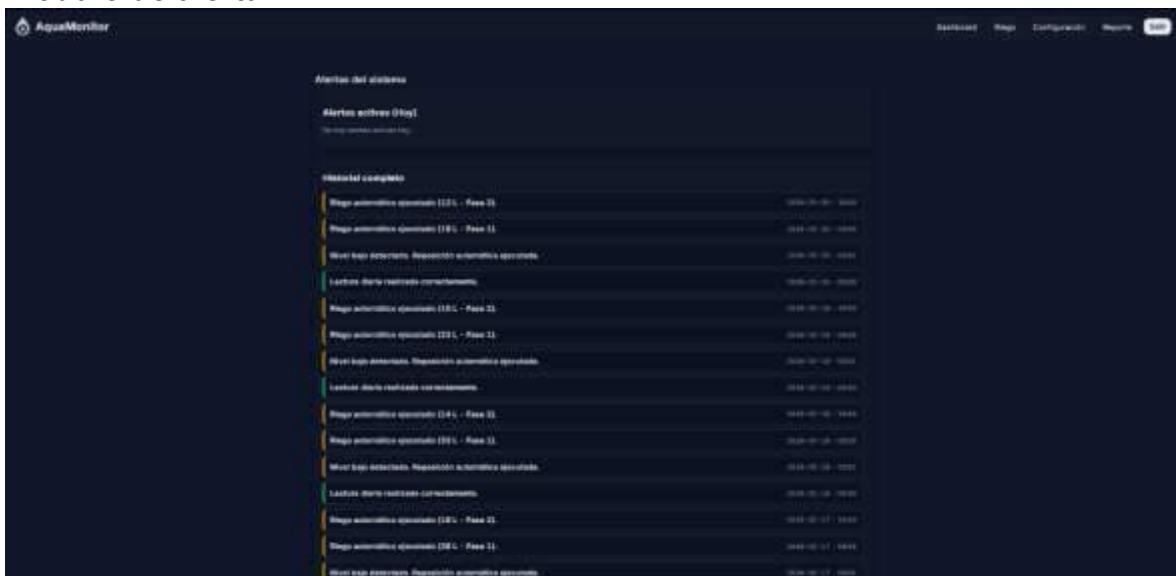
3.3 Alertas del sistema

La sección de alertas muestra avisos cuando se detecta alguna condición fuera de los valores normales. En caso de no existir alertas activas, el sistema indica que el funcionamiento se encuentra dentro de los rangos esperados.

El historial de alertas permite revisar eventos registrados con anterioridad.

Figura 2.

Módulo de alerta



Elaborado por: El Autor, 2026

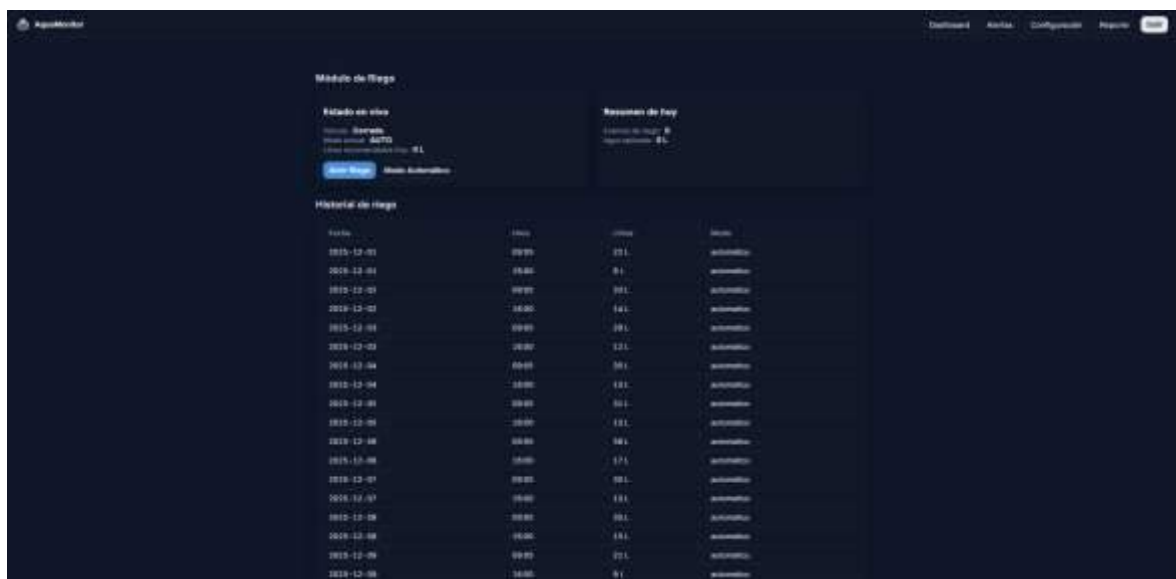
3.4 Sistema de riego

El sistema de riego opera de forma automática en función de la información obtenida por los sensores de humedad del suelo. Cuando el suelo presenta un nivel bajo de humedad, el riego se activa sin necesidad de intervención manual y se detiene una vez alcanzadas las condiciones adecuadas.

Desde la aplicación web se puede observar el estado del riego, así como el estado de la electroválvula. De forma adicional, se dispone de un modo manual que permite abrir o cerrar la válvula de manera puntual, principalmente durante pruebas o labores de mantenimiento.

En el panel principal también se encuentran opciones para llenar o vaciar el tanque evaporímetro cuando sea necesario. No obstante, estas acciones suelen realizarse de forma automática durante la operación normal del sistema.

Figura 3.
Módulo de Riego



Elaborado por: El Autor, 2026

3.5 Reportes

La aplicación permite generar reportes a partir de la información almacenada. Al seleccionar un periodo determinado, se obtiene un resumen de los datos registrados, lo que facilita el análisis del comportamiento del sistema y el respaldo de la información recopilada.

Figura 4.

Módulo de reporte



Elaborado por: El Autor, 2026

4. RECOMENDACIONES DE USO

Para un funcionamiento adecuado, conviene revisar de manera ocasional el nivel de agua del tanque evaporímetro y verificar que los sensores se mantengan limpios y bien ubicados. También es importante comprobar que las tuberías del sistema de riego no presenten obstrucciones.

El uso del modo manual debe limitarse a situaciones puntuales, ya que el sistema está diseñado para trabajar de forma automática durante la mayor parte del tiempo.

5. MANTENIMIENTO BÁSICO

El mantenimiento requerido es sencillo. De forma periódica, se recomienda limpiar el tanque evaporímetro, revisar visualmente los sensores y comprobar que el sistema de riego responda de manera adecuada.

Estas acciones ayudan a mantener la calidad de los datos registrados y aseguran un funcionamiento estable del sistema en el tiempo.

6. CONSIDERACIONES FINALES

El sistema AquaMonitor fue desarrollado para facilitar el monitoreo de las condiciones ambientales y apoyar el riego agrícola en la finca San Jacinto. Su funcionamiento automático reduce la necesidad de registros manuales y contribuye a un uso más eficiente del agua.

Este manual proporciona una guía clara para comprender el uso general del sistema y aprovechar la información disponible a través de la aplicación web.

Apéndice N° 2: Manual Técnico

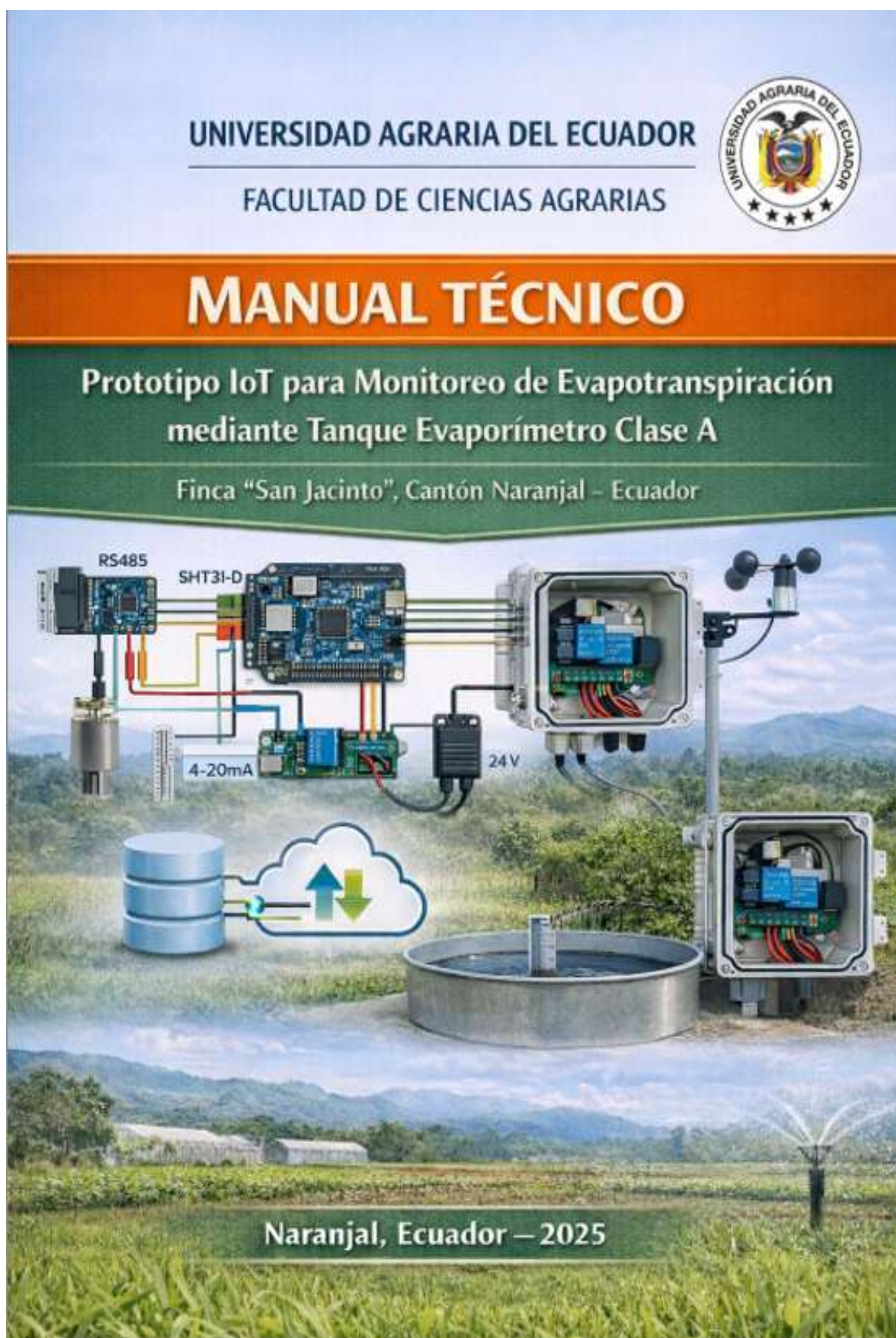


TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	72
1. INTRODUCCIÓN	76
2. VISIÓN GENERAL DEL SISTEMA	77
3. COMPONENTES QUE CONFORMAN EL SISTEMA	77
3.1.Estructura de la base de datos (Realtime Database)	78
3.2.Firmware del Arduino GIGA R1 WIFI.....	80
3.2.1. <i>Librerías incluidas</i>	80
3.2.2. <i>Credenciales Wi-Fi y Firebase</i>	84
3.2.3. <i>Funciones de lectura de sensores</i>	85
3.2.4. <i>Control del riego</i>	85
3.2.5. <i>Control del tanque evaporímetro</i>	86
3.2.6. <i>Código fuente del firmware del Arduino GIGA R1 WiFi</i>	86
4. OPERACIÓN DEL PROTOTIPO	95
4.1.Activación del riego	95
4.2.Ajustes generales	95
4.3.Mantenimiento del sistema	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla 1: Elementos principales del sistema AquaMonitor.....	77
Tabla 2: Base de datos Firebase	78
Tabla 3: Asignación de pine.....	82
Figura 1: Módulo Configuración	96
Tabla 4: Parámetros generales configurables	96
Figura 2: Módulo de acceso al sistema	97

1. INTRODUCCIÓN

Este manual técnico describe de manera detallada la estructura, el funcionamiento y los principales componentes del sistema AquaMonitor, desarrollado para el monitoreo de la evapotranspiración y el control del riego en condiciones reales de campo. El documento está dirigido a técnicos, estudiantes e ingenieros que requieran comprender el funcionamiento interno del prototipo, así como realizar su correcta configuración, verificación y mantenimiento.

La solución integra un tanque evaporímetro Clase A como elemento principal de medición, sensores ambientales para el registro de variables climáticas, una unidad de control basada en microcontrolador y una aplicación web para la visualización, almacenamiento y gestión de la información. Esta arquitectura permite automatizar la adquisición de datos, garantizar su transmisión continua y facilitar su uso en la toma de decisiones relacionadas con la gestión del riego agrícola.

A lo largo de este manual se describen la arquitectura general del sistema, la función de cada módulo, las conexiones eléctricas principales, los criterios de selección de los componentes, los parámetros de configuración y los procedimientos básicos de puesta en marcha. Además, se incluyen consideraciones sobre el mantenimiento preventivo, la verificación del correcto funcionamiento de los sensores y la revisión del sistema de comunicación, con el fin de asegurar una operación estable y confiable del prototipo.

Este documento también sirve como referencia técnica para futuras modificaciones o ampliaciones del sistema, ya que proporciona una visión clara de su estructura interna y de la forma en que interactúan sus diferentes componentes. De esta manera, se busca facilitar la replicación del prototipo, su adaptación a otros entornos agrícolas y la mejora continua del sistema AquaMonitor como herramienta de apoyo para la gestión eficiente del recurso hídrico.

2. VISIÓN GENERAL DEL SISTEMA

AquaMonitor está compuesto por un conjunto de dispositivos que trabajan de forma coordinada para obtener información del entorno, procesarla y actuar sobre el sistema de riego cuando las condiciones lo requieren. El prototipo integra sensores, un tanque evaporímetro Clase A, una unidad de control y una plataforma web para la supervisión remota.

Una vez realizada la instalación y establecida la alimentación eléctrica, el sistema permanece activo de manera continua, recolectando información y almacenándola para su posterior consulta a través de la aplicación web.

3. COMPONENTES QUE CONFORMAN EL SISTEMA

AquaMonitor está compuesto por distintos elementos que trabajan de manera integrada para el monitoreo y control del riego.

Tabla 1.

Elementos principales del sistema AquaMonitor

Elemento	Función
Tanque evaporímetro Clase A	Referencia para la estimación diaria de la evaporación
Arduino GIGA R1 WiFi	Gestión del procesamiento y control
Sensor de nivel de agua	Verificación del nivel de agua del tanque
Sensores ambientales	Obtención de datos de temperatura, humedad, radiación y viento
Sensores de humedad del suelo	Evaluación del estado hídrico del suelo
Electroválvula	Regulación del paso de agua
Bomba de agua	Impulsión del agua hacia el riego
Gabinete IP65	Protección de los componentes electrónicos
Aplicación web AquaMonitor	Visualización y ajustes del sistema

Elaborado por: El Autor, 2026

3.1. Estructura de la base de datos (Realtime Database)

```
{  
  "configuracion": {  
    "humedad_min": 40,  
    "humedad_max": 80,  
    "kp": 0.85,  
    "ciclo_riego": {  
      "habilitado": false,  
      "hora": "06:30",  
      "dias": ["mon", "wed", "fri"]  
    }  
  },  
  "device": {  
    "id": "tanque01",  
    "lastSeen": 1698795600000  
  },  
  "sensores": {  
    "temperatura_c": 26.7,  
    "humedad_pct": 73.7,  
    "radiacion_wm2": 207,  
    "viento_ms": 3.9,  
    "nivel_evaporimetro_cm": 22.3,  
    "suelo_pct": 72.3  
  },  
  "evaporimetro": {
```

```
"eto_actual": 0.11,  
"kp": 0.85,  
"historial": {  
  "2025-12-13": {  
    "nivel_cm": 22.27,  
    "eto": 0.11  
  }  
}  
},  
"riego": {  
  "modo": "manual",  
  "electrovalvula": 0,  
  "historial": {  
    "evento_id": {  
      "modo": "Manual",  
      "estado": "abierta",  
      "ts": 1767913628110  
    }  
  }  
},  
"tanque_evaporimetro": {  
  "modo": "manual",  
  "llenado": 0,  
  "vaciado": 0
```

```
},  
"notificaciones": {  
  "ultima": {  
    "mensaje": "Sistema iniciado",  
    "ts": 1698795600000,  
    "type": "info"  
  }  
}  
}
```

Tabla 2.
Base de datos Firebase

Ruta	Tipo	Descripción
/configuracion/humedad_min	float	Umbral mínimo de humedad del suelo para activar el riego.
/configuracion/humedad_max	float	Umbral máximo de humedad del suelo permitido.
/configuracion/kp	float	Coefficiente Kp del tanque evaporímetro utilizado en los cálculos.
/configuracion/ciclo_riego/habilitado	bool	Indica si el riego programado está activado.
/configuracion/ciclo_riego/hora	string	Hora programada para la verificación o ejecución del riego.
/configuracion/ciclo_riego/dias	array	Días de la semana en los que se ejecuta el ciclo de riego.
/device/id	string	Identificador del dispositivo IoT.
/device/lastSeen	int	Marca de tiempo de la última comunicación del dispositivo.

/sensores/temperatura_c	float	Temperatura ambiente medida en °C.
/sensores/humedad_pct	float	Humedad relativa del aire en porcentaje.
/sensores/radiacion_wm2	float	Radiación solar medida en W/m ² .
/sensores/viento_ms	float	Velocidad del viento en m/s.
/sensores/nivel_evaporimetro_cm	float	Nivel de agua del tanque evaporímetro en cm.
/sensores/suelo_pct	float	Humedad del suelo en porcentaje.
/evaporimetro/eto_actual	float	Valor actual de evapotranspiración de referencia (ET _o).
/evaporimetro/kp	float	Coefficiente K _p aplicado al tanque evaporímetro.
/evaporimetro/historial	object	Registro histórico de niveles y valores de ET _o por fecha.
/riego/modo	string	Modo de operación del riego (manual o automático).
/riego/electrovalvula	bool	Estado de la electroválvula (abierta o cerrada).

/riego/historial	object	Registro de eventos de riego ejecutados por el sistema.
/tanque_evaporimetro/modo	string	Modo de operación del tanque (manual o automático).
/tanque_evaporimetro/llenado	bool	Indica si el sistema está llenando el tanque.
/tanque_evaporimetro/vaciado	bool	Indica si el sistema está vaciando el tanque.
/notificaciones/ultima/mensaje	string	Texto de la última notificación generada por el sistema.
/notificaciones/ultima/ts	int	Marca de tiempo de la última notificación.

Elaborado por: El Autor, 2026

3.2. Firmware del Arduino GIGA R1 WIFI

El firmware cargado en el Arduino GIGA R1 WiFi es el encargado de realizar la conexión a la red inalámbrica, comunicarse con la base de datos Firebase, adquirir los datos de los sensores, controlar el sistema de riego y gestionar el funcionamiento del tanque evaporímetro. Además, se encarga del envío periódico de la información hacia la plataforma web y de la recepción de comandos de control.

3.2.1. Librerías incluidas

Estas librerías permiten establecer la comunicación con el servidor y enviar o recibir datos desde la aplicación web:

- **WiFiS3.h:** permite la conexión del Arduino GIGA R1 WiFi a una red inalámbrica.

- **ArduinoHttpClient.h**: se utiliza para realizar las solicitudes HTTP seguras hacia Firebase Realtime Database.

3.2.2. Credenciales Wi-Fi y Firebase

Si se cambia de red o de proyecto Firebase, estos son los valores que deben modificarse:

- **ssid** y **password**: corresponden a la red Wi-Fi utilizada por el sistema.
- **firebaseHost** y **firebaseSecret**: identifican el servidor y la clave de acceso a la base de datos.
- **deviceld**: identifica de forma única al dispositivo dentro de la base de datos.

Tabla 3.
Asignación de pines

Elemento	Pin	Función
RELE_LLENADO	5	Control del llenado del tanque
RELE_RIEGO	3	Control de la electroválvula de riego
RELE_BOMBA	4	Control de la bomba de riego
RELE_VACIADO	2	Control del vaciado del tanque
RELE_BOMBA_VACIADO	10	Control de la bomba de vaciado
PIN_NIVEL	A0	Sensor de nivel del tanque (4–20 mA)
SUELO_1	A1	Sensor de humedad del suelo 1
SUELO_2	A2	Sensor de humedad del suelo 2

SUELO_3	A3	Sensor de humedad del suelo 3
PIN_RADIACION	A4	Sensor de radiación solar
PIN_ANEMO	A5	Sensor de viento (anemómetro)
FLOTADOR_19CM	6	Flotador de nivel mínimo
FLOTADOR_21CM	7	Flotador de nivel máximo

Elaborado por: El Autor, 2026

3.2.3. Funciones de lectura de sensores

Se implementan funciones específicas para:

- **leerNivel_cm()**: convierte la lectura analógica del sensor de nivel en centímetros de altura de agua.
- **leerViento()**: calcula la velocidad del viento a partir del voltaje del anemómetro.
- **leerRadiacion()**: convierte la señal analógica del sensor de radiación a W/m^2 .
- **sueloPct()**: transforma la lectura cruda de los sensores de humedad del suelo a un porcentaje de 0 a 100 %.

Estas funciones permiten trabajar con valores físicos directamente interpretables.

3.2.4. Control del riego

El firmware implementa dos funciones principales:

- **iniciarRiego()**: activa la electroválvula y la bomba, y registra el evento en el historial de riego en Firebase.
- **apagarRiego()**: desactiva el sistema de riego, calcula la duración del evento y guarda la información en la base de datos.

El riego puede activarse de dos formas:

- **Manual**, cuando se recibe la orden desde la plataforma web.

- **Automático**, cuando la humedad del suelo desciende por debajo del umbral mínimo configurado.

3.2.5. Control del tanque evaporímetro

El sistema puede operar en dos modos:

- **Modo manual**: el llenado o vaciado del tanque se controla desde la plataforma web.
- **Modo automático**: el sistema mantiene el nivel del agua a 20.0 cm operativos, utilizando el sensor de nivel y los flotadores de seguridad que avisan al sensor de nivel que revise el nivel del agua.

Las funciones de control activan o desactivan los relés correspondientes según el estado del tanque.

3.2.6. Código fuente del firmware del Arduino GIGA R1 WiFi

```

/*****

* AQUAMONITOR

* Arduino GIGA R1 WiFi

*****/

#include <WiFiS3.h>

#include <ArduinoHttpClient.h>

/* ===== WIFI ===== */

const char* ssid    = "ANAHIS";

const char* password = "0925825911**";

/* ===== FIREBASE ===== */

const char* firebaseHost    = "aquamonitor-4ec75-default-
rtdb.firebaseio.com";

const char* firebaseSecret  =
"AlzHYKwhiA9w5ZrfYSxJWxoEJYgJR8cSkPLjBeHU";

```

```

const char* deviceId    = "giga-r1-san-jacinto-01";

/* ===== CLIENT ===== */

WiFiSSLClient wifi;

HttpClient client(wifi, firebaseHost, 443);

/* ===== TIMING ===== */

unsigned long lastSend = 0;

unsigned long lastGet  = 0;

const unsigned long SEND_INTERVAL = 180000UL; // 3 minutos
const unsigned long GET_INTERVAL  = 5000UL;  // 5 segundos

/* ===== PINES ===== */

// Relés ACTIVE LOW

#define RELE_LLENADO    5

#define RELE_RIEGO     3

#define RELE_BOMBA     4

#define RELE_VACIADO   2

#define RELE_BOMBA_VACIADO 10

// Sensores

#define PIN_NIVEL      A0

#define PIN_RADIACION  A4

#define PIN_ANEMO     A5

#define SUELO_2 A1

#define SUELO_3 A2

#define SUELO_4 A3

#define FLOTADOR_19CM 6

```

```

#define FLOTADOR_21CM 7

/* ===== ADC ===== */

const float ADC_MAX = 16383.0; // 14 bits GIGA R1

const float VREF = 5.0;

/* ===== NIVEL ===== */

const float V_4mA = 0.55;

const float V_20mA = 1.00;

const float NIVEL_MAX_CM = 25.0;

/* ===== RIEGO ===== */

bool regando = false;

float HUM_INI = 35.0;

float HUM_FIN = 55.0;

unsigned long riegoInicio = 0;

/* ===== TANQUE ===== */

float MIN_CM = 0.00;

float MAX_CM = 25.0;

/* ===== ESTADOS FIREBASE ===== */

int fb_riego = 0;

int fb_llenado = 0;

int fb_vaciado = 0;

String fb_modoSaque = "auto";

/* =====

```

 FUNCIONES DE SENSORES

```

===== */

float leerNivel_cm() {

    float v = analogRead(PIN_NIVEL) * (VREF / ADC_MAX);

    float pct = constrain((v - V_4mA) / (V_20mA - V_4mA), 0, 1);

    return pct * NIVEL_MAX_CM;

}

float leerViento() {

    float v = analogRead(PIN_ANEMO) * (VREF / ADC_MAX);

    if (v < 0.02) v = 0;

    if (v > 5.0) v = 5.0;

    return (v / 5.0) * 30.0; // m/s

}

float leerRadiacion() {

    float v = analogRead(PIN_RADIACION) * (VREF / ADC_MAX);

    return (v / VREF) * 2000.0; // W/m2


}

float sueloPct(int raw) {

    return constrain((3000 - raw) * 100.0 / (3000 - 1500), 0, 100);

}

/* =====

 FIREBASE GET

===== */

```

```

void leerFirebaseControl() {

    if (millis() - lastGet < GET_INTERVAL) return;

    lastGet = millis();

    client.get("/control/" + String(deviceId) + "/riego_manual.json?auth=" +
firebaseSecret);

    if (client.responseStatusCode() == 200) {

        fb_riego = client.responseBody().toInt();

    }

    client.get("/tanque_evaporimetro.json?auth=" + String(firebaseSecret));

    if (client.responseStatusCode() == 200) {

        String b = client.responseBody();

        fb_llenado = b.indexOf("\"llenado\":1") >= 0;

        fb_vaciado = b.indexOf("\"vaciado\":1") >= 0;

        fb_modosTanque = b.indexOf("\"manual\"") >= 0 ? "manual" : "auto";

    }

}

/* =====

    🔹 RIEGO

    ===== */

void iniciarRiego() {

    digitalWrite(RELE_RIEGO, LOW);

    delay(200);

    digitalWrite(RELE_BOMBA, LOW);

```

```

regando = true;

riegolInicio = millis();

}

void apagarRiego() {

digitalWrite(RELE_BOMBA, HIGH);

digitalWrite(RELE_RIEGO, HIGH);

regando = false;

}

/* =====

  🚰 TANQUE

===== */

void apagarTanque() {

digitalWrite(RELE_LLENADO, HIGH);

digitalWrite(RELE_VACIADO, HIGH);

digitalWrite(RELE_BOMBA, HIGH);

digitalWrite(RELE_BOMBA_VACIADO, HIGH);

}

void actualizarTanque() {

if (fb_modosTanque == "manual") return;

float nivel = leerNivel_cm();

bool bajo = digitalRead(FLOTADOR_19CM);

bool alto = digitalRead(FLOTADOR_21CM);

if (nivel < MIN_CM || bajo) {

```

```

digitalWrite(RELE_LLENADO, LOW);

digitalWrite(RELE_BOMBA, LOW);

} else if (nivel > MAX_CM || alto) {

digitalWrite(RELE_VACIADO, LOW);

digitalWrite(RELE_BOMBA_VACIADO, LOW);

} else {

    apagarTanque();

}

}

/* =====

📡 ENVÍO DE SENSORES

===== */

void enviarSensores() {

float humSuelo = (sueloPct(analogRead(SUELO_2)) +
                sueloPct(analogRead(SUELO_3)) +
                sueloPct(analogRead(SUELO_4))) / 3.0;

String json = "{";

json += "\"viento_ms\":" + String(LeerViento(),2) + ",";

json += "\"radiacion_wm2\":" + String(LeerRadiacion(),1) + ",";

json += "\"nivelEvaporimetro_cm\":" + String(LeerNivel_cm(),1) + ",";

json += "\"suelo_pct\":" + String(humSuelo,1);

json += "}";

client.put("/sensores/" + String(deviceId) + ".json?auth=" + firebaseSecret,
          "application/json", json);

```

```

}

/* =====

🔧 SETUP

===== */

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  pinMode(RELE_LLENADO, OUTPUT);

  pinMode(RELE_RIEGO, OUTPUT);

  pinMode(RELE_BOMBA, OUTPUT);

  pinMode(RELE_VACIADO, OUTPUT);

  pinMode(RELE_BOMBA_VACIADO, OUTPUT);

  pinMode(FLOTADOR_19CM, INPUT_PULLUP);
  pinMode(FLOTADOR_21CM, INPUT_PULLUP);

  apagarTanque();

  apagarRiego();

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) delay(500);

  Serial.println("✅ AQUAMONITOR OPERATIVO (SIN SIMULACIÓN)");
}

/* =====

🔄 LOOP

===== */

void loop() {

  leerFirebaseControl();

```

```
float humSuelo = (sueloPct(analogRead(SUELO_2)) +
                 sueloPct(analogRead(SUELO_3)) +
                 sueloPct(analogRead(SUELO_4))) / 3.0;

if (fb_riego == 1) {
    if (!regando) iniciarRiego();
} else {
    if (!regando && humSuelo <= HUM_INI) iniciarRiego();
    if (regando && humSuelo >= HUM_FIN) apagarRiego();
}

if (!regando) actualizarTanque();

if (millis() - lastSend >= SEND_INTERVAL) {
    lastSend = millis();
    enviarSensores();
}
}
```

4. OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

Durante su funcionamiento habitual, el sistema obtiene datos de los sensores ambientales de forma continua. El tanque evaporímetro, en cambio, realiza una única lectura diaria, la cual se ejecuta automáticamente en un horario previamente establecido.

Esta lectura no requiere intervención humana y su resultado se guarda como referencia para el análisis del comportamiento del consumo de agua. La información obtenida queda disponible para su revisión en la plataforma web.

Posteriormente, se analizan los valores proporcionados por los sensores de humedad del suelo. Con base en estos datos, se define si es necesario activar el riego o mantenerlo deshabilitado.

4.1. Activación del riego

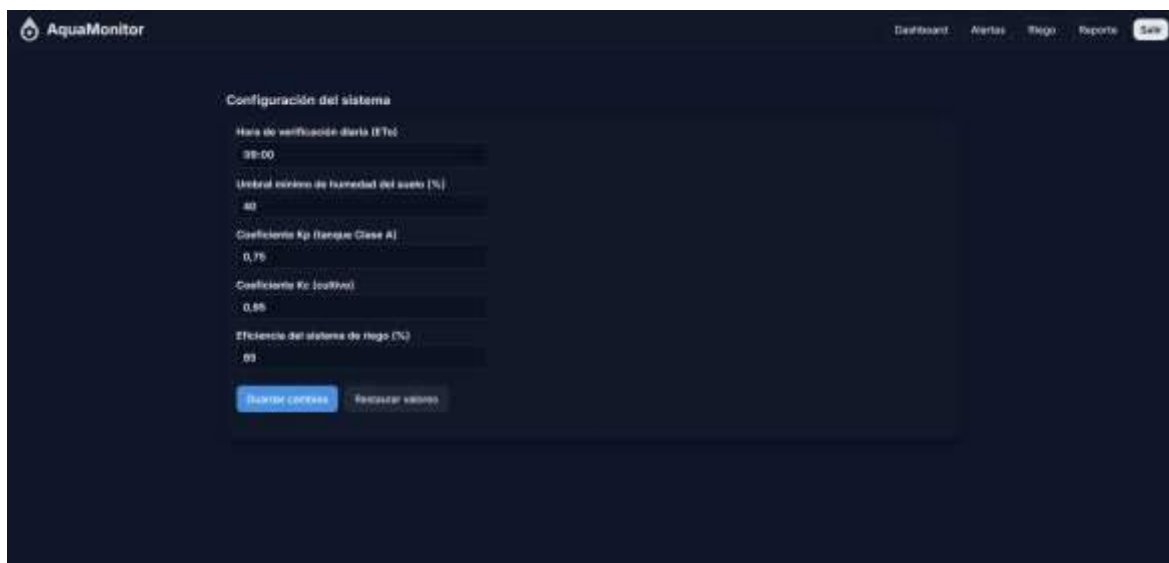
La activación del sistema de riego se basa en el nivel de humedad del suelo medido por los sensores capacitivos. Estos sensores fueron calibrados en una escala de 0 % a 100 %, donde 0 % corresponde a suelo seco y 100 % a suelo completamente húmedo. Con esta referencia, los valores se interpretan en tres rangos: suelo seco entre 0 % y 40 %, suelo en estado normal entre 40 % y 70 %, y suelo húmedo por encima del 70 %.

Cuando la humedad desciende por debajo del umbral establecido (40 %), el sistema activa automáticamente la electroválvula y la bomba para iniciar el riego, el cual se mantiene solo el tiempo necesario para recuperar un nivel adecuado. Además, la plataforma web permite el accionamiento manual del riego, opción pensada para pruebas o tareas de mantenimiento y no para el uso habitual del sistema.

4.2. Ajustes generales

El prototipo dispone de un módulo de configuración donde se definen los parámetros que influyen en su funcionamiento. Estos valores se establecen durante la instalación inicial y pueden modificarse en caso de que las condiciones de operación cambien.

Figura 1.
Módulo Configuración



Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 4.
Parámetros generales configurables

Parámetro	Descripción
Hora de verificación diaria	Momento en que se ejecuta la lectura del tanque
Límite de humedad del suelo	Valor mínimo para habilitar el riego
Coeficientes de ajuste	Parámetros utilizados en los cálculos internos
Eficiencia del riego	Consideración de pérdidas del sistema

Elaborado por: El Autor, 2026

4.3. Acceso y control

El ingreso a la aplicación web se encuentra protegido mediante un sistema de autenticación, evitando el acceso no autorizado. Aunque es posible realizar acciones manuales desde la plataforma, el funcionamiento automático del sistema tiene prioridad durante la operación normal.

Figura 2.

Módulo de acceso al sistema

```

1  <!doctype html>
2  <html lang="es">
3  <head>
4    <meta charset="utf-8" />
5    <title>AquaMonitor 

```

Elaborado por: El Autor, 2026

4.4. Mantenimiento del sistema

Para que el sistema siga funcionando correctamente, basta con revisar de vez en cuando que el tanque, los sensores y el sistema de riego se encuentren en buen estado. También es importante comprobar que los valores configurados no hayan sido modificados por error.

Son revisiones básicas que no requieren conocimientos especiales. Con solo comprobar que el sistema funcione de forma normal, se puede garantizar su correcto desempeño a lo largo del tiempo.

AquaMonitor se desarrolló como un prototipo que reúne distintos elementos tecnológicos para observar el entorno y apoyar el manejo del riego de forma automática. Su funcionamiento continuo permite consultar la información a distancia y evita la necesidad de realizar mediciones manuales de manera constante.