



# Sistema IoT con aplicación móvil para el monitoreo de orquídeas en invernadero inteligente en San Martín.

## IoT system with mobile application for monitoring orchids in a smart greenhouse in San Martín.

Dick Díaz-Delgado<sup>1</sup>, Lister B. Fernández-Mozombite<sup>2</sup>, Jaismer A. Rojas-Chumbe<sup>3</sup>,  
 Ari J. Macedo-Aguilar<sup>4</sup>, Emitterio Rojas-Tapullima<sup>5</sup>, Kenjy Garcia-Hurtado<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Universidad César Vallejo, Tarapoto - Perú

Recibido: 18 de diciembre de 2024.

Aceptado: 11 de abril de 2025.

Publicado: 01 mayo de 2025.

**Resumen-** Este estudio presenta el diseño e implementación de un sistema de invernadero inteligente para el monitoreo y la optimización del cultivo de orquídeas en la Amazonía peruana. El proyecto aborda las limitaciones del riego manual y del control ambiental en el cultivo tradicional de orquídeas mediante la integración de tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), incluyendo microcontroladores Arduino Mega y ESP32-Cam, sensores DHT22 y YL-38, y una aplicación móvil personalizada desarrollada en Flutter. El objetivo fue automatizar los procesos de riego y ventilación, proporcionando a su vez una visualización de datos en tiempo real a través de Firebase. El sistema se implementó en un invernadero a escala diseñado para la especie de orquídea *Spathoglottis unguiculata*, nativa de climas tropicales. Los resultados experimentales, tras tres meses de operación continua, mostraron mejoras en la salud de las plantas, ciclos de floración regulares y una reducción significativa en el consumo de agua y energía. El sistema de riego por goteo automatizado mejoró la eficiencia hídrica, y los componentes alimentados por energía solar garantizaron la sostenibilidad energética. Esta solución de bajo costo y fácil replicación contribuye a las prácticas de agricultura inteligente en regiones rurales desatendidas. El trabajo futuro se enfocará en ampliar la integración de sensores, implementar análisis predictivos mediante aprendizaje automático y validar el rendimiento del sistema en invernaderos a escala comercial.

**Palabras clave:** internet de las cosas, invernadero inteligente, monitoreo de cultivos, agricultura de precisión, sensores ambientales, automatización agrícola.

**Abstract—** This study presents the design and implementation of a smart greenhouse system for monitoring and optimizing orchid cultivation in the Peruvian Amazon. The project addresses the limitations of manual irrigation and environmental control in traditional orchid farming by integrating Internet of Things (IoT) technologies, including Arduino Mega and ESP32-Cam microcontrollers, DHT22 and YL-38 sensors, and a custom mobile application developed in Flutter. The objective was to automate irrigation and ventilation processes while providing real-time data visualization via Firebase. The system was implemented in a scaled greenhouse designed for the *Spathoglottis unguiculata* orchid species, native to tropical climates. The experimental results after three months of continuous operation showed improved plant health, consistent blooming cycles, and a significant reduction in water and energy consumption. The automated drip irrigation system enhanced water efficiency, and solar-powered components ensured energy sustainability. This low-cost and replicable solution contributes to smart agriculture practices in underserved rural regions. Future work will focus on expanding sensor integration, implementing predictive analytics using machine learning, and validating system performance in commercial-scale greenhouses.

**Keywords:** internet of things, smart greenhouse, crop monitoring, precision agriculture, environmental sensors, agricultural automation.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [dirrick9@gmail.com](mailto:dirrick9@gmail.com) (Silvia Paola Gallardo Figueroa).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Como citar este artículo: D. Díaz-Delgado, L. B. Fernández-Mozombite, J. A. Rojas-Chumbe, A. J. Macedo-Aguilar, E. Rojas-Tapullima y K. Garcia-Hurtado, "Sistema IoT con aplicación móvil para el monitoreo de orquídeas en invernadero inteligente en San Martín", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 13, no. 2, pp. 01-12 2025, doi: [10.15649/2346030X.5510](https://doi.org/10.15649/2346030X.5510)

## I. INTRODUCCIÓN

La Cuarta Revolución Industrial ha impulsado la automatización en la agricultura mediante dispositivos inteligentes que optimizan el rendimiento de los cultivos en entornos controlados [1]. Los invernaderos, como tecnología clave, permiten regular condiciones ambientales para mejorar la producción [2]. Sin embargo, la necesidad de ajustes manuales en temperatura y humedad sigue siendo una limitación que obliga a visitas diarias de los agricultores [3], [4]. Para mejorar la eficiencia, estos invernaderos suelen incorporar materiales como plástico o vidrio transparente para maximizar la absorción de luz solar y proteger las plantas de factores adversos [5]. La gestión automatizada del invernadero permite un control preciso de estos elementos, garantizando condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos [6].

El riego eficiente es un factor clave para mejorar la producción agrícola y enfrentar la crisis global del agua. La incorporación de sensores para monitoreo de temperatura, humedad y ventilación ha optimizado el uso del agua, mejorando su distribución y reduciendo desperdicios [7]. En países en desarrollo, donde la agricultura es fundamental, estos sistemas han mejorado la eficiencia del riego en cultivos como las orquídeas [8].

En Taiwán, un sistema basado en aprendizaje auto-supervisado ha mejorado la inspección del crecimiento de las orquídeas en invernaderos inteligentes, permitiendo detectar variaciones en su desarrollo sin necesidad de intervención humana constante [9]. Mientras tanto, en Tailandia, la automatización del riego con tecnología IoT y lógica difusa ha permitido un uso eficiente del agua en la producción de orquídeas, ajustando el suministro hídrico en función de las condiciones ambientales para maximizar la calidad y el rendimiento del cultivo [10].

La detección de enfermedades en invernaderos con condiciones estrictamente reguladas representa otro reto [11]. En el caso de las orquídeas *Phalaenopsis*, la identificación de patologías solía depender de la observación manual, con el riesgo de propagación de patógenos. Para solucionar esto, Chen et al. [12] desarrollaron *OrchidTalk*, una plataforma que analiza datos ambientales en el dominio tiempo-frecuencia mediante la transformada de wavelet continua (CWT), logrando una precisión del 99% en la detección de enfermedades y reduciendo la necesidad de intervención humana.

Los sistemas automatizados de riego han demostrado mejorar la eficiencia en la distribución del agua en cultivos sensibles. En *Dendrobium Phalaenopsis*, la combinación de sensores de humedad, temperatura y control remoto mediante *Arduino Cloud* permitió optimizar el riego con una eficiencia de hasta el 95%, reduciendo el consumo innecesario de agua [13]. Además, en las orquídeas negras de Papúa, un sistema de riego automatizado con energía solar logró reducir el consumo energético en un 85 %, permitiendo supervisión remota con latencias de solo 20 segundos [14]. Estos avances han mitigado los efectos del riego manual, asegurando un suministro hídrico eficiente acorde a las condiciones ambientales.

Otras innovaciones incluyen el uso de agua magnetizada en la fitorremediación del cadmio (*Festuca arundinacea*), lo que mejora la absorción y eliminación de contaminantes [15]. También, los Acuerdos de Compartición de Datos (DSA) han facilitado el acceso seguro a información agrícola clave, promoviendo prácticas sostenibles a través del intercambio de datos [16].

Este estudio evaluará la implementación de una aplicación móvil para el monitoreo de un vivero, optimizando el riego por goteo de orquídeas *Spathoglottis plicata*, mediante la integración de sensores de humedad y temperatura con una aplicación móvil y una base de datos en *Firestore*. Se establecerá un protocolo de riego ajustado a las estaciones, con cinco aplicaciones semanales en verano y tres en invierno, optimizando el uso del agua y mejorando las condiciones de crecimiento en entornos controlados. Este proyecto se desarrolló en un vivero inteligente ubicado en la región San Martín, Perú, una zona con condiciones climáticas favorables para la producción de orquídeas tropicales.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

La incorporación de tecnologías IoT en sistemas agrícolas ha permitido avanzar hacia una agricultura más eficiente, sostenible y automatizada. En el cultivo de orquídeas, donde las condiciones ambientales deben ser estrictamente controladas, diversos estudios han demostrado el potencial de los sistemas inteligentes para optimizar el manejo de recursos hídricos y mejorar la salud de las plantas.

Ardiansah et al. [6] realizaron una revisión sobre el uso de microcontroladores como *Arduino* y sensores ambientales en sistemas de agricultura protegida con IoT, particularmente en invernaderos. Detallan sensores utilizados (temperatura, humedad, suelo), tipos de conexiones inalámbricas (*Bluetooth*, *Zigbee*, *Wi-Fi*), y estructuras de automatización con bajo costo, incluyendo casos aplicados a orquídeas. Este estudio se relaciona con nuestra propuesta por su enfoque en soluciones tecnológicas accesibles para monitoreo agrícola, aunque se basa en revisiones sin implementación práctica ni desarrollo de aplicaciones móviles como el sistema propuesto para orquídeas amazónicas.

Rayhana et al. [17] presentan una revisión integral sobre las tecnologías IoT aplicadas a la agricultura en invernaderos inteligentes. Analizan arquitecturas, sensores, protocolos de comunicación (como *ZigBee*, *LoRa*, *WiFi*), computación en la nube y en el borde, así como técnicas de toma de decisiones basadas en inteligencia artificial y lógica difusa. También destacan los desafíos pendientes como la interoperabilidad, seguridad de datos, y la necesidad de modelos de decisión más precisos y crop-specific. Este estudio aporta un marco amplio que respalda la pertinencia del uso de sensores IoT y plataformas móviles en nuestra propuesta de monitoreo para el cultivo de orquídeas, posicionando nuestro enfoque como una aplicación concreta y localizada dentro de un campo emergente de investigación global.

Hadi et al. [18] desarrollaron un sistema inteligente de invernadero para el cultivo de orquídeas, empleando sensores de temperatura y humedad, controladores basados en lógica difusa (*fuzzy logic*) y conectividad IoT con monitoreo web en tiempo real. El sistema regula automáticamente el ambiente mediante un generador de niebla y un ventilador, adaptando las condiciones a las necesidades específicas de las orquídeas tropicales. Esta propuesta es altamente relevante para nuestro estudio, ya que también se enfoca en el monitoreo de variables climáticas en orquídeas mediante IoT. A diferencia del trabajo actual, que utiliza *Firestore* y una aplicación móvil para seguimiento ambiental, Hadi et al. implementan control inteligente autónomo con *fuzzy logic* y visualización web.

Chang et al. [19] diseñaron un sistema de riego automático para orquídeas usando visión por computadora e inteligencia artificial. El sistema identifica la unión entre tallo y raíz como punto óptimo de riego mediante detección con YOLOv3 y posicionamiento 3D con cámaras estéreo. Además, emplea motores controlados por Arduino y una boquilla de riego móvil para aplicar agua con precisión según el tamaño y la posición de cada plántula. Esta propuesta se alinea directamente con nuestro estudio al enfocarse en el cultivo de orquídeas con tecnologías inteligentes, aunque nuestro enfoque es más accesible y local, integrando sensores físicos, Firebase y una aplicación móvil personalizada.

Spanaki et al. [16] proponen un marco de control de acceso a datos basado en roles (RBAC) para entornos de Agricultura 4.0, integrando inteligencia artificial para definir automáticamente quién puede acceder a qué tipo de datos agrícolas. Su sistema permite gestionar la privacidad y gobernanza en granjas inteligentes mediante razonamiento lógico y acuerdos de intercambio de datos. Aunque no se centra en cultivos específicos ni en orquídeas, este trabajo se relaciona con nuestra propuesta por su enfoque en IoT, automatización y gestión inteligente de datos, elementos clave en nuestro sistema de monitoreo agrícola con aplicación móvil y sensores en tiempo real.

Ccalli Pacco [1] simuló un sistema de control inteligente de temperatura e irrigación en un invernadero para el cultivo de tulipanes en Ilo, Perú, utilizando lógica difusa y la plataforma LabView. El sistema activa o desactiva automáticamente un sistema de enfriamiento y define la frecuencia de riego según la humedad del ambiente, manteniendo la temperatura constante en 15 °C. Esta investigación guarda relación directa con nuestro trabajo al aplicar lógica difusa e IoT en entornos agrícolas controlados; sin embargo, la propuesta de Ccalli es una simulación en LabView sin implementación física ni interfaz móvil, a diferencia del presente estudio que involucra sensores físicos reales, Firebase y una app para monitoreo en campo en el cultivo de orquídeas amazónicas.

Chen et al. [9] desarrollaron un sistema de inspección inteligente para el crecimiento de orquídeas en invernaderos, empleando aprendizaje auto-supervisado y sensores IoT para la clasificación y monitoreo de 219 especies de orquídeas. Su plataforma combinó redes neuronales profundas (ResNet-50) y la visualización en tiempo real a través de una interfaz de usuario, alcanzando una precisión del 98.6 % en la identificación de especies. Este sistema demostró el potencial de la inteligencia artificial integrada con tecnologías IoT (AIoT) en el monitoreo avanzado de floricultura de precisión. Aunque este enfoque se centra en la visión computacional y el análisis de imágenes, contrasta con el presente estudio, el cual prioriza la automatización de riego y el monitoreo ambiental mediante sensores físicos y una aplicación móvil, adaptados al contexto productivo de la Amazonía peruana.

Achmad Fauzy et al. [20] implementaron un sistema de monitoreo y predicción de humedad para el cultivo de orquídeas en interiores, usando un sensor DHT-11, un módulo ESP8266, una pantalla LCD y un humidificador activado automáticamente mediante relé. El sistema predice la humedad futura mediante regresión lineal y actúa cuando cae por debajo del 50 %, almacenando los datos en Firebase. Esta propuesta se relaciona con nuestro trabajo al utilizar sensores IoT, predicción ambiental y Firebase, aunque se enfoca solo en humedad y no contempla una aplicación móvil ni otras variables como temperatura del sustrato o iluminación.

Aguilar-González et al. [7] desarrollaron una red de sensores de bajo costo basada en Arduino para monitorear la temperatura en invernaderos agrícolas. El sistema, que incluye nodos remotos y una unidad central conectada a la plataforma ThingSpeak, permite detectar zonas con mayor temperatura y aplicar riegos localizados mediante interpolación IDW. Aunque centrado en tomates y sin app móvil, este estudio guarda relación con nuestro trabajo al emplear tecnologías accesibles, redes de sensores e IoT para mejorar la eficiencia hídrica en cultivos en ambientes controlados.

Sukarwoto et al. [14] desarrollaron un sistema automático de riego para orquídeas negras de Papúa, basado en IoT y energías renovables. El sistema combina sensores de humedad, Arduino Mega 2560, NodeMCU ESP8266, bomba de agua, y una interfaz móvil mediante la app Blynk. Se alimenta con paneles solares y permite monitoreo y control remoto del riego con una latencia promedio de 20 segundos. Esta propuesta se relaciona estrechamente con nuestro trabajo al compartir el enfoque en orquídeas tropicales y el uso de IoT para optimizar el riego; sin embargo, se diferencia por su énfasis en energía solar y el uso de Blynk como interfaz, mientras que nuestro sistema usa Firebase y una aplicación móvil desarrollada a medida.

Pumacota et al. [21] desarrollaron un sistema inteligente de riego basado en IoT usando el microcontrolador ESP8266, sensores de humedad del suelo, temperatura, y flujo de agua, además de una plataforma web para el monitoreo en tiempo real. Aplicaron el sistema al cultivo de rabanitos, comparando su eficiencia con el riego tradicional. El sistema inteligente logró un uso eficiente del agua entre el 90 % y 95 %, y una mayor productividad del cultivo. Este trabajo se relaciona estrechamente con nuestra propuesta al integrar sensores físicos, control automatizado de riego y monitoreo remoto, aunque el presente estudio lo adapta específicamente al cultivo de orquídeas tropicales en la Amazonía peruana y mediante una aplicación móvil conectada a Firebase.

Mohammad Pandi et al. [2] diseñaron un sistema de monitoreo IoT para un invernadero de cultivo de ají, integrando sensores de temperatura, humedad del suelo, luz y pH, con un microcontrolador NodeMCU ESP8266 y la plataforma Ubidots. El sistema permite visualizar datos en tiempo real, activar actuadores como ventiladores y bombas de riego, y clasificar las condiciones del cultivo (normales o no) mediante un algoritmo SVM con 94.5 % de precisión. Este trabajo se relaciona estrechamente con el nuestro por su enfoque en agricultura inteligente mediante IoT, aunque nuestro sistema se orienta a orquídeas y utiliza Firebase como backend y una app móvil personalizada.

Dong et al. [22] desarrollaron un sistema IoT de bajo costo (LOCOMOS) para gestionar el riego de cultivos como maíz, arándanos y tomates en Michigan. El sistema incluye sensores de humedad a diferentes profundidades, sensores climáticos y una aplicación móvil que ofrece recomendaciones de riego en tiempo real. Los resultados mostraron un ahorro de agua de hasta 30 % sin afectar el rendimiento de cultivos. Este estudio se relaciona con nuestra propuesta al aplicar sensores IoT, visualización móvil y automatización del riego, aunque con un enfoque multiescalar y mayor complejidad técnica, mientras que nuestro sistema busca ser accesible y contextualizado al cultivo de orquídeas amazónicas.

Liang et al. [23] analizaron los efectos de la fragmentación del hábitat sobre la diversidad genética de *Phaius flavus* en China, tras la construcción de una carretera que dividió una población en dos parches. Usando análisis de SNPs, encontraron una diferenciación genética moderada ( $F_{st} = 0.055$ ) y alta diversidad mantenida por flujo génico vía reproducción sexual. Aunque no abordan tecnologías IoT ni control

automatizado, sus hallazgos destacan la fragilidad ecológica de las orquídeas ante disturbios humanos, reforzando la relevancia de soluciones tecnológicas como las propuestas en nuestro estudio para su monitoreo y conservación.

Luo et al. [15] investigaron cómo el riego con agua magnetizada afecta la acumulación subcelular de cadmio (Cd) en *Festuca arundinacea*, una especie usada en fitorremediación. Encontraron que el agua tratada con campo magnético mejora el transporte de Cd hacia las hojas senescentes, reduciendo su toxicidad al transformarlo en formas menos móviles. Aunque el estudio no involucra tecnologías IoT ni control de riego automatizado, aporta una visión innovadora sobre cómo técnicas de bajo costo pueden optimizar procesos agrícolas, siendo útil como antecedente complementario para estrategias de eficiencia y sostenibilidad en el manejo hídrico.

Chen et al. [12] desarrollaron OrchidTalk, una plataforma IoT con inteligencia artificial para detectar enfermedades poco frecuentes en orquídeas *Phalaenopsis* dentro de invernaderos inteligentes altamente controlados. A diferencia de los métodos tradicionales basados en análisis en el dominio del tiempo, OrchidTalk transforma los datos de temperatura y humedad en el dominio tiempo-frecuencia usando continuous wavelet transform (CWT), logrando una precisión del 99 % y un F1-score de 0.911. Esta solución se relaciona estrechamente con nuestro sistema IoT de monitoreo para orquídeas amazónicas, al compartir el enfoque en detección temprana de condiciones críticas mediante sensores ambientales. No obstante, OrchidTalk se diferencia por su sofisticado uso de modelos ConvLSTM 3D y procesamiento avanzado de señales para abordar eventos raros de enfermedad.

Li et al. [24] comparan las políticas y regulaciones sobre conservación de orquídeas en 45 países, resaltando que la mayoría priorizan la conservación in situ, mientras que las medidas ex situ están poco desarrolladas. Analizan 3418 políticas, identifican más de 370 ONGs activas y destacan el liderazgo de países como EE.UU., Australia y Canadá. Aunque no aborda tecnologías de monitoreo, este estudio contextualiza la urgencia y retos de conservar especies sensibles como las orquídeas, aportando un marco global que refuerza la relevancia de herramientas digitales como las planteadas en nuestro sistema IoT para orquídeas tropicales amazónicas.

Por otro lado, Maleesha & Suranjini [13] implementaron un sistema automatizado de distribución de agua para el cultivo de orquídeas *Dendrobium Phalaenopsis*, utilizando sensores de humedad, temperatura y humedad relativa conectados a la plataforma Arduino Cloud. Su sistema de riego por demanda mantuvo niveles óptimos de humedad del suelo (>30 %), redujo el consumo de agua en un 35 % y mejoró indicadores como el tamaño de las hojas y la calidad de la floración. Esta investigación valida la eficacia de la automatización en viveros de orquídeas tropicales y es directamente comparable con el presente estudio, que también propone un sistema de riego automatizado, aunque orientado a *Spathoglottis plicata* y operado mediante una aplicación móvil vinculada a Firebase

### III. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS

A continuación, se presentan los pasos para el desarrollo del invernadero inteligente basado en IoT.

#### *Desarrollo de Hardware*

La Figura 1 muestra el diagrama esquemático que ilustra el sistema de monitoreo en tiempo real del invernadero implementado en el circuito. Este sistema cuenta con microcontroladores (Arduino Mega 2650 y ESP32-Cam), sensores (YL-38 y DHT22), actuadores (relé, ventiladores y bomba de agua sumergible) y un sistema de gestión de energía que incluye un power bank, un módulo de carga y paneles solares. El relé activa los ventiladores de 9V cuando la temperatura ambiente supera el rango preestablecido y activa la bomba cuando se detecta baja humedad en el suelo. El power bank suministra hasta 9V, mientras que el microcontrolador proporciona 5V para alimentar los sensores y la cámara. Para asegurar la conectividad a Internet, el sistema integra el ESP32-Cam en lugar de depender únicamente del Arduino Mega 2650, utilizando la cámara para el monitoreo en tiempo real de las plantas.

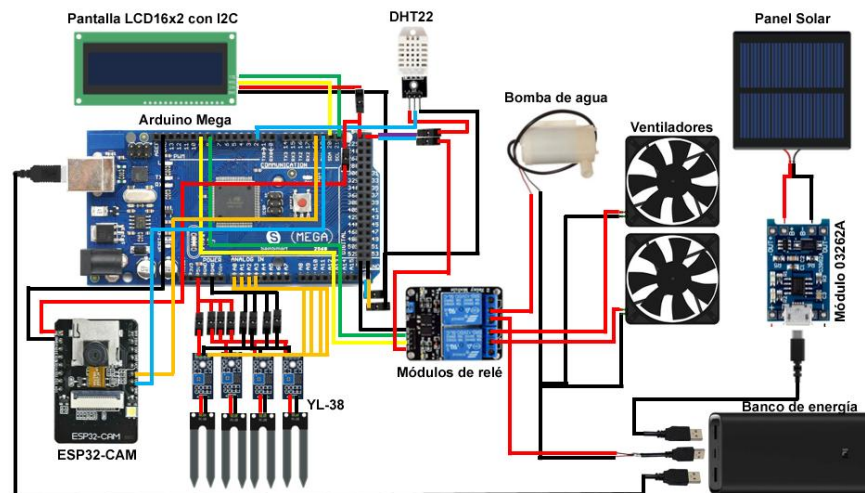


Figura 1: Propuesta de desarrollo de hardware.  
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, en esta investigación se utilizaron dos microcontroladores, el detalle de cada componente se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Especificación de Hardware

Ítem	Hardware	Especificación
1	Temperatura & Humedad (DHT22)	Temperatura: -40°C to 80°C. Humedad: 0% to 100%.
2	Humedad del suelo (YL-38)	3.3V a 5V es el voltaje de funcionamiento. Modo de salida dual para el módulo, salida analógica más precisa.
3	Arduino Mega 2650	5V es el voltaje de funcionamiento. 7–12 V es el voltaje de entrada sugerido. 6–20 V es el voltaje de entrada (límite). 16 MHz es la velocidad del reloj. El gestor de arranque utiliza 8 KB de los 256 KB de memoria flash. 54 pines de E/S digitales, 15 de los cuales pueden generar PWM.
4	ESP32-Cam	5V es el voltaje de funcionamiento. 3,3 V es el voltaje de entrada/salida (GPIO). SoM: ESP-32S de AI-Thinker. ESP32 (ESP32-D0WDQ6) es el SoC. CPU: Tensilica Xtensa LX6 de doble núcleo y 32 bits. También están disponibles una antena PCB Bluetooth 4.2, Wi-Fi 802.11b/g/n y un conector de antena externa. Cámara OV2640.
5	Pantalla LCD 16x2 con I2C	Pantalla: 2 x 16 caracteres. Tensión de funcionamiento 5 V. Módulo I2C: PCF8574 (dirección 0x27 o 0x3F). Ajuste de contraste con potenciómetro.
6	Módulo de relé	Relé remoto multiuso de 12V con cuatro canales. Controlador inalámbrico de dos canales.
7	Banco de energía	Operating voltage 9 V / 10 A.
8	Panel Solar	Tensión de funcionamiento 9V / 2W.
9	Ventiladores	Tensión de funcionamiento 12V / 0.15A, 11 palas. Velocidad nominal: 1200 RMP. Rodamiento hidráulico.
10	Módulo 03262A	Tensión de funcionamiento 4,5 V – 5,5 V. Tensión de carga en CV: 4,2 V. Temperatura de trabajo: -10°C a 85°C. Entrada tipo micro-USB.
11	Bomba de agua	Tensión de funcionamiento 2,5 V - 6 V. Máx. altura de bombeo: 40-110 cm. Máx. Caudal de bombeo: 80-120 l/h.

Fuente: Elaboración propia.

### Diagrama de Arquitectura del Sistema

La Figura 2 muestra el diagrama del sistema de monitoreo del invernadero de orquídeas. El sistema está compuesto por dos secciones: la parte de control y la parte de monitoreo. En la sección de control, los actuadores desempeñan un papel fundamental en la regulación precisa de los parámetros del cultivo. Los actuadores —ventiladores y bomba de agua— son los dispositivos clave que permiten mantener bajo control las variables del cultivo. Para el monitoreo, se utilizan sensores avanzados como el DHT22, que mide tanto la humedad relativa como la temperatura ambiente, y un sensor especializado para medir la humedad del suelo. El módulo ESP32-Cam funciona como enlace Wi-Fi, transmitiendo los datos obtenidos en tiempo real a Firebase, una plataforma de almacenamiento en la nube orientada a bases de datos en tiempo real.

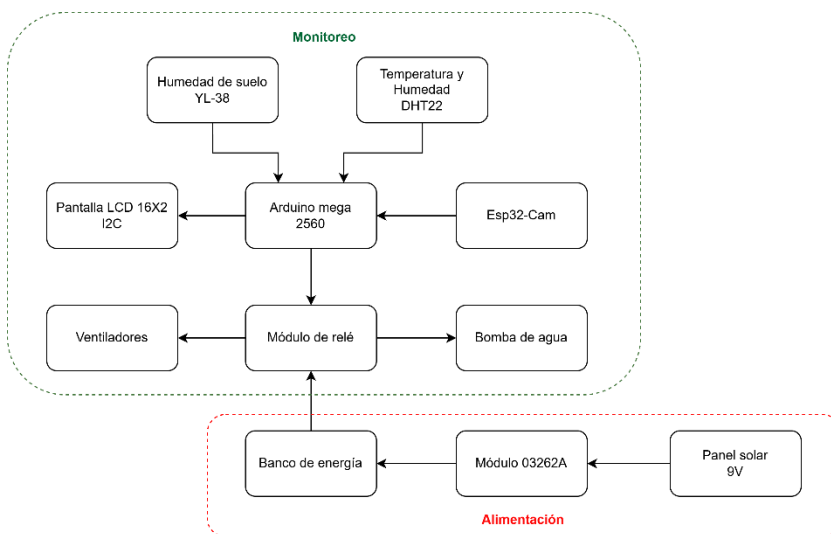


Figura 2: Diagrama de Bloque.  
Fuente: Elaboración propia.

### Funcionamiento del Sistema

El diagrama de flujo del invernadero de orquídeas se muestra en la Figura 3. Antes de que el sistema comience a funcionar, se configuran el Arduino Mega 2560, el ESP32-Cam y todos los sensores, incluidos el DHT22 y los sensores de humedad del suelo. Luego, los sensores recopilan los valores que corresponden a los parámetros actuales de la orquídea y envían esta información al microcontrolador. Posteriormente, la información se transmite a la nube de Firebase, lo que permite la visualización en tiempo real de los parámetros tanto en los tableros de

Firestore como en la aplicación móvil desarrollada en Flutter, que utiliza la cámara del ESP32-Cam para la visualización. Además, el sistema puede controlar los actuadores, garantizando que se mantengan las condiciones ideales dentro del invernadero.

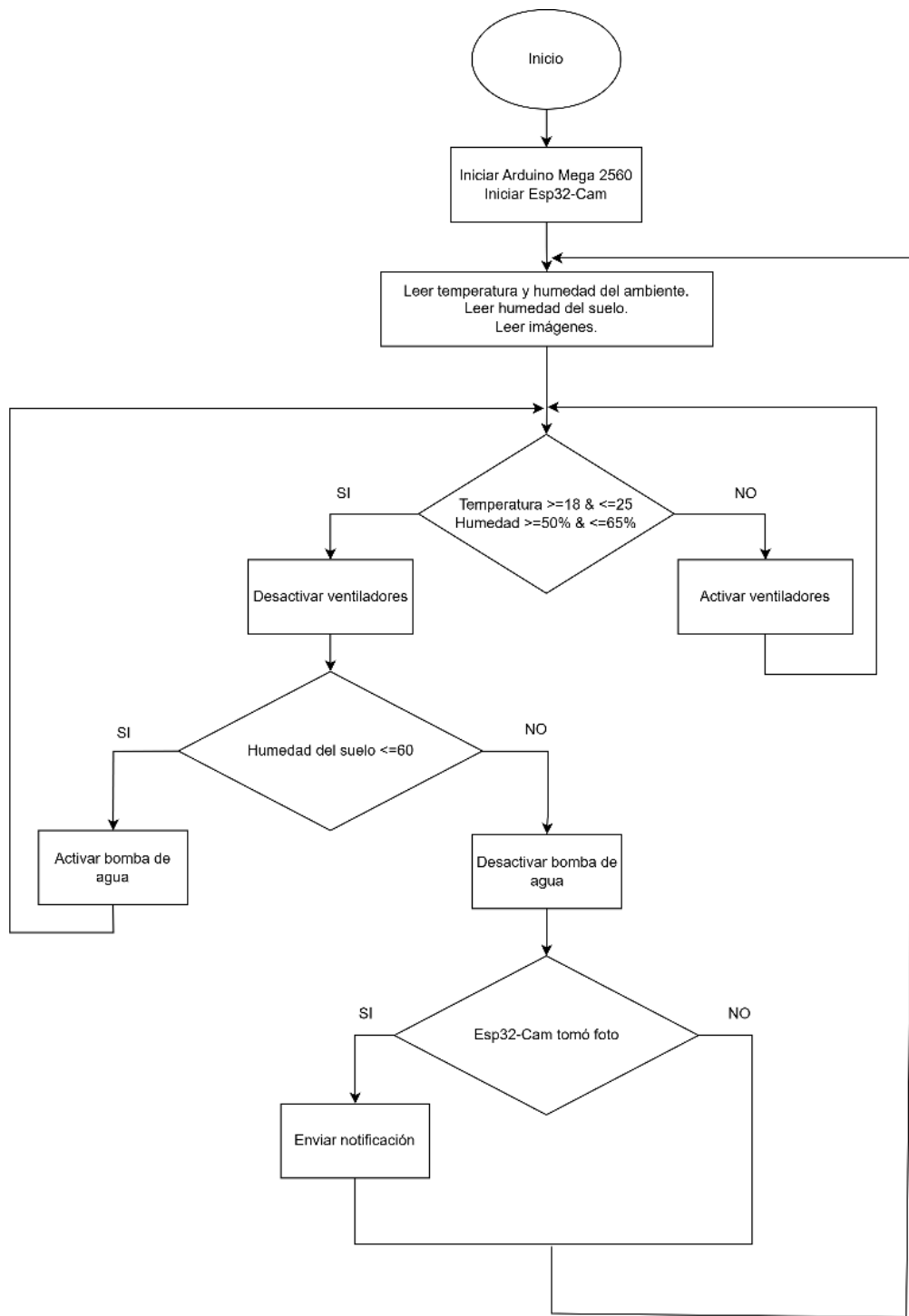


Figura 3: Diagrama de flujo.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen los pasos involucrados en el desarrollo de la aplicación.

### ***Diseño de la Aplicación Móvil***

La Figura 4 muestra cómo se desarrolló la interfaz de la aplicación móvil "Orchid App". Fue creada para gestionar un sistema integrado de ventilación, riego y monitoreo de datos. Esta aplicación, que se conecta mediante el módulo ESP32-Cam, permite la visualización en tiempo real de la temperatura y la humedad. Además, incluye botones para encender o apagar la bomba de agua y los ventiladores, así como un botón adicional para activar la cámara.



Figura 4: Pantallazo de aplicación OrchidApp.  
Fuente: Elaboración propia.

### ***Invernadero a escala***

La Figura 5 muestra un prototipo a escala reducida de un vivero de orquídeas, cubierto con mallas de protección que resguardan las plantas del entorno exterior. Este modelo integra un sistema automatizado de riego y ventilación, gestionado por un microcontrolador Arduino Mega y monitoreado en tiempo real mediante una aplicación móvil. El diseño busca garantizar condiciones ambientales óptimas para el crecimiento y desarrollo eficiente de las orquídeas, permitiendo un control preciso de variables críticas como la temperatura, la humedad y la humedad del suelo.



Figura 5: Prototipo de invernadero IoT a pequeña escala.  
Fuente: Elaboración propia.

### ***Orquídea Spathoglottis Unguiculata***

Como se muestra en la Figura 6, la orquídea terrestre *Spathoglottis unguiculata* prospera en temperaturas cálidas propias de su hábitat tropical y requiere altos niveles de humedad ambiental. Prefiere espacios con luz brillante

pero indirecta, aunque puede tolerar algo de luz solar directa durante las primeras horas de la mañana o al final de la tarde. Debido a sus necesidades particulares, demanda cuidados específicos para su desarrollo. A través del vivero inteligente basado en IoT, se garantiza la dosificación adecuada de agua y una ventilación constante que favorece un entorno confortable para su crecimiento. Además, el sistema protege a la planta de plagas e insectos, y permite visualizar el entorno del vivero en tiempo real mediante una cámara integrada. Estas condiciones garantizan un entorno ideal para la producción y el desarrollo óptimo de la orquídea.



Figura 6: Plántula de *Spathoglottis Unguiculata*.  
Fuente: Elaboración propia.

#### IV. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

##### *Elementos Tecnológicos del Vivero*

Como se muestra en la

Figura 7, los componentes del sistema están distribuidos estratégicamente para optimizar el funcionamiento y facilitar el mantenimiento. En la parte posterior del vivero se ubican los ventiladores, un recipiente de 500 ml que aloja la bomba de agua sumergible y una manguera encargada de irrigar directamente las macetas de las orquídeas. En la parte frontal se encuentra una pantalla LCD que muestra en tiempo real la temperatura y la humedad, junto al módulo ESP32-Cam, instalado junto a la puerta para permitir la vigilancia del entorno y la detección de insectos. Dentro del invernadero, se han dispuesto sensores DHT22 sobre el poste de una columna para el monitoreo ambiental y sensores YL-38 insertados en las macetas para medir la humedad del sustrato. El microcontrolador Arduino Mega se encuentra próximo a las plantas, mientras que el panel solar está instalado en la parte superior del techo. Todas las conexiones se han realizado siguiendo el diagrama del circuito electrónico, lo que no solo garantiza el correcto funcionamiento del sistema de riego y ventilación, sino que también contribuye a una disposición estética y organizada de los componentes.

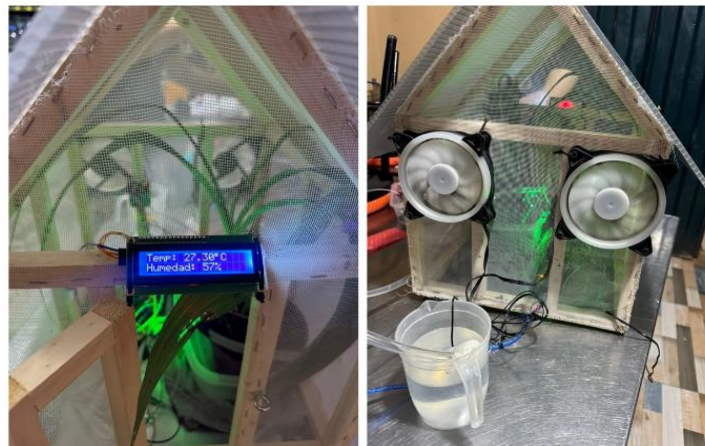
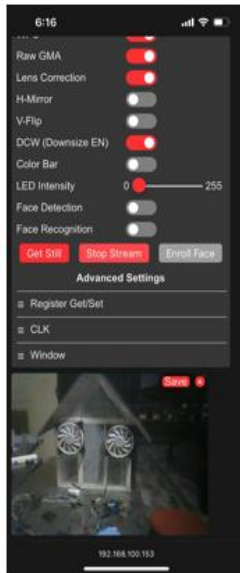


Figura 7: Prototipo de invernadero inteligente para orquídeas.  
Fuente: Elaboración propia.

##### *Visualización en Tiempo Real mediante Cámara*

La Figura 8 muestra la transmisión en tiempo real captada por la cámara del sistema, accesible desde dispositivos móviles y navegadores web. Esta visualización permite observar con detalle tanto la parte posterior como el interior del invernadero inteligente, facilitando un monitoreo constante de las condiciones del entorno gracias al módulo ESP32-Cam.

## CÁMARA EN DISPOSITIVO MÓVIL



## CÁMARA EN NAVEGADOR WEB

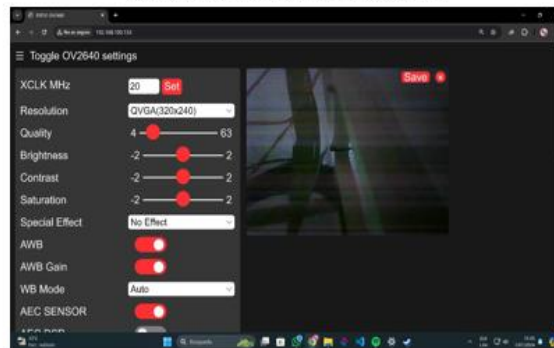


Figura 8: Transmisión en Vivo desde la Cámara OV2640 (ESP32-Cam).  
Fuente: Elaboración propia.

## Desarrollo y Producción de Orquídeas

La Figura 9 muestra dos ejemplares de orquídeas: una en plena fase de floración y otra en etapa previa a la apertura de sus flores. Estas plantas son el resultado de tres meses de seguimiento en un vivero IoT que integra sistemas de riego por goteo y ventilación automatizada. La combinación de estas tecnologías, junto con la aplicación de fertilizantes específicos, ha permitido mantener condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de las orquídeas, logrando ejemplares de alta calidad, aptos para su comercialización.



Figura 9: Orquídeas *Spathoglottis unguiculata*.  
Fuente: Elaboración propia.

## Registro de Consumo Hídrico

La Tabla 2 se presenta el consumo de agua semanal y mensual del vivero IoT, así como el cálculo del costo por metro cúbico, según la tarifa vigente proporcionada por la empresa prestadora del servicio de agua potable.

Tabla 2: Gasto de agua potable utilizado por el vivero IoT.

Fórmula	Una semana	Costo con recibo de agua al mes
$L = \frac{ml}{1000L}$	Se utilizó un recipiente de 500ml de agua. $\frac{1800ml}{1000L} = 1.8L$	El mes puede variar (29, 30 o 31 días). $1.8L \times 23 \text{ días} = 41.4L$ $volumen (m^3) = \frac{volumen (L)}{1000L}$ $m^3 = \frac{41.4L}{1000L} = 0.0414m^3 \text{ al mes.}$ Empresa de agua potable: 0.496 céntimos tarifican por $m^3$ . $costo = 0.0414 m^3 \times 0.496$ $costo = 0.020$ El costo corresponde a 0.020 céntimos.

Fuente: Elaboración propia.

### Consumo de energía eléctrica

La Tabla 3 presenta el consumo de energía del vivero IoT durante una noche y su proyección mensual, así como el cálculo del costo por kWh, de acuerdo con la tarifa vigente establecida por la empresa proveedora del servicio eléctrico.

Tabla 3: Gasto de energía eléctrica utilizado por el vivero IoT.

Fórmula	Una noche	Costo con recibo de luz al mes
$Wh = \frac{mAh \times V}{1000Ah}$	Se utilizó un Power Bank de: 9V con 10,000 mAh. Conectado 1durante 3 horas con corriente directa de 7:00 p.m a 08:00 a.m. $Wh = \frac{10,000mAh \times 9V}{1000Ah} = 90Wh$ $wh = 90Wh \times 13 \text{ hrs} = 1170Wh$	$kWh = \frac{1170Wh}{1000Ah} = 1.17kWh$ El mes puede variar (29, 30 o 31 días). $1.17kWh \times 29 \text{ días} = 33.93kWh$ Electro Oriente S.A: 0.07984 céntimos tarifa por kWh. $costo = 33.93kWh \times 0.07984$ $costo = 2.70$ El costo corresponde a 2 soles con 70 céntimos.

Fuente: Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió comprobar la viabilidad de implementar un sistema de monitoreo ambiental en tiempo real para el cultivo de orquídeas tropicales, utilizando tecnologías accesibles como sensores físicos, microcontroladores y una aplicación móvil conectada a la nube. La integración del sistema IoT con control de riego y ventilación automatizada demostró ser eficaz para mantener condiciones estables dentro del vivero, lo cual impactó positivamente en el crecimiento y floración de las orquídeas.

Tras tres meses de funcionamiento continuo, se observó una mejora en la calidad de las plantas, logrando ejemplares saludables y en etapa de floración, aptos para su comercialización. Además, el análisis del consumo hídrico y energético evidenció que el sistema favorece el uso eficiente de los recursos.

El riego por goteo automatizado permitió reducir el desperdicio de agua al adaptarse a las condiciones climáticas de la región, mientras que el consumo eléctrico mensual fue mínimo, validando la sostenibilidad operativa del prototipo. Este enfoque contribuye a minimizar el esfuerzo del productor, reduce la intervención manual y optimiza el uso de insumos agrícolas. El estudio también representa un aporte concreto a la innovación tecnológica en contextos amazónicos, al adaptar herramientas digitales globales a una problemática local, promoviendo una agricultura tecnificada y ambientalmente responsable.

El sistema desarrollado no solo es funcional, sino también replicable y escalable, con potencial para ser implementado en otros cultivos o zonas rurales que enfrenten desafíos similares. Su aplicabilidad en entornos con acceso limitado a recursos y conectividad refuerza su valor como solución pertinente para el desarrollo agrario regional. En síntesis, el vivero inteligente propuesto demuestra que la incorporación de tecnologías IoT en la floricultura amazónica es no solo posible, sino estratégica para mejorar la producción, garantizar sostenibilidad y acercar a los pequeños productores a una agricultura más digital e integrada.

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda replicar este sistema de monitoreo en otros viveros y cultivos tropicales para evaluar su adaptabilidad en diferentes contextos. Es importante considerar la integración de más sensores, como los de luz, pH o dióxido de carbono, que permitan un control aún más completo del ambiente del cultivo. Además, se sugiere mejorar la autonomía energética del sistema, incorporando baterías de mayor capacidad o combinando energía solar con otras fuentes.

Para aprovechar al máximo los datos recolectados, sería útil implementar herramientas de análisis automatizado que ayuden a detectar patrones, anticipar problemas y tomar decisiones de forma más eficiente. Asimismo, se recomienda reforzar la seguridad de la información transmitida a través de la nube, incorporando medidas de protección de datos.

En cuanto a la transferencia del conocimiento, se plantea la necesidad de capacitar a pequeños productores para que puedan adoptar estas tecnologías de forma sencilla. También se sugiere validar el sistema en condiciones comerciales reales, evaluando su impacto en la producción y en el ahorro de recursos como el agua y la energía.

Finalmente, se alienta a divulgar los resultados del proyecto en espacios académicos y científicos, así como a continuar investigando mejoras que permitan escalar y adaptar esta solución tecnológica en beneficio del desarrollo agrícola sostenible en la Amazonía.

## VII. AGRADECIMIENTOS O FINANCIAMIENTO

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad César Vallejo, sede Tarapoto – Perú, por el apoyo brindado mediante la disposición de sus ambientes para el desarrollo de esta investigación.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] H. Ccalli Pacco, "Simulation of temperature control and irrigation time in the production of tulips using Fuzzy logic," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 1–12, 2022, doi: [10.1016/j.procs.2022.01.199](https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.199).
- [2] M. S. Mohammad Pandi et al., "IoT Based Greenhouse Condition Monitoring System for Chili Plant Growth," *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 41, no. 1, pp. 142–153, 2024, doi: [10.37934/araset.41.1.142153](https://doi.org/10.37934/araset.41.1.142153).
- [3] M. Danita, B. Mathew, N. Shereen, N. Sharon, and J. J. Paul, "IoT Based Automated Greenhouse Monitoring System," in 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 2018, pp. 1933–1937. doi: [10.1109/ICCONS.2018.8662911](https://doi.org/10.1109/ICCONS.2018.8662911).
- [4] D. Lévano-Rodríguez, J. H. Gonzales-Garay, M. Lévano-Casildo, and J. L. López-Gonzales, "Design of an autonomous multiparameter buoy with photovoltaic energy and remote communication based on IoT for aquaculture environments," *Rev. Científica Sist. E Informática*, vol. 5, no. 1, p. e866, Jan. 2025, doi: [10.51252/rcsi.v5i1.866](https://doi.org/10.51252/rcsi.v5i1.866).
- [5] E. Ayuningsih, S. Suryono, and V. Gunawan, "Fuzzy Rule-Based Systems for Controlling Plant Growth Parameters in Greenhouses Using Fog Networks," in 2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), 2019, pp. 1–6. doi: [10.1109/ICIC47613.2019.8985857](https://doi.org/10.1109/ICIC47613.2019.8985857).
- [6] I. Ardiansah, N. Bafdal, E. Suryadi, and A. Bono, "Greenhouse Monitoring and Automation Using Arduino: a Review on Precision Farming and Internet of Things (IoT)," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 703–709, Apr. 2020, doi: [10.18517/ijaseit.10.2.10249](https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.2.10249).
- [7] R. Aguilar-González, M. Cárdenas-Juárez, J. C. Rodríguez-Ortiz, and M. J. Romero-Méndez, "Monitoreo de Temperatura Mediante Red de Sensores para Mejorar el Uso del Agua en la Agricultura," *Terra Latinoam.*, vol. 41, 2023, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57375131054>.
- [8] S. R. Barkunan, V. Bhanumathi, and J. Sethuram, "Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 73, pp. 180–193, 2019, doi: [10.1016/j.compeleceng.2018.11.013](https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.11.013).
- [9] L.-B. Chen, G.-Z. Huang, X.-R. Huang, and W.-C. Wang, "A Self-Supervised Learning-Based Intelligent Greenhouse Orchid Growth Inspection System for Precision Agriculture," *IEEE Sens. J.*, vol. 22, no. 24, pp. 24567–24577, 2022, doi: [10.1109/JSEN.2022.3221960](https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3221960).
- [10] S. Khummanee, S. Wiangsamut, P. Sorntepa, and C. Jaiboon, "Automated Smart Farming for Orchids with the Internet of Things and Fuzzy Logic," in 2018 International Conference on Information Technology (IncIT), 2018, pp. 1–6. doi: [10.23919/INCIT.2018.8584881](https://doi.org/10.23919/INCIT.2018.8584881).
- [11] C. Villalobos-Culqui, C. García-Rivas-Plata, and O. A. Tuesta-Hidalgo, "Artificial vision model based on convolutional neural networks for black pod identification in cacao plantations," *Rev. Científica Sist. E Informática*, vol. 5, no. 1, p. e678, Jan. 2025, doi: [10.51252/rcsi.v5i1.678](https://doi.org/10.51252/rcsi.v5i1.678).
- [12] C. Y. T. Chen et al., "CWT IoT Device for Detecting Rare Events of Orchid Disease," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 12, pp. 22830–22842, 2024, doi: [10.1109/JIOT.2024.3383832](https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3383832).
- [13] R. P. G. S. Maleesha and P. D. Suranjini Silva, "Analyzing the Influence of Automated Water Distribution Systems on Precision Irrigation for Orchids: A Case Study Using Dendrobium Phalaenopsis Orchid Group," in 2024 9th International Conference on Information Technology Research (ICITR), 2024, pp. 1–6. doi: [10.1109/ICITR64794.2024.10857793](https://doi.org/10.1109/ICITR64794.2024.10857793).
- [14] Sukarwoto, A. Wimatra, J. V. Palpialy, I. Sulistianingsih, A. Akbar, and D. Nasution, "Internet of Things on Automatic Watering Systems for Papuan Black Orchids," in 2023 Eighth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), 2023, pp. 1–7. doi: [10.1109/ICIC60109.2023.10381975](https://doi.org/10.1109/ICIC60109.2023.10381975).
- [15] J. Luo, S. Feng, M. Li, Y. He, Y. Deng, and M. Cao, "Effect of magnetized water irrigation on Cd subcellular allocation and chemical forms in leaves of Festuca arundinacea during phytoremediation," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 277, p. 116376, 2024, doi: [10.1016/j.ecoenv.2024.116376](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116376).
- [16] K. Spanaki, E. Karafilis, and S. Despoudi, "AI applications of data sharing in agriculture 4.0: A framework for role-based data access control," *Int. J. Inf. Manag.*, vol. 59, p. 102350, 2021, doi: [10.1016/j.ijinfomgt.2021.102350](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102350).
- [17] R. Rayhana, G. Xiao, and Z. Liu, "Internet of Things Empowered Smart Greenhouse Farming," *IEEE J. Radio Freq. Identif.*, vol. 4, no. 3, pp. 195–211, 2020, doi: [10.1109/JRFID.2020.2984391](https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.2984391).
- [18] Mokh. S. Hadi, S. Bhima Satria Rizki, M. A. As-Shidiqi, M. L. Arrohman, D. Lestari, and M. Irvan, "Smart Greenhouse Control System For Orchid Growing Media Based On IoT And Fuzzy Logic Technology," in 2021 1st International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS), 2021, pp. 165–169. doi: [10.1109/ICE3IS54102.2021.9649684](https://doi.org/10.1109/ICE3IS54102.2021.9649684).
- [19] T.-W. Chang, W.-C. Wang, and R. Chen, "Intelligent Control System to Irrigate Orchids Based on Visual Recognition and 3D Positioning," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 10, 2021, doi: [10.3390/app11104531](https://doi.org/10.3390/app11104531).

- [20] R. Achmad Fauzy, H. Hudan Nuha, and A. Hamdi Abo Absa, "Implementation of Monitoring System and Prediction of Room Humidity for Orchid," in 2022 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob), 2022, pp. 1–5. doi: [10.1109/APWiMob56856.2022.10014029](https://doi.org/10.1109/APWiMob56856.2022.10014029).
- [21] E. J. A. Aranibar Pumacota, E. Acuña Melo, and E. A. Velarde Allazo, "Development of a system for intelligent irrigation for the automation of water use," in 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development," Buenos Aires, Argentina: LACCEI, Jul. 2023. doi: [10.18687/LACCEI2023.1.1.918](https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.918).
- [22] Y. Dong, B. Werling, Z. Cao, and G. Li, "Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management," *Frontiers in Water*, vol. 6. 2024. doi: [10.3389/frwa.2024.1353597](https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1353597).
- [23] C. Liang et al., "Human Activity Changed the Genetic Pattern of the Orchid *Phaius flavus* Population," *Diversity*, vol. 16, no. 11, 2024, doi: [10.3390/d16110685](https://doi.org/10.3390/d16110685).
- [24] S. Li et al., "Comparison of Orchid Conservation Between China and Other Countries," *Diversity*, vol. 16, no. 11, 2024, doi: [10.3390/d16110692](https://doi.org/10.3390/d16110692).