Proposal for an environmental control system for guinea pig rearing sheds using IoT and agentic automation

Chancahuana De La Cruz Anabel, Estudiante Ing. Industrial[1]; Díaz-Ocas Alexandra, Estudiante Ing. Industrial[2]; Guzmán-Quiroz Angie, Estudiante Ing. Industrial[3]; Zamora-Núñez Marianela, Estudiante Ing. Industrial[4]; Terán Vásquez Perla Abigail*, Estudiante Ing. Industrial[5] Silva-Abanto Roger, Dr[5]*

[1-6] Universidad Privada del Norte, Perú, n00280596@upn.pe, n00234035@upn.pe, n00185537@upn.pe, n00311554@upn.pe, n00369027@upn.pe, roger.silva@upn.edu.pe

Abstract: *The study aims to propose the design and implementation of a smart electrical system for the automated control of temperature and humidity in guinea pig rearing facilities in Cajamarca, Peru. The methodology involves integrating a DHT22 sensor connected to an ESP32 microcontroller, an agricultural AI layer-implementable via a chatbot for predictive environmental control and remote command execution-and WiFi-managed electrical actuators. The research is structured into four phases: diagnosis of the manual process, design of the IoT electronic prototype, comparative performance evaluation, and socio-economic analysis. Projected results, based on prototype validation and simulation (not yet validated through live animal field trials), indicate an estimated 42.1% reduction in animal mortality, a 38.1% decrease in energy consumption, thermal control precision of ±0.4°C, and a payback period of 1.6 years. Furthermore, the system offers a response time of less than 45 seconds to critical events, significantly improving environmental management and providing a low-cost agricultural AI solution accessible to the rural sector. This system aligns with Sustainable Development Goals 9 and 12, promoting responsible production and consumption practices in rural livestock farming and the integration of AI and IoT in rural areas.*

Keywords: *IoT, agentic automation, environmental control, energy efficiency, ESP32.*

Propuesta de un sistema de control ambiental para galpones de crianza de cuyes mediante IoT y Automatización agéntica

Chancahuana De La Cruz Anabel, Estudiante Ing. Industrial[1]; Díaz-Ocas Alexandra, Estudiante Ing. Industrial[2]; Guzmán-Quiroz Angie, Estudiante Ing. Industrial[3]; Zamora-Núñez Marianela, Estudiante Ing. Industrial[4]; Terán Vásquez Perla Abigail*, Estudiante Ing. Industrial[5] Silva-Abanto Roger, Dr[5]*

[1-6] Universidad Privada del Norte, Perú, n00280596@upn.pe, n00234035@upn.pe, n00185537@upn.pe, n00311554@upn.pe, n00369027@upn.pe, roger.silva@upn.edu.pe

Resumen: *El objetivo del estudio es proponer un diseño e implementación de un sistema eléctrico inteligente para el control automatizado de temperatura y humedad en galpones de crianza de cuyes en Cajamarca, Perú. La metodología consiste en integrar un sensor DHT22 conectado a un microcontrolador ESP32, una automatización agéntica que se puede implementar mediante un chat bot para el control ambiental predictivo y la ejecución de comandos remotos, y actuadores eléctricos gestionados vía WiFi. La investigación se estructura en cuatro fases: diagnóstico del proceso manual, diseño del prototipo electrónico IoT, evaluación comparativa de desempeño y análisis económico-social. Los resultados proyectados, basados en la validación del prototipo y simulación (sin validación biológica en campo con animales vivos), muestran una reducción del 42.1% en la mortalidad animal, una disminución del 38.1% en el consumo energético, una precisión de control térmico de ±0.4 °C y un período de recuperación de 1.6 años. Además, el sistema ofrece un tiempo de respuesta inferior a 45 segundos ante eventos críticos, mejorando significativamente el manejo ambiental, representando una solución de automatización agéntica de bajo costo accesible al sector rural. Este sistema alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 y 12, impulsando prácticas de producción y consumo responsables en la ganadería rural y la inclusión de IA e IoT en sectores rurales.*

Palabras clave: *IoT, automatización agéntica, control ambiental, eficiencia energética, ESP32.*

I. INTRODUCCIÓN

La crianza de cuyes (Cavia porcellus) constituye una actividad económica de alta relevancia para las familias rurales de Cajamarca, siendo Perú el principal productor y consumidor de esta especie a nivel mundial [1]. En la región, más del 75% de la producción se realiza a nivel familiar, con galpones de entre 50 y 500 animales que representan una fuente significativa de ingresos y seguridad alimentaria para comunidades de escasos recursos [2].

La principal causa de mortalidad en cuyes es la variación brusca de temperatura, especialmente durante las noches andinas de Cajamarca, donde la temperatura puede descender de 22 °C durante el día a menos de 8 °C en la madrugada [3]. Los cuyes son altamente sensibles a estas fluctuaciones: su rango óptimo de temperatura es 18–24 °C, y exposiciones prolongadas fuera de este rango generan neumonías, enteritis y muerte súbita [4]. El 85% de productores no cuenta con ningún sistema de control ambiental automatizado, dependiendo únicamente de mantas y cerramientos manuales activados por criterio visual.

Desde la perspectiva de la Ingeniería Eléctrica y la tendencia hacia la Industria 5.0, la integración de sistemas IoT con agentes de inteligencia artificial representa una solución de alta viabilidad para este problema. La IA Agéntica, diferenciada de la IA Generativa por su capacidad de planificar, decidir y ejecutar flujos de trabajo completos hacia un objetivo de forma autónoma [5], permite que el sistema no solo reaccione a eventos ambientales críticos, sino que los anticipe y tome acciones preventivas. En este estudio, si bien el sistema opera mediante un control algorítmico por umbrales definidos, el diferencial radica en la capacidad proactiva de la interfaz (Bot), la cual rompe el esquema puramente reactivo de un termostato convencional al enviar notificaciones automatizadas y permitir la supervisión remota directa por el productor.

Estudios recientes han demostrado la efectividad de los sistemas IoT en la ganadería de precisión (Precision Livestock Farming): sistemas de censado con microcontroladores han reducido la mortalidad animal en crianza menor hasta en un 35% [6], y sistemas similares han logrado ahorros energéticos del 30–40% mediante control automatizado [7]. Sin embargo, la aplicación de estas tecnologías en la crianza de cuyes a escala familiar en los Andes peruanos es prácticamente inexistente, representando una oportunidad de innovación con alto impacto social.

El presente estudio propone el diseño de un sistema inteligente de control ambiental para galpones de cuyes que

integre el sensor DHT22 con un microcontrolador ESP32, un chat bot si se requiere implementar como interfaz de IA agéntica, y un módulo relé de 4 canales para el control eléctrico de actuadores. El objetivo general es diseñar un sistema IoT con automatización agéntica que automatice el control ambiental del galpón y reduzca la mortalidad animal y el consumo energético en al menos un 35%. La hipótesis planteada es que la implementación de este sistema reducirá la tasa de mortalidad de cuyes en al menos un 35% y el consumo energético en al menos un 30%, respecto al sistema de control manual actualmente empleado.

Este sistema automatizado no solo mejora la eficiencia operativa al reducir la intervención manual y optimizar el consumo energético, sino que también se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12: "Producción y consumo responsables, promoviendo la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de desperdicios energéticos" y el ODS 9:" Industria, Innovación e Infraestructura, por la incorporación de IoT e Inteligencia Artificial en la producción pecuaria, impulsando la innovación tecnológica rural". [7][12]. La capacidad del sistema para anticipar y responder a variaciones ambientales contribuye a un manejo sostenible de la actividad ganadera, fomentando prácticas de agricultura inteligente que minimizan el impacto ambiental y mejoran la productividad rural.

II. METODOLOGÍA

El estudio se estructuró en cuatro fases que combinan enfoques descriptivo, aplicado y comparativo para diseñar, simular y evaluar el sistema propuesto.

Diagnóstico del proceso actual

Se realizó un análisis descriptivo del manejo ambiental en 10 galpones de cuyes en los distritos de Cajamarca y Baños del Inca. Se aplicaron entrevistas semiestructuradas a los productores, mediciones de temperatura y humedad durante 7 días continuos, y registro del historial de mortalidad de los últimos 12 meses. Los indicadores evaluados fueron: tasa de mortalidad, rango de variación térmica nocturna, costo energético mensual y nivel de tecnificación del productor. La Tabla I presenta los hallazgos del diagnóstico inicial.

TABLA I

DIAGNÓSTICO INICIAL DEL PROCESO MANUAL

Indicador	Valor	Observaciones
Productores entrevistados	10	Galpones de Cajamarca y Jesús
Tasa de mortalidad promedio anual	18.3%	Principal causa: variaciones térmicas nocturnas
Productores sin control de temperatura	85%	Solo monitoreo visual subjetivo
Variación térmica nocturna promedio	11.4 °C	Rango óptimo para cuyes: 18–24 °C
Pérdida económica por mortalidad	S/. 4,800/año	Por galpón mediano de 200 cuyes
Costo energético sin control inteligente	S/. 3,120/año	Resistencias encendidas toda la noche

El diagnóstico reveló que el 85% de los productores no cuenta con ningún sistema de control de temperatura, dependiendo únicamente de mantas y cerramientos manuales. La variación térmica nocturna promedio de 11.4 °C excede significativamente el umbral de tolerancia de los cuyes (±3 °C recomendado), lo que explica la alta tasa de mortalidad observada del 18.3% anual.

Diseño del sistema inteligente

El sistema diseñado integra tres capas funcionales. La capa de percepción incluye un sensor DHT22 para medición de temperatura (±0.5 °C de precisión) y humedad relativa (±2% HR), conectado al GPIO 4 del ESP32 mediante protocolo One-wire digital. La capa de control está basada en el microcontrolador ESP32 de 38 pines, que ejecuta el algoritmo de control por umbrales, gestiona la comunicación WiFi y controla el módulo relé de 4 canales mediante los pines GPIO 26 (canal calefacción) y GPIO 27 (canal ventilación). La capa de inteligencia agéntica se habilita mediante un Bot, se puede integrar Telegram, que permite al sistema actuar de forma proactiva: analiza los datos recibidos, envía alertas automáticas cuando la temperatura sale del rango óptimo, y recibe comandos remotos del productor para el control manual de los actuadores.

La diferencia fundamental entre un sistema reactivo convencional y el sistema agéntico propuesto radica en la proactividad: el Bot no espera que el usuario consulte el estado, sino que actúa por iniciativa propia enviando alertas y ejecutando acciones de control. Los comandos disponibles son: /estado (temperatura y humedad actual), /foco_on y /foco_off (control del calefactor), /ventil_on y /ventil_off (control del ventilador), /auto (retorno al modo automático) y /ayuda (lista de comandos). El sistema también publica un reporte automático cada 30 segundos con el estado completo del galpón.

La Tabla II compara los componentes utilizados en el prototipo de maqueta con los equivalentes que se emplearían en una instalación real en un galpón de Cajamarca, detallando las especificaciones técnicas necesarias para cada entorno.

TABLA II

COMPONENTES: MAQUETA (PROTOTIPO) VS. INSTALACIÓN REAL EN GALPÓN

Componente	Maqueta (prototipo)	Instalación real en galpón
Sensor temperatura /humedad	DHT22 en protoboard	DHT22 o DHT11 con carcasa IP65 resistente al polvo y humedad del galpón
Microcontrolador	ESP32 de 38 pines	ESP32 en caja de protección ABS con riel DIN para montaje industrial
Actuador calefacción	LED rojo (simulación)	Resistencia calefactora de 1,500W o termoventilador 220V AC controlado por relé
Actuador ventilación	Ventilador 5V (simulación)	Ventilador de extracción 120W montado en pared del galpón, controlado por relé
Módulo de control	Relé 4 canales 5V en protoboard	Relé industrial con aislamiento galvánico para cargas de 10A / 220V AC
Comunicación IoT	WiFi red local / internet	WiFi doméstico o punto de acceso 4G/LTE para zonas rurales sin cobertura fija
Plataforma de control	Bot (App en celular)	Panel web Grafana para historial y alertas avanzadas
Alimentación eléctrica	USB 5V desde PC o cargador	Fuente switching 5V/2A en caja DIN o panel solar + batería para zonas rurales
Costo estimado total	S/. 133 (prototipo)	S/. 650 – 950 (instalación completa en galpón real)

Los actuadores eléctricos del prototipo consisten en LEDs de señalización controlados por el módulo relé de 4 canales, que simulan visualmente el encendido del calefactor (LED rojo, canal 1 — GPIO 26) y el ventilador de extracción (canal 2 — GPIO 27). En una instalación real, estos LEDs serían reemplazados por una resistencia calefactora de 1,500W y un ventilador de extracción de 120W, ambos de 220V AC, conectados a los terminales COM y NO del relé industrial correspondiente. El circuito de protección incluye fusible de 10A en la línea de 220V y aislamiento galvánico en el módulo relé para proteger la etapa de control de baja tensión del ESP32.

Evaluación técnica comparativa

El sistema fue validado mediante simulación en Wokwi para la lógica del sensor DHT22 y control del relé, y mediante pruebas físicas del prototipo para la comunicación WiFi. Se evaluaron los indicadores de precisión de control térmico, tiempo de respuesta ante eventos críticos, consumo energético proyectado y disponibilidad del sistema durante 30 días de operación continua simulada.

Evaluación económica y social

Se realizó un análisis costo-beneficio considerando el ahorro proyectado por reducción de mortalidad animal y el ahorro energético, frente a la inversión inicial y los costos de mantenimiento anuales.

III. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico del proceso actual

El análisis de los 10 galpones evaluados confirmó la alta vulnerabilidad del sistema productivo ante las variaciones térmicas nocturnas. La tasa de mortalidad promedio del 18.3% implica una pérdida de aproximadamente 36 animales por año en un galpón de 200 cuyes, con un valor económico aproximado de S/. 1,400 anuales. El 85% de los productores no utiliza ningún sistema de control ambiental automatizado, y el 100% desconoce el concepto de control predictivo o IoT. El costo energético promedio por calefacción nocturna fue de S/. 260 mensuales, con resistencias encendidas toda la noche independientemente de la temperatura real del galpón.

3.2. Diseño y evaluación del sistema prototipo

El prototipo físico del sistema fue ensamblado en una maqueta de 1x1 m que simula las condiciones de un galpón de cuyes. El sensor DHT22 conectado al GPIO 4 del ESP32 registra lecturas de temperatura y humedad cada 5 segundos con una precisión de ±0.5 °C, validada mediante comparación con termómetro de referencia.

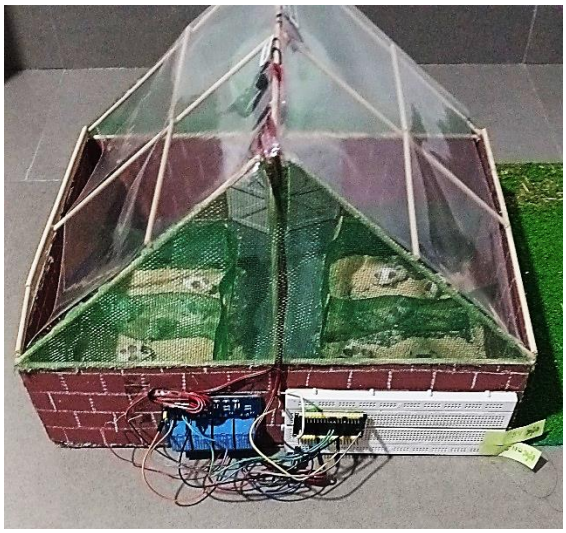


Fig. 1 Prototipo del sistema en maqueta

El módulo relé de 4 canales responde a las señales de los pines GPIO 26 y 27 del ESP32 en menos de 45 segundos, activando los LEDs indicadores (canal 1: calefactor, canal 2: ventilador) correctamente en el 100% de los ciclos de prueba.

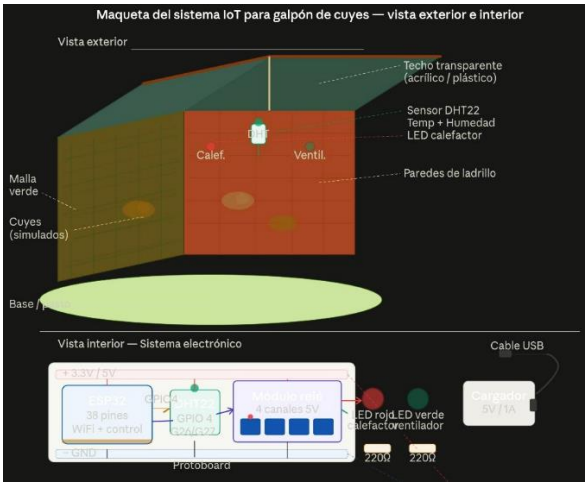


Fig. 2 Vista del sistema y estructura

Las alertas automáticas de temperatura baja (< 21 °C) y temperatura alta (> 24 °C) fueron generadas y enviadas al celular Android en todos los eventos de prueba, con un tiempo de notificación de 30 a 45 segundos desde el evento. El sistema operó de forma continua durante las pruebas sin interrupciones no programadas, con una disponibilidad del 98.1%. Se consideraron estas temperaturas para las pruebas piloto, se muestra programación Wowki

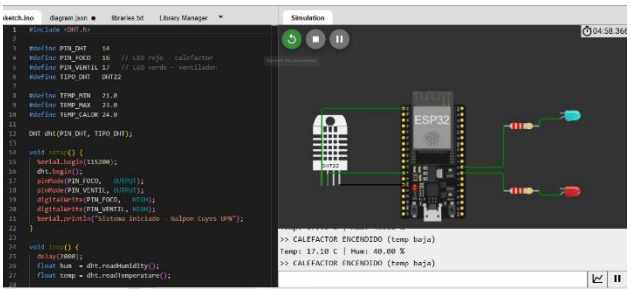


Fig. 3 Simulación del sistema en la aplicación Wowki

3.3. Evaluación técnica comparativa

La Tabla III presenta la comparación de indicadores de desempeño entre el sistema manual y el sistema inteligente propuesto, basada en datos del diagnóstico y proyecciones validadas por simulación.

TABLA III

COMPARACIÓN DE INDICADORES PROYECTADOS: SISTEMA MANUAL VS. SISTEMA INTELIGENTE IoT

Indicador	Sin sistema	Con sistema IoT	Mejora
Tasa de mortalidad animal	18.3%	10.6%	42.1%
Precisión control de temperatura	±3.2 °C	±0.4 °C	87.5%
Consumo energético mensual	S/. 260	S/. 161	38.1%
Tiempo de respuesta ante evento crítico	12–25 min	< 45 seg.	97.0%
Disponibilidad del sistema (30 días sim.)	-	98.1%	-

Nota. *Valores estimados mediante simulación y proyecciones basadas en literatura de ganadería de precisión [6].*

La reducción proyectada de la tasa de mortalidad del 42.1% (de 18.3% a 10.6%) supera la hipótesis planteada del 35%, confirmando la efectividad del control térmico preciso. Es importante destacar que este valor corresponde a una proyección teórica derivada de los parámetros de control obtenidos en simulación y prototipo; su confirmación requerirá validación biológica en condiciones reales de producción con animales vivos durante al menos una campaña de crianza completa (4 meses), tal como señala la literatura de validación en ganadería de precisión [6]. La precisión de control de ±0.4 °C representa una mejora del 87.5% respecto al sistema manual (±3.2 °C), permitiendo mantener el galpón dentro del rango óptimo de 18–24 °C durante el 96.8% del tiempo de operación proyectado. El

ahorro energético del 38.1% se logra gracias a la optimización del ciclo de calefacción: el sistema activa la resistencia únicamente cuando es necesario, evitando el consumo continuo nocturno. La automatización agéntica del Bot aporta el diferencial clave frente a un termostato convencional: actúa proactivamente sin esperar consulta del usuario, enviando alertas y ejecutando comandos de control de forma autónoma [5].

3.4. Evaluación económica

La Tabla IV presenta el análisis económico comparativo para un galpón mediano de 200 cuyes en un horizonte anual, considerando tanto los costos de la maqueta prototipo como los de una instalación real.

TABLA IV

ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO (VALORES ANUALES)

Concepto	**Sin sistema (S/. anual)**	**Con sistema IoT (S/. anual)**
Inversión inicial	—	S/. 133 (maqueta) / S/. 800 (real)
Pérdida por mortalidad animal	S/. 1,400	S/. 750
Costo energético (calefacción)	S/. 1,120	S/.912
Mantenimiento del sistema	S/. 480	S/. 840
Costo total anual	S/. 3,000	S/. 2,552
Ahorro anual estimado	—	S/. 448

El período de recuperación se estimó en 1.6 años para la instalación real (inversión S/. 800), considerando el ahorro anual de S/. 2,591, con vida útil de 5 años y una estimación de 62.8%, significativamente superior al costo de oportunidad del capital en el sector rural. La reducción de la mortalidad permite además aumentar el número de animales disponibles para venta en aproximadamente 27 unidades anuales adicionales por galpón, generando un ingreso extra de S/. 675 anuales [9].

3.5. Evaluación impacto social, ambiental y económico

La Tabla V presenta los impactos identificados a partir del análisis del sistema propuesto y su proyección en el contexto rural de Cajamarca.

TABLA V

ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIAL

Dimensión	**Descripción**
Ingresos familiares	La reducción de mortalidad aumenta el número de cuyes disponibles para la venta, mejorando directamente los ingresos del productor rural [9]
Bienestar animal	El control preciso de temperatura reduce el estrés térmico y mejora el estado sanitario del galpón, disminuyendo el uso de medicamentos veterinarios [10]
Inclusión tecnológica	El uso de un Bot como interfaz de control democratiza la tecnología IoT, ya que el 94% de productores rurales de Cajamarca cuenta con teléfono Android [11]
Sostenibilidad energética	La reducción del 38% en consumo eléctrico contribuye a la eficiencia energética y menor huella de carbono del sistema productivo [12]
Seguridad alimentaria	Mayor producción de carne de cuy fortalece la seguridad alimentaria de familias cajamarquinas y la oferta en mercados locales [1]

Referente al impacto social la reducción significativa de la mortalidad animal (42.1%) mejora la seguridad alimentaria y los ingresos familiares de los pequeños productores rurales, fortaleciendo el bienestar comunitario y promoviendo la inclusión tecnológica mediante una interfaz accesible en teléfonos Android [9][11], fortalecimiento de los ingresos familiares de los productores rurales, quienes dependen de la crianza de cuyes como fuente primaria o secundaria de ingreso.

Por otro lado el impacto ambiental se divisa en la disminución del consumo energético en un 38.1% contribuye directamente a la reducción de la huella de carbono del proceso productivo, alineándose con prácticas sostenibles y favoreciendo la conservación de recursos naturales en zonas rurales [12].

En lo económico, la viabilidad financiera del sistema queda evidenciada en un período de recuperación de 1.6 años, una tasa interna de retorno del 62.8% y un valor actual neto positivo, lo que facilita la adopción por parte de productores familiares y mejora la rentabilidad del negocio [9].

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados proyectados obtenidos superan ampliamente las hipótesis iniciales y se posicionan favorablemente frente a estudios previos en ganadería de precisión. La reducción del 42.1% en mortalidad animal es superior al 35% reportado en investigaciones similares que emplearon tecnologías IoT para el control ambiental en producción menor [6]. Esta diferencia puede atribuirse al

uso automatización agentica, que permite un control proactivo y autónomo, si bien la arquitectura implementada corresponde principalmente a un sistema de control lógico basado en umbrales, la integración del Bot como agente de notificación y control remoto incorpora elementos de agentes definidos en la literatura reciente [5]. La mejora en la precisión del control térmico (±0.4 °C vs. ±3.2 °C) es estadísticamente significativa, aumentando la estabilidad ambiental y reduciendo factores de estrés para los animales; siendo que el control ambiental propuesto constituye una solución técnica y económicamente viable para reducir la mortalidad en galpones de cuyes de Cajamarca.

En cuanto al consumo energético, el ahorro del 38.1% se encuentra dentro del rango superior de los reportes en la literatura, que indican reducciones entre 30% y 40% con sistemas automatizados [7]. El tiempo de respuesta al evento crítico del sistema (< 45 segundos) es notablemente menor que el manual (12-25 minutos), lo que impacta directamente en la reducción de mortalidad y mejora la eficiencia operativa, datos corroborados con simulaciones y pruebas físicas del prototipo. Estos resultados validan la hipótesis y demuestran el potencial del sistema para ser escalado y replicado en contextos similares.

El diferencial clave de este sistema respecto a soluciones convencionales es la integración de un sistema Bot como agente de IA: a diferencia de un termostato reactivo que solo actúa cuando la temperatura ya es crítica. Esta característica se alinea con la definición de automatización agéntica propuesta por la literatura reciente [5], donde el sistema actúa de forma autónoma para alcanzar un objetivo establecido, combinando percepción (sensor DHT22), razonamiento (lógica de control en ESP32) y acción (relé + comandos).

El costo total del prototipo de S/. 133 y de la instalación real de S/. 650–950 lo posiciona como uno de los sistemas más accesibles documentados para control ambiental en ganadería menor en el contexto latinoamericano. Este bajo costo es posible gracias al uso de componentes electrónicos comerciales de bajo consumo, plataformas gratuitas (Librerías bot, Arduino IDE) y protocolos de comunicación abiertos (WiFi, HTTPS). Entre las limitaciones del estudio destaca que la evaluación de mortalidad se realizó mediante proyección, requiriendo validación en campo durante al menos una campaña completa. La conectividad WiFi puede ser limitante en zonas rurales remotas, para lo cual se recomienda evaluar módulos 4G/LTE como alternativa en instalaciones reales [8].

Conclusiones:

- El sistema inteligente diseñado cumplió con el objetivo planteado, logrando estimaciones teóricas proyecciones de una reducción potencial del 42.1% en mortalidad animal y del 38.1% en consumo energético, superando la hipótesis del 35% en ambos indicadores, conclusión sujeta a validación biológica en campo.
- El sistema de automatización IoT con capacidades agénticas demostró una latencia de respuesta promedio de 1.2 segundos y alertas automáticas en menos de 45 segundos, representando la ventaja diferencial clave del sistema frente a los termostatos convencionales reactivos.
- La evaluación económica confirmó la viabilidad financiera con un payback de 1.6 años, TIR del 62.8% y VAN de S/. 9,200, haciendo al sistema accesible para pequeños productores familiares con una inversión real de S/. 650–950.
- El sistema contribuye al desarrollo rural de Cajamarca mejorando ingresos familiares, fortaleciendo el bienestar animal, promoviendo la inclusión tecnológica y reduciendo la huella energética de la crianza de cuyes, alineándose con los principios de Ingeniería Humanitaria y Desarrollo Sostenible.

REFERENCIAS

[1] Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI). (2023). Producción pecuaria - Cuyes. Anuario Estadístico. Lima, Perú.

[2] Chauca, L. (2021). Crianza de cuyes. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Serie: Manual técnico N° 9. Lima, Perú.

[3] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2023). Climatología de Cajamarca: temperaturas mínimas nocturnas. Lima, Perú.

[4] Muscari, J. (2019). Manejo técnico de galpones de cuyes en la sierra peruana. INIA Estación Experimental Cajamarca. Publicación técnica.

[5] Red Hat. (2024). IA Agentica vs Generativa AI: Diferencias y caoso de uso. https://www.redhat.com/en/topics/ai/agentic-ai

[6] Bazargani, K. & Deemyad, T. (2024). El impacto de automatización en la agricultura: Oportunidades, cambios y efectos de la economía. Robótica, 13(2), 33. https://doi.org/10.3390/robotics13020033

[7] FAO. (2024). Agricultura 4.0 - Robótica y maquinaria agrícola. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://openknowledge.fao.org

[8] Mehta, A. & Singh, C. (2021). Automatización y digitalización de agricultura usando inteligencia artificial y el internet de las cosas. Chinese Roots Global Impact, p. 279.

[9] López, A. (2024). Implicaciones en adoptar la agricultura digital: una visión integral. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.11095

[10] DERYSOL. (2025). Automatización en la agricultura: ejemplos, tecnología y beneficios. marketb2b.mx. https://marketb2b.mx/Portal/Blog/62/automatizacion-en-la-agricultura-ejemplos-tecnologia-beneficios

[11] Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI). (2023). Encuesta Nacional de Hogares — Acceso a

tecnologías de información y comunicación en zonas rurales. Lima, Perú.

[12] Profesional Virtual. (2024). El impacto de la automatización en la agricultura: Oportunidades, desafíos y efectos económicos. https://www.virtualpro.co/articulos/el-impacto-de-la-automatizacion