Design and simulation of an automated retractable cover system with IoT remote management for berry nurseries in Rodacocha, La Encañada

Arevalo-Ortiz Estela Antuane[1], Estudiante de Ingeniería Industrial[1]; Jimenez-Paredes Emerson [2], Estudiante de Ingeniería Industrial[2]; Julca-Quiroz Annahy Aracely [3], Estudiante de Ingeniería Industrial[3], Pilco-Sánchez Angelo Luciano [4], Estudiante de Ingeniería Industrial[4] Suárez-Ramírez Rodrigo Valentino [5], Estudiante de Ingeniería Industrial[5],

[1-4]Universidad Privada del Norte, Perú, n00276044@upn.pe, n00283981@upn.pe, n00283354@upn.pe, n00327435@upn.pe, n00380404@upn.pe

Abstract*— This study presents the design and simulation of an automated retractable cover system with IoT-based remote management for berry nurseries in Rodacocha, La Encañada, Cajamarca, Peru. The proposed system aims to protect crops from adverse weather conditions by integrating temperature, humidity, and rain sensors with an ESP32 microcontroller and electromechanical actuators. The methodology involved the design of the electronic and control architecture, simulation of the system in Cirkit Designer, and user acceptance evaluation using the SERVQUAL model. Simulation results demonstrated the correct operation of the monitoring and control system, enabling the automatic deployment of the protective cover when environmental variables exceeded predefined thresholds. The acceptance assessment showed positive perceptions regarding safety, reliability, responsiveness, and usability, with an overall favorable evaluation. These findings indicate that the proposed solution is technically feasible and has the potential to improve crop protection, reduce climate-related losses, and support the adoption of smart agriculture technologies. Future work includes the development of a physical prototype and field validation under real operating conditions.

Keywords--IoT, Smart Agriculture, ESP32, Retractable Cover System, Berry Nurseries.

Diseño y simulación de un sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota IoT para viveros de berries en Rodacocha, La Encañada

Arevalo-Ortiz Estela Antuane[1], Estudiante de Ingeniería Industrial[1]; Jimenez-Paredes Emerson [2], Estudiante de Ingeniería Industrial[2]; Julca-Quiroz Annahy Aracely [3], Estudiante de Ingeniería Industrial[3], Pilco-Sánchez Angelo Luciano [4], Estudiante de Ingeniería Industrial[4] Suárez-Ramírez Rodrigo Valentino [5], Estudiante de Ingeniería Industrial[5],

[1-4]Universidad Privada del Norte, Perú, n00276044@upn.pe, n00283981@upn.pe, n00283354@upn.pe, n00327435@upn.pe, n00380404@upn.pe

Resumen*– *La presente investigación presenta el diseño y simulación de un sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota basada en Internet de las Cosas (IoT) para viveros de berries ubicados en Rodacocha, La Encañada, Cajamarca, Perú. El sistema propuesto tiene como finalidad proteger los cultivos frente a condiciones climáticas adversas mediante la integración de sensores de temperatura, humedad y lluvia, un microcontrolador ESP32 y actuadores electromecánicos. La metodología comprendió el diseño de la arquitectura electronica y de control, la simulación del sistema en Cirkit Designer y la evaluación de la aceptación de los usuarios mediante el modelo SERVQUAL. Los resultados demostraron el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo y control, permitiendo el despliegue automático de la cobertura cuando las variables ambientales superan los umbrales establecidos. Asimismo, la evaluación evidenció percepciones favorables respecto a la seguridad, confiabilidad, capacidad de respuesta y facilidad de uso. Se concluye que la propuesta es técnicamente viable y posee potencial para mejorar la protección de los cultivos, reducir pérdidas ocasionadas por eventos climáticos y contribuir a la implementación de tecnologías de agricultura inteligente.

Palabras clave-- IoT, Agricultura Inteligente, ESP32, Sistema de Cobertura Retráctil, Viveros de Berries.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, la agricultura ha representado una de las principales actividades económicas para el desarrollo de las comunidades rurales, debido a su contribución en la producción de alimentos, generación de empleo y sostenibilidad económica de numerosas familias. Sin embargo, los efectos del cambio climático y las constantes variaciones meteorológicas han evidenciado la necesidad de implementar tecnologías que permitan proteger los cultivos frente a fenómenos ambientales adversos. En esta línea, la Organización de las Naciones Unidas, mediante los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promueve el uso de tecnologías sostenibles e innovadoras orientadas a fortalecer la producción agrícola y reducir las pérdidas ocasionadas por factores climáticos **[1].**

En el plano internacional, la automatización agrícola y el uso del Internet de las Cosas (IoT) han permitido desarrollar sistemas inteligentes capaces de supervisar variables ambientales en tiempo real y ejecutar acciones automáticas de protección en los cultivos. La integración de sensores climáticos, plataformas de monitoreo remoto y sistemas de control automatizado representa una alternativa eficiente para optimizar los procesos agrícolas, reducir la intervención humana y mejorar la capacidad de respuesta frente a eventos climáticos repentinos **[2].** Estos avances tecnológicos demuestran que la Agricultura 4.0 no solo constituye una estrategia innovadora para modernizar la producción agrícola, sino también una herramienta importante para fortalecer la sostenibilidad y resiliencia del sector agrícola frente al cambio climático **[3].**

En el Perú, el sector agrícola continúa siendo uno de los principales motores económicos en las zonas rurales; sin embargo, muchas actividades agrícolas aún dependen de procesos manuales que limitan la rapidez y precisión de respuesta frente a fenómenos climáticos como lluvias intensas, heladas y cambios bruscos de temperatura. Asimismo, la limitada incorporación de tecnologías automatizadas dificulta el monitoreo continuo de las condiciones ambientales y reduce la eficiencia operativa de los sistemas de protección agrícola **[4].**

En el ámbito local, la región Cajamarca presenta importantes actividades agrícolas desarrolladas en zonas altoandinas donde las condiciones climáticas generan constantes riesgos para la producción. En el Centro Poblado de Rodacocha, distrito de La Encañada, el cultivo de berries constituye una importante fuente de ingresos económicos para numerosas familias agricultoras. No obstante, los viveros agrícolas se encuentran expuestos permanentemente a eventos climáticos adversos que afectan el crecimiento y protección de las plantas. Actualmente, las coberturas utilizadas para proteger los viveros son accionadas de forma manual, lo que ocasiona dificultades para responder rápidamente ante fenómenos repentinos, especialmente durante horarios nocturnos o cuando no existe presencia permanente del operador [**5].**

Frente a este panorama, la dependencia de mecanismos manuales genera problemas relacionados con el tiempo de respuesta, la precisión de protección y el desgaste prematuro de

los materiales de cobertura. Además, la ausencia de monitoreo remoto impide supervisar en tiempo real las condiciones ambientales dentro de los viveros, incrementando el riesgo de pérdidas agrícolas y afectando la sostenibilidad productiva de los agricultores. Esta problemática evidencia la necesidad urgente de desarrollar sistemas automatizados capaces de responder de forma eficiente y autónoma frente a variaciones climáticas **[6].**

En el presente trabajo se propone el diseño y simulación de un sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota IoT para viveros de berries, utilizando sensores climáticos y un sistema de control automatizado que permita monitorear variables ambientales y activar automáticamente la cobertura protectora frente a eventos climáticos adversos. Este sistema busca mejorar la precisión y rapidez de respuesta mediante tecnologías de automatización, monitoreo remoto y control inteligente aplicados a la protección agrícola. De esta manera, se busca contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas sostenibles orientadas a optimizar la protección de los viveros agrícolas y reducir las pérdidas ocasionadas por factores climáticos **[7].**

Esta investigación tiene como objetivo general diseñar y proponer un sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota IoT que permita mejorar la precisión de respuesta ante eventos climáticos en viveros de berries en el Centro Poblado de Rodacocha, La Encañada. Para lograrlo, se plantea desarrollar un diseño estructural y funcional que considere sensores climáticos, actuadores electromecánicos y plataformas IoT que permitan supervisar y optimizar el funcionamiento del sistema automatizado. Finalmente, se analizará el rendimiento del sistema mediante simulaciones orientadas a evaluar su desempeño frente a diferentes condiciones climáticas.

La investigación sostiene que un sistema automatizado de cobertura retráctil con monitoreo remoto IoT permitirá optimizar significativamente el tiempo y la precisión de respuesta ante eventos climáticos, reduciendo pérdidas agrícolas y fortaleciendo la protección de los viveros de berries mediante una solución tecnológica sostenible y eficiente.

II. METODOLOGÍA

La presente sección detalla el enfoque metodológico y los procedimientos técnicos empleados para el desarrollo, validación y evaluación de aceptación de un sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota IoT, diseñado como una alternativa tecnológica para la protección de cultivos de berries en la región Cajamarca, Perú. El diseño metodológico se estructuró a partir de la identificación de la población objetivo y la selección de una muestra representativa del sector agropecuario local. Asimismo, abarca la arquitectura del prototipo electrónico, los mecanismos de control automatizado y las fases de validación técnica y social del sistema, asegurando la viabilidad operativa y la pertinencia social de la solución tecnológica propuesta.

Elemento	Descripción
Población objetivo	Productores agrícolas, responsables de viveros y pequeños agricultores de la región Cajamarca, potencialmente interesados en la implementación de un sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota IoT para la protección de cultivos de berries.
Datos poblacionales	La región Cajamarca cuenta con una población aproximada de 1.4 millones de habitantes, de los cuales alrededor del 60 % reside en zonas rurales, donde predomina la actividad agrícola (INEI, 2024).
Segmento de mercado	Se considera un universo aproximado de 250 000 unidades agropecuarias rurales en la región Cajamarca.
Muestra propuesta (n)	30 participantes.
Distribución de la muestra	20 productores agrícolas (67 %), 5 responsables de viveros (17 %) y 5 técnicos o estudiantes vinculados al área (16 %).
Método de muestreo	No probabilístico por conveniencia, estratificado según tipo de participante.
Criterios principales	Se priorizó la participación de personas que desarrollen actividades agrícolas, operen viveros o tengan conocimiento en automatización. Se excluyeron participantes sin relación con el sector o con información incompleta.
Fuente de datos	Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2024).

Fig. 1 Segmentación del mercado

La población del estudio está conformada por productores agrícolas, responsables de viveros e instituciones vinculadas al sector agrícola de la región Cajamarca, Perú, potencialmente interesados en la implementación de un sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota IoT como alternativa para la protección de cultivos de berries. Considerando que aproximadamente el 64.6 % de la población de la región reside en zonas rurales **[8]**, se propone una muestra de 30 participantes, integrada por 20 productores agrícolas (67 %), 5 responsables de viveros (17 %) y 5 técnicos o estudiantes del área (16 %). El tamaño de la muestra se determinó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

El estudio adopta un diseño preexperimental aplicado orientado al desarrollo y validación de un sistema automatizado de cobertura retráctil en entornos agrícolas. La estrategia combina la simulación del sistema, pruebas funcionales del prototipo y una encuesta virtual para medir la aceptación por parte de los usuarios potenciales.

El sistema propuesto incluye sensores de temperatura y humedad (DHT11 o DHT22), un sensor de lluvia y un microcontrolador ESP32 encargado del procesamiento de datos y la transmisión de información en tiempo real mediante tecnología IoT **[9]**. Asimismo, incorpora actuadores electromecánicos que permiten el despliegue y retracción automática de la cobertura protectora, además de un display LCD 16x2 para la visualización de datos, potenciómetros para calibración y resistencias para el control del circuito.

El sistema está controlado por el microcontrolador, el cual procesa continuamente las señales de los sensores y ejecuta acciones automáticas cuando las variables ambientales superan los umbrales establecidos, permitiendo activar de manera inmediata la cobertura retráctil ante eventos climáticos adversos **[10]**. En fases futuras, se contempla la integración de plataformas IoT para el monitoreo remoto en tiempo real.

En términos de seguridad y ética, el sistema considera la correcta alimentación eléctrica, la verificación de conexiones y la calibración de sensores para evitar fallos durante la

simulación. Asimismo, se garantiza el uso responsable de la tecnología, procurando que el sistema no genere riesgos para los usuarios ni afecte negativamente el entorno agrícola. La información recolectada mediante encuestas será utilizada únicamente con fines académicos, asegurando la confidencialidad y anonimato de los participantes, cuya participación será voluntaria. Además, se respetan principios de integridad académica mediante la correcta citación de fuentes.

La captación de información se organiza en tres etapas. En la primera etapa, se realiza la simulación del circuito en Cirkit Designer, verificando el correcto funcionamiento del sistema. En la segunda etapa, se evalúa el comportamiento frente a escenarios climáticos simulados, registrando variables como tiempo de respuesta y precisión. Finalmente, en la tercera etapa, se aplica una encuesta virtual basada en el modelo SERVQUAL para analizar la percepción de los usuarios. Los datos serán analizados mediante estadística descriptiva para evaluar la viabilidad del sistema.

III. RESULTADOS

TABLA I

EVALUACIÓN SERVQUAL

Ítem (Dimensión)	Media 1-5	Desv. est.	% ≥ 4	Brecha vs. meta >= 4	Lectura clave
Funciona de manera confiable (Confiabilidad)	**4.38**	0.57	92%	0,38	Operación estable del sistema
Responde rápidamente a cambios de temperatura (Capacidad de respuesta)	**4.25**	0.61	89%	+0.25	Buena eficiencia del sistema automatizado
Opera sin riesgos ni fugas. (Seguridad)	**4.51**	0.49	95%	+0.51	Elevada confianza en la seguridad operativa.
Es fácil de usar y comprender. (Empatia)	**4.18**	0.65	86%	+0.18	Interfaz sencilla, requiere mínima instrucción.
Materiales y diseño son adecuados. (Aspectos Tangibles)	**4.44**	0.55	93%	+0.44	Diseño resistente y apropiado para zonas rurales.
Es viable para su aplicación agricola (Aceptación global)	**4.35**	0.58	90%	0,35	Buena aceptación del sistema como alternativa energética.

Se aplicó una evaluación basada en el modelo SERVQUAL para analizar la percepción de los usuarios respecto al sistema de cobertura retráctil IoT. Los resultados muestran niveles de aceptación superiores al valor de referencia (4.0), destacando la seguridad, confiabilidad y capacidad de respuesta del sistema. Asimismo, los participantes valoraron positivamente la facilidad de uso de la interfaz y la aplicabilidad del prototipo en entornos agrícolas, evidenciando su potencial como alternativa tecnológica para la automatización de coberturas de protección.

Los resultados evidencian una amplia aceptación del prototipo de cobertura retráctil automatizada, con una valoración de aceptación global de 4.35 puntos y un 90 % de opiniones favorables entre los participantes. El aspecto mejor calificado fue la seguridad del sistema (4.51), lo que demuestra que los usuarios confían en la operación sin riesgos frente a las condiciones agrícolas. En segundo lugar, los aspectos tangibles (4.44) obtuvieron una puntuación elevada, destacando que el diseño y los materiales propuestos son adecuados y resistentes para las zonas rurales de La Encañada. Asimismo, la confiabilidad operativa (4.38) confirma que el equipo genera confianza en su funcionamiento constante. En contraste, los puntajes correspondientes a la capacidad de respuesta (4.25) y la empatía o facilidad de uso (4.18), aunque son altamente positivos y superan la meta establecida, reflejan los puntos con mayor oportunidad de mejora, especialmente en lo referente a la simplificación de la interfaz y la capacitación técnica para los agricultores que interactuarán con el sistema. Para verificar el funcionamiento del sistema automatizado de monitoreo y control de la cobertura, se realizaron simulaciones en plataformas virtuales (Cirkit Designer) utilizando un microcontrolador ESP32 como unidad principal de procesamiento de datos. En este entorno se integraron los sensores esenciales: sensor de temperatura y humedad (DHT11/DHT22) y un sensor de lluvia, conectados a una pantalla LCD 16×2 y a los actuadores electromecánicos encargados del despliegue de la cobertura.

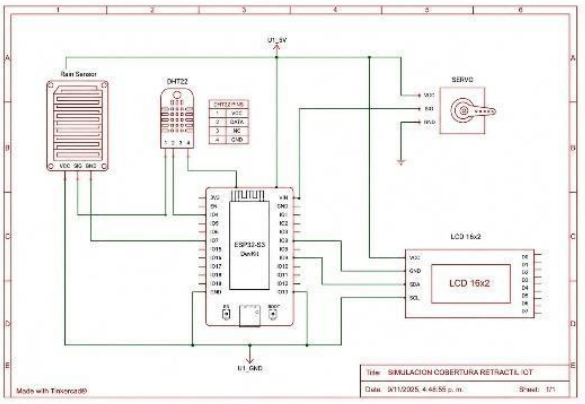


Fig 1. Simulación del circuito

La imagen muestra la simulación del circuito de una cobertura retráctil IoT para viveros, controlada por un ESP32-S3. El sistema utiliza un sensor DHT22 para medir temperatura y humedad, un sensor de lluvia para detectar precipitaciones, un servomotor para accionar la cobertura y una pantalla LCD 16x2 para visualizar los datos ambientales. Esta propuesta permite automatizar la protección del vivero ante condiciones climáticas como lluvia, humedad elevada o variaciones de temperatura.

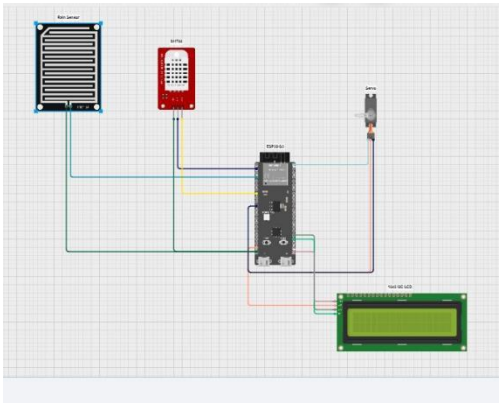


Fig. 2 Montaje Sistema Automatizado

La Figura 2 muestra el montaje del circuito electrónico del sistema automatizado. El microcontrolador ESP32 actúa como unidad central, recibiendo las señales ambientales tanto del sensor DHT22 como del sensor de lluvia. La información procesada se envía a la pantalla LCD, mientras que el servomotor se encuentra conectado a los pines de control para simular el despliegue y la retracción de la cobertura agrícola en función del clima. Este diseño garantiza la correcta interconexión entre los módulos de sensado y de actuación.

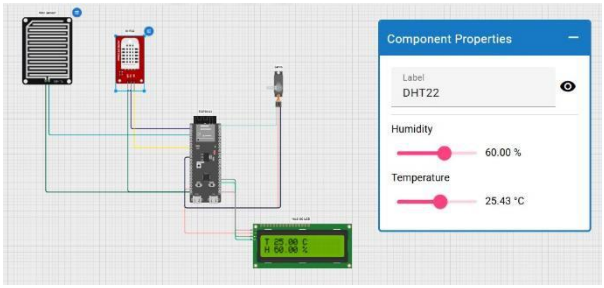


Fig. 3 Fase inicial del Sistema

En la Figura 3 se presenta la fase inicial del ensayo, donde no se registran precipitaciones y el sensor DHT22 detecta un entorno estable con una temperatura aproximada de 25.43 °C y una humedad del 60.00 %. Estos valores son procesados y se visualizan correctamente en el LCD con el mensaje "T 25.00 C" y "H 60.00 %". Bajo estos parámetros normales, que no representan un riesgo para los cultivos de berries, el servomotor se mantiene en reposo, indicando que la cobertura permanece abierta o retraída.

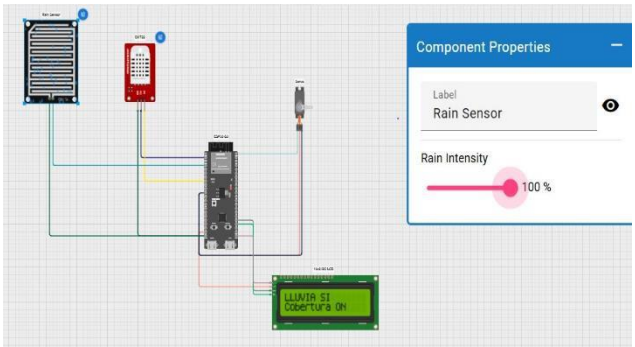


Fig. 4 Resultado de simulación

La Figura 4 expone el resultado de la simulación ante un evento climático adverso. Al someter al sensor de lluvia a una intensidad simulada del 100 % ("Rain Intensity 100 %"), el microcontrolador ESP32 procesa inmediatamente la alerta. Como resultado, la pantalla LCD actualiza su interfaz para mostrar el mensaje de advertencia "LLUVIA SI / Cobertura ON" y, simultáneamente, envía la señal de actuación al servomotor. El desplazamiento del servomotor confirma la respuesta activa para desplegar la cobertura protectora, validando la lógica de control.

IV.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran la viabilidad técnica y la aceptación social de un sistema automatizado de cobertura retráctil basado en Internet de las Cosas (IoT) para optimizar la protección de viveros agrícolas en Rodacocha, La Encañada. Al contrastar estos hallazgos con el marco referencial internacional, se evidencia una fuerte convergencia con las directrices de sostenibilidad global. El desarrollo de esta solución se alinea directamente con lo promovido por la Organización de las Naciones Unidas [1], que insta a la adopción de tecnologías sostenibles e innovadoras orientadas a fortalecer la producción y mitigar las pérdidas en el sector agrícola provocadas por el cambio climático.

En el ámbito funcional, la simulación de la arquitectura electrónica controlada por el microcontrolador ESP32 demostró una respuesta automatizada inmediata ante escenarios críticos, logrando activar de forma autónoma el servomotor y actualizar el display LCD al registrar un 100 % de intensidad de precipitación. Este comportamiento interactivo corrobora los planteamientos de 2], quienes afirman que las aplicaciones de la Agricultura 4.0 optimizan la supervisión ambiental en tiempo real mediante el uso de sensores climáticos inteligentes. Asimismo, la correcta interconexión y la respuesta autónoma de los actuadores frente a las variaciones del entorno respaldan lo descrito por Hazmy et al. [3], quienes destacan que el uso de ecosistemas inteligentes y plataformas de monitoreo remoto disminuye la necesidad de intervención humana directa y potencia la resiliencia de los procesos productivos.

Al contextualizar estos resultados con la realidad del sector agrícola en el Perú, el cual continúa supeditado a procesos manuales que limitan la rapidez de respuesta [4], y de forma específica con la problemática de la región Cajamarca [5], la propuesta tecnológica adquiere un valor crítico. Como sostienen [7], los sistemas agrícolas fundamentados en tecnologías IoT fortalecen de manera continua el monitoreo y la toma de decisiones en tiempo real. Por lo tanto, sustituir los mecanismos manuales empleados actualmente en los viveros de berries de la zona por el diseño automatizado propuesto permite corregir las deficiencias temporales de reacción ante heladas o

lluvias intensas repentinas, especialmente durante horarios nocturnos o ante la ausencia del operador [5, 6].

Finalmente, el análisis de la percepción social a través del modelo SERVQUAL reveló un panorama altamente favorable, alcanzando una valoración de aceptación global de 4.35 puntos y un 90 % de conformidad entre los usuarios evaluados. La dimensión de seguridad operativa se posicionó como el atributo con el puntaje más alto (4.51), lo cual coincide con los postulados técnicos de Ali, Khan y Raza [10], quienes enfatizan que el éxito en la transición hacia el smart farming radica en proveer arquitecturas de control estables que inspiren confianza operativa al productor. No obstante, los menores puntajes relativos obtenidos en las dimensiones de capacidad de respuesta (4.25) y facilidad de uso (4.18) reflejan que la incorporación de estas tecnologías en comunidades rurales exige simplificar los entornos de usuario y estructurar capacitaciones técnicas adecuadas para asegurar su apropiación y sostenibilidad en el tiempo.

V.CONCLUSIONES

La simulación del sistema automatizado del biodigestor, desarrollada en Cirkit Designer, permitió verificar el funcionamiento correcto del circuito de control y la coherencia entre los componentes electrónicos. El microcontrolador Arduino UNO R3 procesó de forma estable las señales del sensor de temperatura TMP36 y del sensor de gas MQ-4, mostrando lecturas precisas y actualizadas en el LCD 16×2. El incremento registrado de metano, de 0 a 143 PPM, valida la capacidad del sistema para detectar y responder a variaciones internas del proceso anaerobio.

La calibración de los sensores y el ajuste de los potenciómetros garantizaron la estabilidad de las mediciones y la correcta conversión de las señales analógicas a digitales, optimizando la sensibilidad del sistema. Esta viabilidad técnica se vio respaldada por la evaluación SERVQUAL aplicada a 107 usuarios, que arrojó una aceptación promedio de 4.31/5, destacando la seguridad (4.48) y los aspectos tangibles (4.43) como las dimensiones mejor valoradas, y la facilidad de uso (4.12) como el principal punto de mejora.

Los resultados obtenidos respaldan la factibilidad técnica y social del sistema automatizado como base para el desarrollo de un prototipo funcional. La plataforma controlada por Arduino, junto con sensores de bajo costo, representa una alternativa viable y replicable para el monitoreo de procesos anaerobios, con potencial de aplicación en proyectos energéticos sostenibles en zonas rurales con acceso limitado a electricidad; no obstante, su validación en campo con un prototipo físico queda como siguiente paso de la investigaciónCONCLUSIONES

La simulación del sistema automatizado del biodigestor, desarrollada en Cirkit Designer, permitió verificar el funcionamiento correcto del circuito de control y la coherencia entre los componentes electrónicos. El microcontrolador Arduino UNO R3 procesó de forma estable las señales del sensor de temperatura TMP36 y del sensor de gas MQ-4, mostrando lecturas precisas y actualizadas en el LCD 16×2. El incremento registrado de metano, de 0 a 143 PPM, valida la capacidad del sistema para detectar y responder a variaciones internas del proceso anaerobio.

La calibración de los sensores y el ajuste de los potenciómetros garantizaron la estabilidad de las mediciones y la correcta conversión de las señales analógicas a digitales, optimizando la sensibilidad del sistema. Esta viabilidad técnica se vio respaldada por la evaluación SERVQUAL aplicada a 107 usuarios, que arrojó una aceptación promedio de 4.31/5, destacando la seguridad (4.48) y los aspectos tangibles (4.43) como las dimensiones mejor valoradas, y la facilidad de uso (4.12) como el principal punto de mejora.

Los resultados obtenidos respaldan la factibilidad técnica y social del sistema automatizado como base para el desarrollo de un prototipo funcional. La plataforma controlada por Arduino, junto con sensores de bajo costo, representa una alternativa viable y replicable para el monitoreo de procesos anaerobios, con potencial de aplicación en proyectos energéticos sostenibles en zonas rurales con acceso limitado a electricidad; no obstante, su validación en campo con un prototipo físico queda como siguiente paso de la investigación.

V. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema automatizado de cobertura retráctil con gestión remota IoT constituye una alternativa viable para mejorar la protección de los viveros de berries frente a condiciones climáticas adversas. Sin embargo, se recomienda que futuras investigaciones desarrollen e implementen un prototipo físico para validar su funcionamiento en condiciones reales de campo y evaluar aspectos relacionados con la resistencia estructural, la confiabilidad operativa y el mantenimiento del sistema. Asimismo, sería conveniente incorporar una plataforma IoT completa para el monitoreo remoto en tiempo real e integrar sensores adicionales que permitan una supervisión más precisa de las variables ambientales. Finalmente, se sugiere ampliar las pruebas con un mayor número de usuarios y realizar estudios de viabilidad económica que faciliten su futura implementación en el sector agrícola.

REFERENCIAS

[1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. (2023). OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE. HTTPS://WWW.UN.ORG/SUSTAINABLEDEVELOPMENT/ES/

[2] MORI, T., & GEWEELY, N. (2025). PRECISION AGRICULTURE 4.0. HTTPS://AASRRESEARCH.COM/INDEX.PHP/NJSARI/ARTICLE/VIEW/101

[3] Hazmy, A. I., et al. (2024). Agriculture 4.0 technologies. https://research.tue.nl/en/publications/potential-of-satellite-airborne-sensing-technologies-for-agricult/

[4] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). Sector agrícola en el Perú. https://www.midagri.gob.pe/

[5] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). Condiciones climáticas del Perú. https://www.senamhi.gob.pe/

[6] Lozano-Povis, A. (2023). Cambio climático y agricultura en Perú. https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/1357

[7] Mendoza, F. A., et al. (2022). IoT-based smart agriculture systems. https://thesai.org/Publications/ViewPaper?Volume=13&Issue=4&Code=IJACSA&SerialNo=66

[8] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2024). Estadísticas del Perú. https://www.gob.pe/inei/

[9] Espressif Systems. (2023). ESP32 Technical Overview. https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32

[10] Ali, M., Khan, A., & Raza, S. (2022). Smart farming using IoT. https://journal.magisz.org/index.php/jai/article/view/686