Sistema en tiempo real para monitoreo y control de variables fisicoquímicas en ensilaje de subproductos de piña

Real-time system for monitoring and control of physicochemical variables in pineapple by-product silage

Jazmín Morales Ramón*, Israel Viveros Torres, Dionisio Pérez Pérez, Erica María Lara Muñoz

Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Paseo de las Aves s/n Fracc. Puente Moreno. 94274. Medellín de Bravo, Ver., México
*jazmin.mr@alvarado.tecnm.mx

PALABRAS CLAVE:

Internet de las cosas, Sistema de monitoreo, Variables fisicoquímicas, Ensilaje

RESUMEN:

El presente artículo describe la propuesta para el desarrollo de un sistema computacional de monitoreo y control en tiempo real para regular pH, temperatura y humedad durante el ensilaje de subproductos de la piña, con el fin de estabilizar el proceso y reducir pérdidas. Metodológicamente, se adoptó un enfoque ágil basado en Kanban para gestionar la integración hardware–software bajo condiciones experimentales, y se diseñó una arquitectura de tres capas que garantiza modularidad, escalabilidad y trazabilidad. El sistema integra sensores, microcontroladores ESP32 y comunicación híbrida Wi-Fi/LoRa con protocolo MQTT, permitiendo monitoreo continuo y control en lazo cerrado, con el objetivo de evidenciar mayor estabilidad, detección temprana de desviaciones y generación de datos históricos para análisis posterior. Se concluye que la solución es técnicamente viable, de bajo costo y replicable, constituyendo una base sólida para la digitalización del ensilaje y su futura integración con modelos predictivos en la agroindustria regional.

KEYWORDS:

Internet of Things, Monitoring System, Physicochemical Variables, Silage.

ABSTRACT:

This article describes a proposed real-time monitoring and control system for regulating pH, temperature, and humidity during the ensiling of pineapple byproducts, with the aim of stabilizing the process and reducing losses. Methodologically, an agile approach based on Kanban was adopted to manage hardware-software integration under experimental conditions, and a three-layer architecture was designed to ensure modularity, scalability, and traceability. The system integrates sensors, ESP32 microcontrollers, and hybrid Wi-Fi/LoRa communication using the MQTT protocol, enabling continuous monitoring and closed-loop control. This aims to demonstrate greater stability, early detection of deviations, and the generation of historical data for subsequent analysis. The article concludes that the solution is technically feasible, low-cost, and replicable, providing a solid foundation for the digitalization of silage and its future integration with predictive models in the regional agro-industry.

• Recibido: 8 de febrero de 2026 • Aceptado: 6 de abril de 2026 • Publicado en línea: 2 de octubre de 2026

1. INTRODUCCIÓN

La tecnificación de los procesos agroindustriales representa hoy una condición habilitante para transitar de esquemas de manejo empírico hacia sistemas

Copyright:© 2026 por los autores
Creative Commons Atribución 4.0 CC-BY

reproducibles, trazables y eficientes. En el contexto de la economía circular, la gestión de subproductos del cultivo de piña (Ananas comosus) —como cáscara, corona y corazón — ha dejado de ser un reto logístico para convertirse en una oportunidad de valorización bioenergética y nutricional. Sin embargo, la transformación de estos residuos mediante el ensilaje depende de un equilibrio bioquímico delicado; la literatura reciente [1]; [2] enfatiza que solo mediante el control estricto de variables de proceso es posible garantizar la estabilidad del material y evitar externalidades ambientales.

A pesar del potencial agroecológico de regiones como Veracruz, la variabilidad térmica y las irregularidades climáticas introducen riesgos operativos que el monitoreo manual no puede mitigar. El éxito del ensilaje reside en la cinética del pH, la temperatura y contenido de humedad. Estudios de metaanálisis [3] demuestran que la temperatura es un indicador temprano de deterioro aeróbico que precede incluso a las variaciones de pH. Por tanto, la falta de sistemas de medición continua condena a los productores a una respuesta reactiva, resultando en la pérdida de calidad del forraje y desperdicio de biomasa.

Desde la perspectiva de la Ingeniería, esta problemática encuentra solución en la madurez de la computación embebida, el Internet de las Cosas (IoT) y la analítica de datos en tiempo real. La integración de arquitecturas basadas en microcontroladores de alto rendimiento, como el ESP32, y protocolos de comunicación inalámbrica (LoRaWAN/Wi-Fi), permite hoy la creación de nodos de sensorización distribuida capaces de operar en entornos agrícolas hostiles [4]. La "fermentación inteligente" surge así, como un campo de aplicación donde el software y el hardware convergen para estabilizar procesos biológicos complejos.

El presente trabajo de investigación deriva de un proyecto de tesis de la Maestría en Sistemas Computacionales que tiene como propósito principal desarrollar e implementar un sistema computacional de monitoreo y control en tiempo real para la regulación de variables fisicoquímicas como pH, temperatura y humedad en el ensilaje de subproductos de piña.

De esta manera se trata de un desarrollo tecnológico en curso, donde se enmarca dentro del enfoque de ingeniería aplicada, integrando hardware, software y validación experimental bajo condiciones controladas. En este sentido, el sistema será concebido, diseñado y parcialmente implementado, incluyendo la arquitectura de tres capas, la integración de sensores, el uso de microcontroladores ESP32 y la comunicación mediante protocolos IoT, lo que evidenciará su carácter práctico y tecnológico.

El desarrollo del presente proyecto se abordará mediante un enfoque multidisciplinario, integrando capacidades de ingeniería con conocimiento técnico especializado del ámbito agropecuario. En este contexto, se contemplará la realización de consultas técnicas con especialistas del Colegio de Postgraduados (COLPOS), campus Veracruz, institución ampliamente reconocida por su experiencia en investigación agroindustrial y en el manejo de sistemas de producción agrícola.

Dichas consultas permitirán validar parámetros críticos del proceso de ensilaje, tales como los rangos óptimos de pH, el comportamiento térmico durante la fermentación, los niveles adecuados de humedad y las condiciones operativas necesarias para garantizar la estabilidad del material ensilado. Este esquema de colaboración contribuirá a fortalecer la rigurosidad científica del estudio, al asegurar la alineación del desarrollo tecnológico con fundamentos agronómicos y bioprocesuales.
En consecuencia, el sistema propuesto no solo responderá a criterios de ingeniería, sino que estará sustentado en conocimiento especializado del proceso de ensilaje, lo que

incrementará su validez, aplicabilidad y potencial de transferencia tecnológica en contextos productivos reales.

2. CONTEXTO ACTUAL Y PROBLEMÁTICA ABORDADA

La literatura científica evidencia el alto potencial de los subproductos de piña para su aprovechamiento en sistemas de alimentación animal mediante ensilaje. De acuerdo con [5], el cultivo de piña genera entre 200 y 250 toneladas de residuos por hectárea, los cuales pueden ser conservados eficientemente mediante fermentación anaerobia sin afectar el desempeño productivo de los rumiantes. En esta misma línea, el estudio experimental de [6] demostró que la incorporación de cáscara de piña en ensilajes de sorgo mejora significativamente el valor nutricional del producto y aumenta la rentabilidad del proceso, al emplear un subproducto de bajo costo como ingrediente alternativo.

En conjunto, la evidencia confirma que el ensilaje de subproductos de piña constituye una estrategia integral de valorización con beneficios técnicos, económicos y ambientales. Desde el punto de vista técnico, favorece la conservación y estabilidad de materiales con alta humedad, mejora la digestibilidad y permite obtener ensilados de calidad adecuada para la alimentación animal. En términos económicos, reduce costos de producción y manejo de residuos, mientras que, a nivel ambiental, contribuye a disminuir la contaminación asociada a la acumulación o quema de desechos agrícolas. Asimismo, este proceso posibilita la transformación de residuos en alimento funcional para ganado y se perfila como una base para la incorporación de tecnologías emergentes, como sistemas de monitoreo y control basados en IoT, orientados a optimizar la calidad del ensilado y fortalecer modelos agroindustriales sustentables, particularmente en regiones productoras como Veracruz.

El análisis de los antecedentes muestra una evolución sostenida en la integración de arquitecturas IoT, tecnologías de comunicación de largo alcance (LPWAN–LoRa) y técnicas de inteligencia artificial aplicadas al monitoreo ambiental y agroindustrial.

El estudio de [7] propone una plataforma IoT para el monitoreo en tiempo real de variables fisicoquímicas en criaderos de tilapia, superando las limitaciones del control manual tradicional. La solución integra sensores especializados, microcontroladores y transmisión LoRa (915 MHz), con envío de datos mediante MQTT hacia un VPS en AWS para almacenamiento y visualización web. Los resultados validan la robustez del sistema, con alcances de hasta 1.6 km en línea de vista y alta concordancia entre mediciones automáticas y manuales, demostrando viabilidad técnica y económica en contextos rurales.

Por su parte, [8] presentan un estado del arte sobre la detección temprana de mosca blanca mediante inteligencia artificial, destacando el uso de visión por computadora, redes neuronales convolucionales, modelos YOLO y técnicas de aumento de datos. El análisis bibliométrico evidencia un crecimiento significativo de investigaciones entre 2021 y 2024, aunque persisten desafíos relacionados con variabilidad ambiental y disponibilidad de datasets robustos.

Complementariamente, [9] desarrollan una arquitectura IoT para el monitoreo continuo de calidad de agua en entornos urbanos, estructurada bajo el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018. El sistema integra sensores multiparamétricos, transmisión LoRa, microcontrolador ESP32 y alimentación solar, logrando monitoreo casi en tiempo real con bajo costo y autosostenibilidad energética.

En conjunto, los estudios revisados convergen en tres líneas principales: consolidación de arquitecturas IoT para monitoreo ambiental, implementación de

LPWAN en entornos rurales y creciente incorporación de inteligencia artificial para optimización de procesos.

A partir del análisis precedente, se consolida una base metodológica y tecnológica sólida que sustenta la presente investigación. En este contexto, el estudio se posiciona como una propuesta innovadora y especializada, orientada a integrar monitoreo inteligente, control automatizado y sostenibilidad agroindustrial en el aprovechamiento del subproducto de piña en Veracruz.

La investigación retoma y amplía el diseño de proceso del prototipo desarrollado en el artículo "Diseño de Sistemas Tecnificados para el Aprovechamiento de Subproductos de la Piña" [10], dando continuidad a su evolución tecnológica. En esta nueva etapa se plantea el desarrollo e implementación de un sistema computacional de monitoreo y control en tiempo real, destinado a la medición, análisis y regulación de variables críticas del proceso.

El proyecto se enmarcará dentro de un enfoque de ingeniería aplicada, integrando de manera sistemática componentes de hardware, software y procesos de validación experimental bajo condiciones controladas. En este contexto, el sistema será concebido, diseñado y parcialmente implementado, incorporando una arquitectura de tres capas, la integración de sensores, el uso de microcontroladores ESP32 y la comunicación mediante protocolos IoT, lo que evidenciará su carácter práctico, tecnológico y orientado a la resolución de problemáticas reales.

No obstante, de acuerdo con la clasificación de niveles de madurez tecnológica propuesta por la NASA, el desarrollo actual se ubica en un Nivel de Madurez Tecnológica TRL 2, correspondiente a la etapa de formulación del concepto tecnológico y validación inicial de sus principios fundamentales. En esta fase, se han establecido las bases conceptuales del sistema, se ha definido su arquitectura funcional y se han seleccionado las tecnologías óptimas para el procesamiento y almacenamiento de datos.

La arquitectura planteada contempla nodos inalámbricos diseñados para operar en ambientes densos y húmedos, integración híbrida de comunicaciones Wi-Fi/LoRa con protocolo MQTT para transmisión eficiente de datos, y la aplicación del estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018 para asegurar rigor en la ingeniería de requisitos. De esta manera, la propuesta no solo modernizará el prototipo previo, sino que fortalecerá su robustez técnica, escalabilidad y alineación con principios de calidad y sostenibilidad agroindustrial.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del sistema computacional de monitoreo y control en tiempo real de variables fisicoquímicas (pH, temperatura y humedad) durante el proceso de ensilaje de subproductos de piña, se adopta el enfoque ágil basado en Kanban, seleccionado por su capacidad de adaptación a entornos experimentales y su eficiencia en proyectos con alta incertidumbre técnica e integración hardware–software.

La metodología Kanban fue seleccionada por su enfoque en la gestión continua del flujo de trabajo, la visualización de tareas y la limitación del trabajo en progreso (WIP), lo que favorecerá la estabilidad técnica y la mejora incremental del sistema. El desarrollo se estructurará en etapas que abarcarán desde el backlog hasta el despliegue, integrando fases de análisis, diseño, desarrollo, pruebas y validación experimental.

Cada módulo del sistema —adquisición de datos, procesamiento, almacenamiento, visualización y control— será gestionado mediante tareas independientes con criterios definidos de finalización, lo que permitirá una

integración progresiva y controlada, particularmente relevante dada la interacción entre componentes de hardware y software. Asimismo, se implementará un esquema de mejora continua basado en métricas operativas, como tiempos de ciclo, incidencias y estabilidad del sistema, lo que facilitará la identificación de cuellos de botella y la optimización del proceso de desarrollo.

Este enfoque metodológico garantizará la coherencia entre el desarrollo tecnológico y la validación experimental, promoviendo la adaptabilidad, la trazabilidad de requerimientos y la confiabilidad operativa [11]. En consecuencia, la adopción de Kanban permitirá un desarrollo iterativo, controlado y alineado con la naturaleza dinámica del proceso de ensilaje, contribuyendo a la reducción de riesgos técnicos y al fortalecimiento de la robustez del sistema.

Arquitectura del Sistema

El sistema de monitoreo y control en tiempo real es diseñado bajo el modelo de three-tier architecture, el cual organiza la estructura funcional en tres niveles independientes: capa de presentación, capa de lógica de negocio y capa de datos. Esta separación garantiza modularidad, escalabilidad y mantenibilidad, aspectos fundamentales en sistemas que integran adquisición de datos físicos, procesamiento en tiempo real y almacenamiento histórico para análisis científico.

La Figura 1 muestra el diagrama visual de la arquitectura propuesta, incluyendo los principales módulos funcionales y su interacción.

En el contexto del monitoreo del proceso de ensilaje, donde la estabilidad y la confiabilidad de las mediciones son críticas, la arquitectura de tres capas proporciona una base estructural sólida para la implementación, validación y futura expansión del sistema.

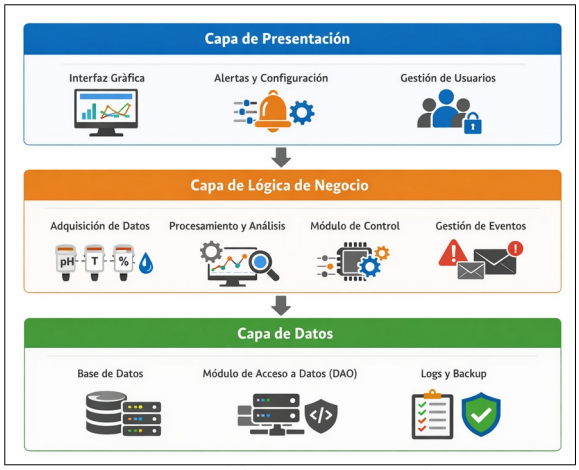

Fig. 1. Diagrama visual de la arquitectura de 3 capas para el sistema de ensilaje.

La interfaz de usuario (GUI) la cual se conecta a través de un puerto serial que utiliza las características principales de un sistema de control compuesto por elementos de software y hardware (SCADA) para propósitos del proyecto. Cuenta con los sensores en donde se adquiere datos en tiempo real como temperatura, pH, etc. y automáticamente muestra una gráfica que indica la tendencia del proceso del ensilaje, así como los valores máximos de PH y humedad. Así mismo, tiene un botón para exportar todos los datos adquiridos y evaluar que todo el proceso se encuentre dentro de los valores adecuados para el ensilaje, como se muestra en la Fig. 2. Cabe mencionar que esta interfaz del tipo dashboard es para tener una mejor organización de la información en tiempo real, usando técnicas de inteligencia artificial para revisar y tomar decisiones durante todo el proceso.

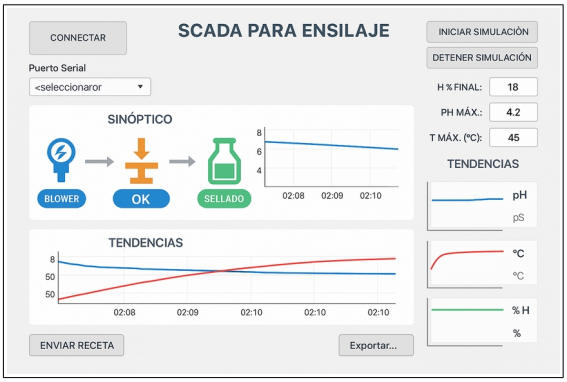

Fig. 2. Interfaz SCADA.

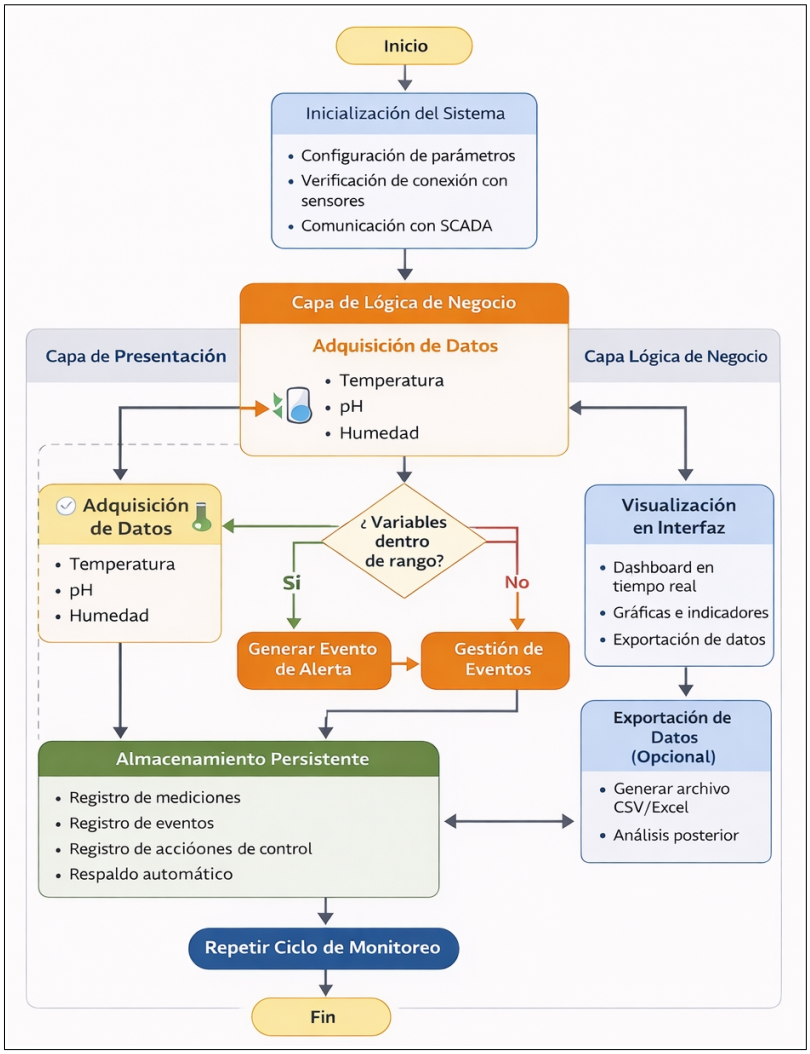

Fig. 3. Diagrama de flujo del Sistema de monitoreo y control en tiempo real.

La Figura 3 presenta el diagrama de flujo del sistema de monitoreo y control en tiempo real estructurado bajo una arquitectura de tres capas: presentación, lógica de negocio y datos. El proceso inicia con la configuración de parámetros, verificación de sensores y establecimiento de comunicación tipo SCADA. Posteriormente, la capa de lógica de negocio ejecuta la adquisición y análisis en tiempo real de variables críticas del ensilaje (temperatura, pH y humedad), comparándolas con umbrales predefinidos. Un nodo de decisión determina si las condiciones son óptimas; en caso contrario, se activan alertas y acciones de control. Simultáneamente, la capa de datos garantiza el almacenamiento persistente y la trazabilidad de mediciones y eventos. Finalmente, la capa de presentación actualiza el dashboard y permite la exportación de datos. La separación entre capas fortalece la seguridad, escalabilidad y mantenibilidad del sistema.

Con el propósito de sustentar técnica y económicamente la pertinencia del sistema propuesto, se realizó un análisis comparativo para evaluar la pertinencia técnica y económica del sistema propuesto frente al monitoreo tradicional del ensilaje de subproductos de piña. Mientras el enfoque convencional presenta supervisión discontinua, alta dependencia del factor

humano y limitada capacidad de respuesta, la solución basada en tecnologías IoT permite el monitoreo en tiempo real y el control automatizado de variables fisicoquímicas, favoreciendo una gestión más eficiente, proactiva y con mejoras en calidad y desempeño operativo [12].

La Tabla 1 presenta un análisis comparativo entre el monitoreo tradicional del proceso de ensilaje y la implementación de un sistema en tiempo real basado en tecnologías IoT, utilizando el microcontrolador ESP32. En ella se evalúan distintos factores clave, incluyendo costos de implementación y operación, frecuencia de monitoreo, dependencia de mano de obra, precisión en la adquisición de datos, capacidad de respuesta ante desviaciones y eficiencia del proceso.

Los resultados del análisis comparativo evidencian que la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real constituye una mejora significativa frente a los métodos tradicionales, especialmente en entornos agroindustriales con alta variabilidad ambiental. El uso de hardware de bajo costo, como el microcontrolador ESP32 y sensores comerciales, facilita el acceso a tecnologías avanzadas, particularmente en contextos rurales y de pequeña escala.

Asimismo, la automatización del monitoreo reduce la dependencia de la intervención humana, disminuye costos operativos y minimiza errores asociados al registro manual, incrementando la confiabilidad del proceso [13]. En términos productivos, la detección temprana de desviaciones permite una gestión preventiva, reduciendo la merma y mejorando el aprovechamiento de los subproductos de piña.

Tabla 1. Comparativa técnico-económica entre monitoreo tradicional y sistema IoT en tiempo real.

Factor de evaluación	Monitoreo tradicional	Sistema en tiempo real propuesto (IoT – ESP32)	Impacto de mejora
Costo de implementación	$3,000 – $8,000 MXN (equipos básicos: termómetro, medidor de pH portátil, higrómetro)	$1,500 – $3,500 MXN (ESP32 ~$150–250, sensor pH ~$450–800, temperatura ~$50–150, humedad ~$100–250, comunicación)	Reducción de hasta 40–60% en inversión inicial
Costo de adquisición de datos	Alto costo operativo: $150 – $300 MXN/día (mano de obra técnica para medición y registro)	Muy bajo: $5 – $20 MXN/día (energía + mantenimiento mínimo)	Ahorro operativo >80%
Frecuencia de monitoreo	Cada 4–8 horas (dependiente del operador)	Tiempo real (cada 1–10 segundos configurable)	Incremento exponencial en resolución de datos
Dependencia de mano de obra	1 operador (≈ $6,000 – $10,000 MXN/mes)	Supervisión ocasional (≈ $500 – $1,000 MXN/mes)	Reducción de hasta 85–90% en costos laborales
Error humano	5–15% de error en registro/manual	<1–2% (calibración de sensores)	Reducción significativa de retrabajos
Tiempo de respuesta ante desviaciones	2–6 horas (detección tardía)	<1 minuto (alertas automáticas)	Respuesta inmediata → evita fallas críticas
Control del proceso	Manual (sin costo en automatización, pero alto riesgo)	Automatización básica: $500 – $1,500 MXN (relevadores, actuadores)	Mejora en estabilidad sin incremento significativo de costo
Trazabilidad de datos	Registro manual (libretas o Excel básico)	Almacenamiento digital (local o nube): $0 – $200 MXN/mes	Acceso a analítica y mejora continua
Merma del proceso	10–25% de pérdida por fallas de fermentación	2–8% de pérdida (controlado)	Incremento de rendimiento hasta 20%
Escalabilidad	Costosa (duplicar equipos y personal)	Económica (nodos adicionales ~$500–$1,000 MXN c/u)	Crecimiento modular eficiente

Desde el punto de vista económico, el sistema presenta una inversión inicial competitiva y una reducción significativa de costos operativos, con un retorno de inversión estimado entre 3 y 6 meses. Adicionalmente, la trazabilidad y almacenamiento de datos posibilitan la incorporación futura de modelos predictivos, consolidando un enfoque de agricultura inteligente, eficiente y sostenible.

4. RESULTADOS

La implementación del sistema de monitoreo y control en tiempo real permitirá mejorar significativamente la supervisión y estabilidad del proceso de ensilaje de subproductos de piña. Se espera que el sistema registre de manera continua las variables críticas (pH, temperatura y humedad), facilitando la detección oportuna de desviaciones y reduciendo la dependencia de supervisión manual.

En términos operativos, el sistema permitirá a mantener las condiciones más estables durante la fermentación, lo que favorecerá la calidad y homogeneidad del ensilaje. La incorporación de mecanismos automáticos de control permitirá actuar con rapidez ante cambios críticos, disminuyendo riesgos asociados a variaciones prolongadas fuera de los rangos óptimos.

Asimismo, el almacenamiento estructurado de datos generará un historial detallado del proceso, lo que posibilitará análisis posteriores, identificación de patrones y mejora continua. Esta trazabilidad fortalecerá la confiabilidad del proceso y facilitará la toma de decisiones basada en evidencia.

Durante la validación experimental se espera demostrar que el sistema opere con precisión, estabilidad y tiempos de respuesta adecuados para aplicaciones en tiempo real. Además, su diseño modular permitirá futuras ampliaciones, como la incorporación de nuevas variables o modelos predictivos.

En conjunto, el sistema propuesto busca optimizar el control del proceso de ensilaje, aumentar su eficiencia y aportar una herramienta tecnológica que apoye la investigación y la mejora en procesos agroindustriales.

5. CONCLUSIONES

El estudio aborda la necesidad de tecnificar el proceso de ensilaje de subproductos de la piña (cáscara, corona y corazón), integrándolo a esquemas de economía circular y valorización agroindustrial. Se parte de un problema central: la inestabilidad bioquímica del proceso de fermentación cuando no se controlan de forma continua variables críticas como: pH, temperatura y humedad.

La literatura especializada señala que la temperatura constituye un indicador temprano de deterioro aeróbico, mientras que el pH confirma la estabilidad fermentativa. La ausencia de monitoreo continuo genera respuestas reactivas, pérdida de calidad del forraje y desperdicio de biomasa [14, 15].

En este contexto, la investigación propone transformar un proceso tradicionalmente empírico en un sistema digitalizado, trazable y controlado en tiempo real mediante tecnologías IoT y computación embebida.

El proyecto logra articular investigación aplicada, ingeniería de sistemas y sostenibilidad agroindustrial en una solución tecnológica concreta. La implementación de un sistema de monitoreo y control en tiempo real para el ensilaje de subproductos de piña representa una transición desde un manejo empírico hacia un modelo digitalizado, trazable y científicamente validado.

Más allá del desarrollo tecnológico, la

principal fortaleza del estudio radica en demostrar que es viable implementar infraestructura IoT de bajo costo, robusta y escalable en contextos agroindustriales regionales, sentando bases sólidas para su expansión industrial y su integración futura con modelos predictivos basados en inteligencia artificial.

REFERENCIAS

[1] Dhar P, Nickhil C, Pandiselvam R, Deka SC. Pineapple waste-based biorefinery for sustainable generation of value-added products. Biomass Conversion and Biorefinery (2024) 14:24927-24948. doi: 10.1007/s13399-023-04801-w

[2] Kiatti DD, Vastolo A, Koura BI, Vitaglione P, Cutrignelli MI, Calabrò S. The chemical characteristics and in vitro degradability of pineapple by-products as potential feed for ruminants. Animals (2023) 13(20):3238. doi: 10.3390/ani13203238

[3] Shan G, Buescher W, Maack C, Lipski A, Acir IH, Trimborn M, et al. Dual sensor measurement shows that temperature outperforms pH as an early sign of aerobic deterioration in maize silage. Scientific Reports (2021) 11:9080. https://www.nature.com/articles/s41598-021-88082-1

[4] Bauerdick JJ, Spiekers H, Bernhardt H. System design and validation of a wireless sensor monitoring system in silage. Agronomy (2022) 12(4):892. doi: 10.3390/agronomy12040892

[5] Piracon N. Subproductos de piña (Ananas comosus) como alternativa de alimentación en rumiantes. Yopal; 2020.

[6] Chacón SA. Caracterización del ensilaje de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) con adición de cáscara de piña [tesis]. Mossoró: Universidad Federal Rural del Semiárido; 2022.

[7] Cardozo Ramírez LE, Calle Viles E, Fuentes Telleria R, Ramos Silvestre ER, Tavera Gutiérrez DF. Monitoreo de la calidad del agua en criaderos de tilapias mediante tecnologías LPWAN y VPS. Ciencia Latina (2024) 8(2):5609-5629. doi: 10.37811/cl_rcm.v8i2.10975

[8] Juárez Zavaleta GJ, Martínez Arroyo M, Hernández Hernández JL, Montero Valverde JA. Avances en la detección de la mosca blanca mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial: un comprensivo estado del arte. Ciencia Latina (2024) 8(2):3194-3204. doi: 10.37811/cl_rcm.v8i2.10750

[9] Cabarcas Álvarez A, Puello Marrugo P, Lechuga Sierra JE. Sistema de monitoreo para cuerpos de agua en la ciudad de Cartagena basado en internet de las cosas. En: Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI; 2023. p. 1-9.

[10] Viveros Torres I, Muñoz Delgado J, Lagunes Gomez I. Diseño de sistemas tecnificados para el aprovechamiento de subproductos de la piña. En: Proceedings INNODOCT/22 International Conference on Innovation, Documentation and Education. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València; 2023. p. 289-297.

[11] Brucel C, Thibault É, Patience GS, Stuart P. Experimental methods in chemical engineering–Validation of steady state simulation. Canadian Journal of Chemical Engineering (2025) 103(5):1945-1964. doi: 10.1002/cjce.25601

[12] Adeleke I, Nwulu N, Adebo OA. Internet of Things (IoT) in the food fermentation process: a bibliometric review. Journal of Food Process Engineering (2023) 46(5). doi: 10.1111/jfpe.14321

[!3] Megantoro P, Prastio RP, Kusuma HFA, Abror A, Vigneshwaran P, Priambodo DF, et al. Instrumentation system for data acquisition and monitoring of hydroponic farming using ESP32 via Google Firebase. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (2022) 27(1):52. doi: 10.11591/ijeecs.v27.i1.pp52-61

[14] Rivera AMP, Toro CR, Londoño L, Bolivar G, Ascacio JA, Aguilar CN. Bioprocessing of pineapple waste biomass for sustainable production of bioactive compounds with high antioxidant activity. Journal of Food Measurement and Characterization (2023) 17(1):586-606. doi: 10.1007/s11694-022-01627-4

[15] Fandiño Pelayo JS, Mendoza Castellanos LS, Cazes Ortega R, Hernández-Rojas LG. AI-driven monitoring for fish welfare in aquaponics: a predictive approach. Sensors (2025) 25(19):6107. doi: 10.3390/s25196107

ACERCA DE LOS AUTORES

Jazmin Morales Ramón. Docente del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. Ingeniera Química con formación en tecnología educativa y Maestría en Sistemas Computacionales. Cuenta con experiencia en la formación de estudiantes de nivel superior e incorporación de herramientas tecnológicas aplicadas a la enseñanza. Actualmente desarrolla su trayectoria en investigación, con interés en el desarrollo de software, la innovación tecnológica y la aplicación de tecnologías digitales en los ámbitos educativo y de ingeniería. Su trabajo se enfoca en la integración interdisciplinaria de la ingeniería,

los sistemas computacionales y la tecnología educativa para generar soluciones innovadoras y fortalecer los procesos educativos.

Israel Viveros Torres. Docente del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. Es Ingeniero Mecánico, Maestro en Ingeniería Mecatrónica y cuenta con estudios doctorales en Sistemas Computacionales. Su línea de investigación se enfoca en robótica y mecatrónica aplicada, integrando sistemas de control, modelado, biomecánica e instrumentación para aplicaciones industriales y de salud. Ha desarrollado exoesqueletos, órtesis robóticas y sistemas de rehabilitación con adquisición de señales EMG, además de proyectos de automatización y visión artificial. Cuenta con publicaciones científicas, desarrollos tecnológicos en proceso de patente, registros de software, proyectos financiados y experiencia en transferencia tecnológica y dirección de tesis.

Dionisio Pérez Pérez. Docente del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. Es Ingeniero en Sistemas Computacionales, Maestro en Tecnologías de la Información y en Tecnología Educativa, académico e investigador mexicano, y profesor de tiempo completo. Su línea de investigación comprende el desarrollo de software aplicativo, desarrollo web, sistemas inteligentes y ciencia de datos. Ha participado en diversos proyectos de investigación, publicado artículos de divulgación científica y capítulos de libro. Asimismo, ha dirigido proyectos de investigación y tesis, contribuyendo a la formación de estudiantes y al fortalecimiento de la investigación científica y tecnológica en el ámbito educativo y profesional.

Erica María Lara Muñoz. Académica e investigadora mexicana, Profesora de Tiempo Completo del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. Es Ingeniera en Sistemas Computacionales, Maestra en Ciencias de la Computación y en Tecnología Educativa, y Doctora en Educación y en Ciencias de la Computación. Miembro del SNII, Nivel I, y con Perfil PRODEP. Su línea de investigación aborda computación aplicada, sistemas inteligentes, desarrollo de software y tecnología educativa. Ha participado en proyectos financiados por CONAHCYT, TecNM y COVEICYDET, publicado libros y artículos científicos, registrado software y dirigido tesis y proyectos de investigación.