



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

“Sistema de monitoreo del compostaje con IoT y lógica difusa para el control de variables y toma de decisiones”

AUTOR

Pozo Catuto Jefferson Misael

PROYECTO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del grado académico en
INGENIERO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TUTOR

Ing. Comp. Marcia Marisol Bayas Sampedro, PhD.

Santa Elena, Ecuador

Año 2025



UPSE
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. José Sánchez Aquino. Mgt.
DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Comp. Marcia Bayas Sampedro. Ph.D.
TUTOR

Ing. Mónica Jaramillo Infante. Mgt.
DOCENTE ESPECIALISTA

Ing. Marjorie Coronel Suárez. Mgt.
DOCENTE GUÍA UIC



UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA

DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **Pozo Catuto Jefferson Misael**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Tecnologías de la Información.

La Libertad, a los 09 días del mes de diciembre del año 2025

TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**MARCIA MARISOL
BAYAS SAMPEDRO**

Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Comp. Marcia Bayas Sampedro, Ph.D.



UPSE
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pozo Catuto Jefferson Misael**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Sistema inteligente para el monitoreo y optimización del compostaje con IoT y lógica difusa. previo a la obtención del título en Ingeniero en Tecnologías de la Información, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

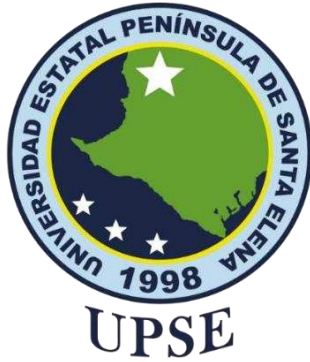
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 09 días del mes de diciembre del año 2025

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jefferson Misael Pozo Catuto".

Jefferson Misael Pozo Catuto



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Sistema inteligente para el monitoreo y optimización del compostaje con IoT y lógica difusa, presentado por el estudiante, Pozo Catuto Jefferson Misael fue enviado al Sistema Antiplagio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 9%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**MARCIA MARISOL
BAYAS SAMPEDRO**

Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Comp. Marcia Bayas S. Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
AUTORIZACIÓN**

Yo, Pozo Catuto Jefferson Misael

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución. Cedo los derechos en línea patrimoniales del presente trabajo de titulación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

La Libertad, a los 09 días del mes de diciembre del año 2025

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jefferson", is written over a horizontal line.

Jefferson Misael Pozo Catuto

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios, por ser la calma y la luz que me guiaron en los momentos difíciles. A mi mamá, aunque no esté aquí, por su amor, consejos y la fuerza que siempre me transmitió, que fueron mi sostén cuando pensé que no podría seguir. A mi papá, por su apoyo silencioso, su esfuerzo constante y por creer en mis sueños. A mis hermanos y a mi familia cercana, que siempre me brindaron ánimo, apoyo y compañía, fundamentales para continuar. También agradezco a mis docentes y compañeros, cuya guía y enseñanzas enriquecieron este proyecto. Finalmente, reconozco con respeto y gratitud a la Ing. Comp. Marcia Bayas, PhD., por su valiosa orientación y apoyo en mi crecimiento personal y profesional.

Jefferson Misael, Pozo Catuto

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi mamá. Aunque ya no está, su presencia sigue viva en mí: en su forma de cuidar, en su voz tranquila y en su manera de ponerme firme cuando hacía falta. La extraño cada día, pero siento que me acompaña en todo lo que hago. Gracias, mamá, por darme fuerzas aún en tu ausencia, por enseñarme a seguir adelante y por ese cariño que guardo en cada recuerdo.

También lo dedico a mi papá, que siempre ha estado a mi lado en los momentos difíciles y en los buenos. Ha trabajado incansablemente y hecho sacrificios que muchas veces ni menciono, pero que siempre reconozco. Gracias, papá, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por apoyarme cuando me faltaban fuerzas y por mostrarme con tu ejemplo que con esfuerzo y corazón se logra todo. Este logro es también tuyo.

Jefferson Misael, Pozo Catuto

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARO QUE:	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. FUNDAMENTACION	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Descripción del proyecto	5
1.3. Objetivos del proyecto	8
1.4. Justificación del proyecto	8
1.5. Alcance de proyecto	10
1.6. Metodología del proyecto	13
1.6.1. Metodología de la investigación	13

1.6.2. Beneficiarios de proyecto	13
1.6.3. Variables	15
1.6.4. Análisis de recolección de datos	15
1.7. Metodología de desarrollo	20
CAPÍTULO 2. PROPUESTA	23
2.1. Marco contextual	23
2.2. Marco conceptual	24
2.2.1. Compostaje	24
2.2.2. Internet de las Cosas (IoT)	25
2.2.3. Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real	26
2.2.4. Monitoreo de temperatura en Compostaje	27
2.2.5. Sensores de Temperatura	28
2.2.6. Protocolos de Comunicación IoT	28
2.2.7. Plataformas de Visualización de Datos	29
2.2.8. Optimización Energética en Compostaje	30
2.2.9. Aplicaciones Web	30
2.2.10. Aplicaciones Móviles	31
2.2.11. Base de Datos MySQL	32
2.3. Marco teórico	32
2.3.1. Compostaje como Proceso Biológico y Sostenible	32

2.3.2. Internet de las Cosas (IoT) y su Aplicación en Procesos Productivos	33
2.3.4. Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real	33
2.3.5. Sensores para Monitoreo Ambiental: Temperatura, pH, Gases y Humedad	34
2.4. Requerimientos	35
2.4.1. Requerimientos funcionales	35
2.4.2. Requerimientos no funcionales	38
2.5. Componentes de la propuesta	39
2.5.1. Arquitectura del sistema	40
2.5.2. Diagramas de casos de uso	41
2.5.3. Modelado de datos	47
2.6. Diseño de interfaces	48
2.7. Pruebas	69
2.8. Resultados	75
2.8.1. Resultados de las pruebas usabilidad y diseño	76
2.8.2. Resultados de funcionamiento del sistema IoT y visualización de datos	77
2.8.3. Resultados de Seguridad	78
2.8.4. Síntesis de resultados	79
2.8.5. Resultados de los módulos de administración y gestión interna.	79
2.8.6. Resultados del módulo de auditoría	80
2.8.7. Resultados del módulo de gráficas	80

2.8.8. Resultados del explorador de datos	81
2.8.9. Resultados del monitoreo de actuadores	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS	86
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de variables del compostaje	25
Tabla 2	Tabla de componentes IoT	26
Tabla 3	Tabla de sistemas de monitoreo	26
Tabla 4	Sensores de temperatura	27
Tabla 5	Sensores de temperatura	28
Tabla 6	Tabla de Protocolos de comunicación	29
Tabla 7	Plataforma de visualización de datos	29
Tabla 8	Optimización Energética	30
Tabla 9	Tabla de aplicaciones web	31
Tabla 10	Requerimientos funcionales - Modulo de autenticación	36
Tabla 11	Requerimientos funcionales - Modulo de perfil	36
Tabla 12	Requerimientos funcionales - Modulo de monitoreo IOT	36
Tabla 13	Requerimientos funcionales - Modulo de alertas	37
Tabla 14	Requerimientos funcionales - Modulo de reportes	37
Tabla 15	Requerimientos funcionales - Modulo de configuración de compostera	38
Tabla 16	Requerimientos funcionales - Modulo de administración	37
Tabla 17	Requerimientos no funcionales -Rendimiento, seguridad y disponibilidad	38
Tabla 18	Requerimientos no funcionales - Usabilidad, compatibilidad y mantenibilidad	39
Tabla 19	Caso de uso autenticación de usuario	42
Tabla 20	Caso de uso monitoreo en tiempo real	43
Tabla 21	Caso de uso control automático (lógica difusa)	44

Tabla 22 Caso de uso control manual	45
Tabla 23 Caso de uso reportes históricos	46
Tabla 24 Caso de prueba – Inicio de sesión	69
Tabla 25 Caso de prueba – Registro de nuevos usuarios	70
Tabla 26 Caso de prueba Conexión y recepción de datos IoT	71
Tabla 27 Caso de prueba Visualización de variables ambientales	72
Tabla 28 Caso de prueba – Generación de alertas difusas	73
Tabla 29 Caso de prueba – Control automático de actuadores	74
Tabla 30 Caso de prueba – Generación de reportes	75
Tabla 31 Resumen de la Prueba de Interfaz de Usuario	77
Tabla 32 Resumen de la Prueba de Interfaz de Sistema IoT y visualización de datos (Lecturas)	77
Tabla 33 Resumen de la Prueba de Interfaz de Sistema IoT y visualización de datos (Alertas)	78
Tabla 34 Resumen prueba de seguridad	78
Tabla 35 Resumen de pruebas de lecturas	79
Tabla 36 Resumen de prueba de módulo de administrador	79
Tabla 37 Resumen de resultados de interfaz de registros	80
Tabla 38 Resumen de pruebas de interfaz de gráficas	81
Tabla 39 Resumen de interfaz explorador de datos	82
Tabla 40 Resumen de pruebas de interfaz de monitoreo	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1	Respuestas de la pregunta 1 - Encuesta	18
Ilustración 2	Respuesta de la pregunta 2 - Encuesta	19
Ilustración 3	Respuestas de la pregunta 3 - Encuesta	19
Ilustración 4	Metodología de desarrollo Cascada	22
Ilustración 5	Arquitectura del sistema	40
Ilustración 6	Modelo de base de datos	48
Ilustración 7	Proceso para el diseño de la interfaz de usuario	49
Ilustración 8	Interfaz de inicio de sesión	52
Ilustración 9	Recuperación de clave	53
Ilustración 10	Interfaz de Dashboard principal	54
Ilustración 11	Reporte csv de alertas del dashboard	55
Ilustración 12	Interfaz de gráficas	56
Ilustración 13	Archivos de descarga en formatos png de gráficas	57
Ilustración 14	Archivo pdf de gráficas.	58
Ilustración 15	Interfaz de monitoreo de actuadores	60
Ilustración 16	Diagrama de flujo de Lógica difusa	62
Ilustración 17	Interfaz de explorador de datos	64
Ilustración 18	Descarga de los archivos pdf y csv de interfaz explorador de archivos	64
Ilustración 19	Interfaz de parámetros del sistema	65
Ilustración 20	Interfaz de Administrador de usuarios	66
Ilustración 21	Interfaz de perfil de usuario	67
Ilustración 22	Interfaz de Registros	68

RESUMEN

Los residuos orgánicos que se votan a la basura diariamente en los hogares continúan generando problemas ambientales y limitando el aprovechamiento de estos residuos mediante el proceso del compostaje. En la provincia de Santa Elena, este proceso suele realizarse empíricamente y sin tecnologías. Frente a este escenario, se desarrolla una plataforma web y móvil integrando el Internet de las Cosas (IoT) y lógica difusa para realizar el monitoreo continuo de temperatura, humedad y gases característicos de la descomposición (NH_3 y CH_4) y controlar el proceso del compost. La recopilación de requisitos se realizó mediante encuestas a usuarios potenciales y la consulta a un especialista, así como la simulación y prueba inicial de prototipo desarrollado por el grupo de investigación TECED para validar el funcionamiento del sistema y afinar las reglas. Los resultados muestran que la integración de IoT con control inteligente facilita la detección temprana de variaciones en el compost y permite generar alertas oportunas de esta práctica sostenible. Este proyecto contribuye como una herramienta accesible y escalable que responde a necesidades ambientales locales. Asimismo, evidencia el rol fundamental de las TI en la creación de soluciones sostenibles que integran sensorización, análisis de datos y toma de decisiones automatizada.

Palabras claves: Compostaje, IoT, Lógica difusa.

ABSTRACT

Organic waste discarded daily in homes continues to generate environmental problems and limits its utilization through composting. In the province of Santa Elena, this process is often carried out empirically and without technology. To address this situation, a web and mobile platform was developed integrating the Internet of Things (IoT) and fuzzy logic to continuously monitor temperature, humidity, and characteristic decomposition gases (NH_3 and CH_4) and control the composting process. Requirements were gathered through surveys of potential users and consultation with a specialist, as well as simulation and initial testing of a prototype developed by the TECED research group to validate the system's operation and refine the rules. The results show that integrating IoT with intelligent control facilitates the early detection of compost variations and allows for timely alerts regarding this sustainable practice. This project contributes as an accessible and scalable tool that responds to local environmental needs. It also highlights the fundamental role of IT in creating sustainable solutions that integrate sensors, data analysis, and automated decision-making.

Keywords: Composting, IoT, Fuzzy logic.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la sostenibilidad ha tomado un papel importante en las discusiones ambientales especialmente relacionado con el manejo adecuado de los residuos orgánicos [1] [2]. Este interés ha impulsado la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan un tratamiento más responsable de dichos residuos. Una gran parte de estos residuos orgánicos son generados en hogares y en pequeños negocios [3] [4]. Cuando estos desechos no se manejan correctamente, contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero y a la sobrecarga de los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos [5] [6]. En este caso, si estos residuos pasan por un proceso de compostaje se consolidaría como una opción práctica y sostenible, ya que permite transformar los restos orgánicos en un recurso útil para distintos cultivos y actividades agrícolas [7] [8].

En varios países se han creado equipos que automatizan parte del proceso del compostaje obteniendo resultados positivos, tanto en entornos domésticos como industriales [9] [10]. Estudios en España, Alemania y Estados Unidos muestran que estos sistemas ayudan a acelerar la descomposición y a obtener un producto final más uniforme [11]. A pesar de ello, investigaciones recientes señalan que una familia puede generar entre cuatro y seis kilogramos de residuos orgánicos al día, de los cuales la mayor parte termina en rellenos sanitarios [12] [13]. Estos datos muestran que, aunque los desechos tienen un potencial significativo su aprovechamiento sigue siendo poco considerado, especialmente en situaciones donde no se dispone de herramientas de seguimiento o conocimiento técnico limitado.

En la República del Ecuador, tanto en las instituciones de educación superior como los agricultores han desarrollado técnicas para el proceso de compostaje, ya sea de manera manual o mediante sistemas parcialmente automáticos. Sin embargo, estas técnicas podrían mejorarse mediante la integración de las tecnologías digitales en estos procesos. Esto abre una oportunidad para proponer nuevas soluciones que vayan de la mano con las políticas actuales de sostenibilidad y desarrollo tecnológico del

país [14] [15].

En la provincia de Santa Elena el proceso de compost continúa siendo gestionado de manera tradicional, basándose en métodos empíricos y sin el apoyo de tecnologías digitales [16]. Este método tradicional depende en gran medida de la experiencia del usuario y el monitoreo manual de variables clave, como la temperatura, humedad, pH y gases emitidos, generando limitaciones significativas en la eficiencia del producto “compost”. Por lo tanto, frente a esta situación, se planteó el desarrollo de una plataforma informática que reciba los datos de los sensores mediante un sistema IoT y que permita dar seguimiento constante de las variables clave para el monitoreo de proceso del compost [17].

En una encuesta (anexo2) se obtuvo que en los domicilios y en los pequeños negocios no utilizan herramientas que se adapten al uso doméstico que combinen la integración del uso de sensores y transmisión de datos para el monitoreo del compost. Inclusive en sectores como el barrio 16 de julio, gran parte de los residuos orgánicos generados se desperdicia, y muchos intentos del proceso del compost no llegan a resultados satisfactorios por la falta de seguimiento o por desconocimiento de las condiciones adecuadas durante el proceso. Estas observaciones nos muestran que la ausencia de tecnologías digitales causa un impacto ambiental y social.

Este proyecto de titulación contribuye como una parte de la solución del proyecto de investigación titulado “Aplicaciones de la Tecnología del Internet de las Cosas con Componentes Ambientales para Viviendas Ecuatorianas”, registrado en el INCYT de la universidad estatal con el código CUP: INCYT-PNF-2025-S73-194 y desarrollado por el grupo de investigación Tecnología, Ciencia y Educación (TECED) de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN

1.1. Antecedentes

Durante los últimos años se ha vuelto común que distintas áreas ambientales integren tecnologías que facilitan actividades que antes exigían una supervisión manual constante [16] [17]. Diversos estudios internacionales recogen experiencias donde se emplean sensores, microcontroladores y plataformas conectadas a la red para monitorear cambios de temperatura, humedad o presencia de gases generados en la descomposición de residuos orgánicos [18] [19]. Aunque los enfoques utilizados difieren entre proyectos, estas iniciativas han permitido comprender mejor el comportamiento del compost y reducir la necesidad de supervisarlos constantemente [20] [21]. Su aplicación empezó principalmente en sectores agrícolas e industriales, además de proyectos de sostenibilidad que buscaban optimizar el uso de los residuos. Su uso se ha extendido especialmente en entornos agrícolas, industriales y en programas de sostenibilidad en los que se busca optimizar la gestión de los residuos.

Aunque se han logrado avances, las investigaciones muestran que la mayoría de las soluciones está diseñada para proyectos de gran tamaño y requieren equipos que no son accesibles para hogares o pequeños grupos comunitarios [22] [23]. Muchos trabajos describen dispositivos que dependen de hardware especializado, suscripciones o plataformas que no se emplean normalmente en casas. Incluso en iniciativas donde se usan sensores económicos, el tratamiento de los datos se realiza fuera del lugar donde estos se producen, lo que impide revisar la información al instante [24] [25]. También se menciona en varios estudios que todavía no se incorporan herramientas de análisis que permitan detectar cambios repentinos en el proceso y generar avisos oportunos [26] [27].

En Ecuador, las iniciativas tecnológicas relacionadas con la gestión de residuos se concentran principalmente en ámbitos agrícolas o institucionales. El compostaje que se practica en hogares y pequeños comercios continúa siendo, en la mayoría de los casos, una actividad manual sin apoyo de instrumentos que registren en tiempo real el comportamiento del material orgánico [28] [29]. Esta situación también se refleja

en la provincia de Santa Elena, donde el proceso depende del criterio personal y de la experiencia de cada familia. La falta de conocimiento al momento de hacer un compost hace que muchas personas pierdan el interés, echando a perder los desechos orgánicos, sin una guía del proceso por el cual deben pasar estos materiales, vuelve complicada rutina adecuada para saber si la mezcla está en un buen proceso, como debería.

La encuesta que realizó en el barrio 16 de julio del cantón Santa Elena nos dice que las familias generan una cantidad promedio diaria de desechos orgánicos, sin embargo, cuentan con los recursos necesarios para utilizarlos adecuadamente. Aquellos que intentaron compostar, mencionaron que no sabían cuando intervenir, cómo interpretar la temperatura o cuando era necesario modificar la humedad de material. Esta falta de datos afecta directamente a la calidad del proceso. En varios casos el compost se abandonó porque el material se calentó demasiado, generó olores inesperados o tardó más de lo previsto en descomponerse.

La revisión de trabajos previos confirma que existen propuestas basadas en placas de desarrollo, módulos de comunicación inalámbrica y sensores económicos, pero en su mayoría se trata de prototipos aislados o diseñados únicamente para monitoreo [30]. No se identifican soluciones integradas que combinen registro continuo, almacenamiento de datos, análisis computacional y una interfaz que facilite la comprensión del proceso a usuarios sin conocimientos técnicos. Esto demuestra que existe una diferencia entre las soluciones existentes y las necesidades de los que realizan compostaje en entornos urbanos.

Además, los estudios relacionados con la sostenibilidad urbana sostienen que el uso de residuos domésticos está fuertemente determinado por el acceso a información clara y a herramientas que orienten a los usuarios si las condiciones del proceso se desvían [31] [32]. El compostaje tiende a no ser exitoso o a tener una duración breve sin estos elementos. Los antecedentes consultados destacan que la integración de sensores simples con plataformas accesibles podría mejorar la calidad del compost producido y favorecer prácticas más responsables a nivel comunitario [33] [34].

En conjunto, estos antecedentes muestran que existe una oportunidad para desarrollar

sistemas que permitan monitorear el compostaje de manera sencilla y continua, basados en tecnologías económicas y con capacidad de interpretar los datos que se generan dentro del proceso.

1.2. Descripción del proyecto

Este proyecto se planteó como respuesta a la dificultad que enfrentan muchas personas, en la práctica al intentar supervisar de forma constante el proceso del compost de manera doméstica. En condiciones reales, la temperatura, la humedad y los gases presentes en la mezcla pueden variar rápidamente, lo que provoca fallas en la descomposición cuando no se detectan a tiempo. Problemas como el sobrecalentamiento, la falta de humedad o la aparición de olores intensos suelen advertirse únicamente cuando el material ya está deteriorado. A partir de esta necesidad se propuso desarrollar una plataforma informática que integre datos provenientes de sensores IoT mediante el protocolo MQTT, con el fin de mostrar en tiempo real el comportamiento interno de la compostera y facilitar la interpretación de variables como temperatura, humedad, nivel de agua, gases asociados al proceso.

Para organizar su desarrollo se adoptó un enfoque cualitativo que permitió identificar los componentes esenciales del sistema y detectar aquellos que no aportaban valor al usuario. Este análisis guiado por requisitos funcionales y no funcionales dio lugar a una arquitectura que almacena la información en la nube y permite el acceso tanto desde dispositivos móviles como desde computadoras. Esta decisión busco eliminar la dependencia de un único equipo y asegurar que los datos permanezcan disponibles en cualquier momento.

Uno de los objetivos más importantes fue desarrollar el software diseñado para personas con distintos tipos de conocimiento con herramientas digitales. La idea era que los usuarios que saben manejar las tecnologías actuales puedan comprenderla bien, pero al mismo tiempo no tan difícil de comprender para usuarios que no sepan utilizar a la perfección las tecnologías actuales, para lograrlo, se diseñó una estructura amigable e intuitiva para entender su funcionamiento y procedimiento

Para describir mejor la estructura, el sistema se organizó en varios módulos que agrupan

las funciones principales.

Módulos Principales del Sistema

- Módulo de visualización y monitoreo
 - Permite la conexión y comunicación con dispositivos IoT.
 - Visualiza en tiempo real los datos transmitidos por los sensores.
 - Muestra el comportamiento de las variables medidas a lo largo del tiempo, permitiendo filtrar por fecha o por tipo de dato.
 - Facilita la administración de dispositivos IoT, permitiendo registrar nuevos equipos, modificar los existentes o retirarlos del sistema cuando sea necesario.
- Módulo de Alertas
 - Genera alertas dinámicas utilizando reglas basadas en lógica difusa, combinando múltiples variables para identificar situaciones críticas y emitir notificaciones en tiempo real.
 - Las alertas generadas por el sistema se muestran directamente en la interfaz.
 - También pueden enviarse al correo electrónico de los usuarios que estén registrados.
- Módulo reportes
 - Permite la generación de reportes detallados sobre el proceso de compostaje, considerando los diferentes ciclos y eventos ocurridos durante el día.
 - Ofrece filtros avanzados para la búsqueda y consulta de reportes.
 - Genera reportes administrativos sobre la cantidad de usuarios y el estado de los dispositivos (activos o inactivos) por año.
- Módulo de usuarios y roles
 - Cuenta con un sistema de autenticación para controlar el acceso.

- Permite asignar roles con diferentes niveles de permisos según el perfil del usuario.
- Ofrece funciones de recuperación de contraseñas y registro de nuevos usuarios.
- Módulo de sistema de control mediante lógica difusa
 - Integra controladores basados en lógica difusa para detectar cambios en el entorno del compost y tomar acciones automáticas que aseguren el correcto desarrollo del proceso.
 - Registra y almacena información sobre los cambios y acciones realizadas.
 - Permite listar y consultar información generada durante el día para su análisis posterior.

En general, cada uno de los módulos del sistema funcionan de manera que no solo muestran valores o gráficos, sino que ayudan a interpretar el proceso del compost, incluso saber en qué momento intervenir en el proceso. El usuario puede ver el estado general, revisar las alertas o consultar los reportes, al mismo tiempo los registros quedan almacenados para estudiar con calma los datos en un tiempo determinado que el usuario disponga.

En la parte técnica, la interfaz se desarrolló con Angular e Ionic, mientras que el backend se desarrolló en Node.js y trabaja con una base de datos MySQL. Los sensores IoT transmiten sus lecturas mediante MQTT hacia un bróker como Mosquitto, donde los datos son gestionados y registrados en la plataforma.

Para las pruebas se emplearon tanto datos reales como simulaciones generadas en Node- Red, lo que permitió comprobar el rendimiento del sistema bajo diferentes condiciones y validar su estabilidad antes de la puesta en marcha definitiva.

1.3. Objetivos del proyecto

Objetivo general

Desarrollar un sistema informático integrado con IoT para monitorear el proceso de compostaje mediante control inteligente basado en lógica difusa y toma de decisiones basada en datos del prototipo simulado.

Objetivos específicos

- ✓ Diseñar una aplicación web y móvil para el monitoreo los datos obtenidos desde el dispositivo IoT.
- ✓ Desarrollar un módulo de control inteligente basado en lógica difusa para la regulación en tiempo real de las variables críticas del proceso de compostaje.
- ✓ Generar reportes con los datos obtenidos del dispositivo IOT para apoyar la toma de decisiones en el proceso de compostaje.
- ✓ Diseñar interfaces de usuario con presentación de gráficos para mostrar en tiempo real las variables claves del compostaje: temperatura, humedad del suelo y los gases amoniacos (NH_3) y metano (CH_4).

1.4. Justificación del proyecto

El compostaje doméstico se ha establecido como una alternativa viable para aprovechar los residuos orgánicos generados en el hogar, ya que permite transformarlos en un abono que mejora la calidad del suelo y reduce la cantidad de contaminación de desechos enviados a los vertederos. Sin embargo, en la práctica, lograr un compostaje aceptable depende mucho del control de variables como la temperatura interna, la humedad del material y la presencia de los gases que se generan en la descomposición. Cuando estas variables no se monitorean adecuadamente, el compost puede extender su proceso más

de lo esperado, perder calidad o incluso echarse a perder, lo que desmotiva a los usuarios y limita el impacto positivo en el medio ambiente que se podría lograr [35] [36].

Este proyecto de titulación se desarrolló dentro de la línea de investigación “Aplicaciones de la Tecnología del Internet de las Cosas con Componentes Ambientales para Viviendas Ecuatorianas”, código CUP: INCYT-PNF-2025-S73-194, impulsada por el grupo TECED de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones. Partiendo de esta línea se desarrolla una compostera automatizada basada en tecnologías IoT, y surgió la necesidad de diseñar un sistema informático que capture, organice y permita la revisión de las variables medidas por los sensores. Además, se incorporó un componente de lógica difusa con el fin de apoyar la toma de decisiones y mejorar el control del proceso, especialmente en etapas donde las variaciones de las condiciones internas pueden ser complicadas de analizar de manera manual.

A partir de esta necesidad se desarrolló una aplicación móvil y una plataforma web para poder visualizar, analizar y gestionar los datos enviados por el sistema IoT. La finalidad no es únicamente mostrar valores numéricos, sino ofrecer herramientas que permitan comprender el estado del proceso en tiempo real. De esta manera, tanto usuarios que requieren datos detallados para fines de investigación como quienes necesitan únicamente notificaciones, pueden utilizar la misma plataforma de manera fácil. El diseño se desarrolló para ser simple y accesible.

La lógica difusa se incluyó porque ayuda a interpretar variables en los momentos en que muestren un comportamiento fuera de lo común, ni valores precisos. En los procesos del compost, la temperatura, la humedad y los gases producidos en el interior de la mezcla suelen variar de manera irregular y no siempre siguen un comportamiento fácil de predecir. Por esa razón se recurrió al uso de un microservicio inteligente, ya que este enfoque permite interpretar mejor esos cambios, incluso cuando los valores no son del todo estables, y a partir de ellos generar recomendaciones automáticas que ayuden a mantener el proceso en rangos adecuados sin depender de una intervención constante por parte del usuario. Además, la propuesta se alinea con distintos lineamientos que fomentan el uso responsable de los recursos y la reducción de impactos ambientales. Entre estos se encuentran los Objetivos de Desarrollo Sostenible 12 y 13, el Convenio de

Basilea y varias normas nacionales, como la Ley de Gestión Ambiental y el Plan Nacional de Desarrollo, que respaldan la implementación de tecnologías orientadas a una gestión más sostenible de los residuos orgánicos. Estos documentos apoyan el uso de tecnologías que permitan manejar los residuos de manera más responsable [37] [38] [39].

Los temas abordados en este proyecto están directamente vinculados con lo que se estudia en la carrera, especialmente en asignaturas donde se evalúan tecnologías emergentes y el empleo de datos para solucionar problemas concretos. Se emplearon entornos simulados de diversos casos reales durante el proceso de desarrollo para optimizar la operatividad de nuestro software y su capacidad de respuesta frente a este tipo de circunstancias.

El trabajo realizado también considera una posible solución a uno de los problemas cotidianos en los entornos domésticos haciendo uso de las tecnologías que hoy en día más se utilizan. El uso de estas herramientas busca que las personas sean más conscientes en la forma en la que manejan los desechos que producen en su diario vivir para obtener un beneficio de ello y aportar con prácticas más sostenibles para el medio ambiente.

De igual manera, el proyecto se ajusta a los ejes de investigación del programa de estudios, destacando las tecnologías emergentes que actualmente transforman la forma en que gestionamos estos materiales producidos en zonas laborales o espacios domésticos. Se dio prioridad a las funcionalidades de las plataformas para que sean simples y fáciles de entender. Este aspecto contribuyó a la creación de cada interfaz, orientada hacia los usuarios domésticos y modificando las funcionalidades sin apartarnos del objetivo principal.

En resumen, el proyecto plantea una solución práctica para manejar de manera correcta los desechos orgánicos que se generan en el diario vivir. Al automatizar este tipo de procesos se busca que las personas puedan generar su abono en casa sin la necesidad de tener conocimientos básicos sobre las condiciones óptimas de las variables claves y no fracasar en el intento. Esto vuelve la actividad más accesible y, al mismo tiempo, contribuye al cuidado del ambiente de una forma sencilla y útil para la comunidad.

1.5. Alcance de proyecto

La investigación se desarrolló con un alcance descriptivo, pues se buscó exponer de

manera clara los elementos necesarios para supervisar un sistema de compost apoyado en sensores y una plataforma informática accesible para el usuario doméstico. Bajo este enfoque se identificaron las variables que influyen directamente en la descomposición, como la temperatura interna, la humedad del material y ciertos gases que aparecen durante el proceso. También se revisaron los parámetros utilizados en la generación de alertas mediante lógica difusa, con el fin de comprender cómo estas reglas ayudan a mantener condiciones estables dentro de la compostera. El trabajo, más que proyectar resultados futuros, se centró en explicar el comportamiento del sistema y en organizar la información que este produce.

El proyecto se centra fundamentalmente en la crear una plataforma —disponible en dispositivos móviles y en la web— que permita seguir de cerca un proceso mediante el uso de sensores y un conjunto de reglas automáticas que apoyen su control. Se pretende que el usuario tenga la posibilidad de monitorear fácilmente cómo varían las condiciones del compost y de recibir alertas cuando algo no sea lo habitual, sin tener que estar revisando constantemente.

Esta estructura permitió que cualquier persona, con o sin conocimientos técnicos, pueda interpretar la información que recibe y actuar en el momento adecuado. El sistema desarrollado constituye una base inicial que podrá ampliarse más adelante, pero esas extensiones no forman parte de esta fase del proyecto. En esta versión se comprobó que es posible registrar y procesar la información generada por los sensores y, además, interpretar esos datos por medio de lógica difusa. A partir de esta lectura, el sistema determina si es necesario emitir alguna advertencia para mantener el proceso dentro de rangos adecuados. De esta manera se evita que el compost se deteriore o que se presenten demoras innecesarias en la descomposición.

El prototipo está diseñado para funcionar en un entorno doméstico controlado, que servirá como espacio de experimentación para verificar su funcionamiento en condiciones reales. En esta etapa no se considera la incorporación de más idiomas, ni la conexión con herramientas comerciales como sistemas de facturación. Tampoco se incluye la fabricación del hardware para usos industriales. El objetivo principal es que el sistema funcione de manera correcta para los usuarios domésticos sin necesidad

de estar presentes durante el proceso. A partir de esa base, el sistema quedó estructurado para que, en un futuro, la plataforma pueda continuar avanzando en cuanto a funcionalidades e innovaciones a otras necesidades futuras que se puedan considerar más adelante.

En este proyecto no se procedió con la implementación física del sistema IoT ni su validación en entornos industriales variados, limitándose el alcance a un diseño funcional para condiciones domesticas reales. Aunque se previó la escalabilidad para futuras iteraciones, tampoco se incorporaron modelos predictivos basados en inteligencia artificial.

Durante el desarrollo también fue necesario organizar lo que finalmente iba a incluir la plataforma. Finalmente, se trabajó con algunos módulos elementales: supervisión, alertas, producción de informes simples y visualización de datos. No se intentó agregar más de lo necesario, solamente lo suficiente para que el sistema sea fácil de comprender. La gestión de datos se implementó dentro del sistema mismo, sin conexiones externas ni funciones adicionales que no fueran absolutamente necesarias.

Esta delimitación permitió enfocar los esfuerzos en evidenciar la factibilidad técnica del prototipo, poniendo la integración eficaz entre sensores, lógica difusa y visualización de datos, evitando así dispersar recursos en desarrollos avanzados que se apartan de la finalidad principal de esta etapa.

Este proyecto, en esencia, revelo que las tecnologías de IoT y la lógica difusa pueden supervisar el compost domestico de manera eficaz y sin problemas. Se tomó la decisión de preservar un diseño sencillo, sin módulos complejos ni funciones avanzadas, para priorizar una versión inicial estable que realmente funcionara en situaciones reales.

Esta limitación posibilito el desarrollo de un prototipo robusto que ya funciona adecuadamente y que queda preparado como fundamento para futuras ampliaciones, bien sea mediante la adición de más sensores, inteligencia predictiva o adaptaciones para escalas comunitarias.

1.6. Metodología del proyecto

1.6.1. Metodología de la investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva, tecnológica, aplicada y no experimental [40] [41] [42]. Se consideró descriptiva porque el estudio se orientó a observar y caracterizar cómo cambian ciertos factores ambientales —como la temperatura, la humedad y algunos gases generados durante la descomposición— a lo largo del proceso de compostaje, partiendo inicialmente de un escenario simulado

Este trabajo también es de carácter tecnológico porque se centró en desarrollar una plataforma que reuniera los datos de los sensores IoT y los procesara mediante un sistema de lógica difusa, con el propósito de automatizar el control de variables del compostaje y optimizar condiciones ambientales sin intervención manual constante.

Este enfoque permitió identificar patrones relevantes sin necesidad de mantener un seguimiento prolongado en el tiempo. El diseño de la investigación fue no experimental, dado que no se modificaron las variables del sistema. Lo que se hizo fue registrar los valores tal como se presentaban durante la simulación, analizar su comportamiento y establecer relaciones entre ellos. Asimismo, el estudio adoptó un enfoque transversal, ya que la información recopilada corresponde a un periodo definido que representa un ciclo completo del compost dentro del entorno simulado. Este enfoque permitió identificar patrones relevantes sin necesidad de mantener un seguimiento prolongado en el tiempo. Una vez concluida la fase de simulación, el sistema quedó preparado para su validación en un entorno real en el momento en que el prototipo físico esté disponible, manteniendo la coherencia metodológica del estudio.

1.6.2. Beneficiarios de proyecto

Los miembros del grupo de investigación Tecnología, Ciencia y Educación (TECED), perteneciente a la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, son los primeros que se benefician con el proyecto. La plataforma creada les proporciona un prototipo funcional que compila los datos medioambientales adquiridos por el

dispositivo IoT y los organiza de tal manera que se pueden analizar con facilidad. Esta mejora complementa el trabajo que se estaba llevando a cabo en el proyecto "Integración de la automatización en la gestión de residuos sólidos urbanos en la provincia de Santa Elena", porque incluye una herramienta que posibilita observar, documentar y consultar los datos del proceso del compost en un ambiente doméstico.

El sistema todavía no se ha probado en un espacio doméstico, pero fue pensado para ayudar en el manejo de los residuos diarios de quienes se dedican a realizar su propio abono en casa. Al reunir en un solo sitio las variables del proceso, la plataforma le da al usuario una visión más clara de cómo va el desarrollo y que acciones son las más apropiadas en diferentes casos. Aunque la herramienta aún no se ha utilizado en un ambiente real fuera de la simulación, su diseño apunta a facilitar el compostaje dentro del hogar. El objetivo es que las personas puedan darle un uso adecuado al material orgánico que generan todos los días, sin necesidad de contar con conocimientos técnicos.

Los pequeños negocios y agricultores que generan residuos orgánicos de manera constante también pueden beneficiarse de esta propuesta. Contar con una plataforma que les permita revisar los datos desde el teléfono o la computadora que ofrece una forma simple de seguir el proceso y evitar fallas comunes que suelen retrasar la descomposición. Esto resulta muy útil en espacios donde el trabajo se realiza de forma manual y el tiempo para supervisar es poco.

El proyecto también ayudaría a la comunidad académica que investiga temas ambientales, los datos que genera el sistema permiten estudiar el comportamiento del compostaje en condiciones reales y sirven como referencia para trabajos que busquen mejorar métodos de control, análisis o interpretación de la información. Además, la información se maneja de manera que no expone datos personales, lo que facilita su uso con fines de estudio y revisión técnica.

Finalmente, la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones se beneficia en contar con un proyecto como base para futuros trabajos de titulación o proyectos de investigación. El trabajo desarrollado se compone de sensores, comunicación a través de protocolos MQTT, un microservicio basado en lógica difusa y la visualización de

datos. Esto abre la posibilidad de que otros estudiantes utilicen esta plataforma como punto de partida, ya sea para añadir nuevas funciones, modificar el diseño o realizar pruebas en diferentes tipos de escenarios a futuro.

1.6.3. Variables

En este proyecto se consideraron 3 variables que son temperatura, humedad y gases (NH₄ Y CH₄).

1.6.4. Análisis de recolección de datos

Para reunir la información necesaria se optó por un muestreo por conveniencia. Esto permitió, en una primera etapa, conversar con profesionales que pudieran aportar una idea clara, pero también práctica, del compostaje y de los factores que influyen en su comportamiento. En este punto se buscó a personas que, por su trayectoria, manejan temas como la microbiología del sustrato, la germinación y la relación entre la materia orgánica y el desarrollo vegetal. Se realizó una entrevista a la ingeniera LISBETH PAOLA QUIRUMBAY ESCOBAR, quien es experta en genética de semillas. Su trabajo diario está vinculado con las condiciones que afectan el crecimiento inicial de las plantas y con la calidad de los insumos.

El anexo 2 contiene las preguntas abiertas que se utilizaron para realizar la entrevista. El propósito no era solamente compilar datos, sino comprender cuales variables deben ser supervisadas durante el compostaje y cuál es el impacto que cada una tiene el producto final. Durante la conversación, se describieron varios elementos vinculados al comportamiento del compost, como los cambios de temperatura, la humedad interna, los valores de pH, la presencia de oxígeno y los gases que se generan durante la descomposición. También menciono que el proceso debe mantenerse en condiciones aeróbicas, ya que, si esto no ocurre, pueden formarse sustancias indeseadas o proliferar microorganismos que afectan la germinación. A esto se sumó la explicación sobre la madurez del compost, la relación entre carbono y nitrógeno y el rol que cumplen los microorganismos útiles frente a los que resultan perjudiciales. Todos estos aspectos permiten entender mejor la lógica que debe seguir el sistema automatizado planteado.

El uso de esta entrevista permitió obtener una visión más cercana a lo que realmente se hace en el manejo del compost. En investigaciones similares, esta etapa suele servir para conocer lo que, de manera informal, se consideran las “reglas del negocio”, es decir, aquellos criterios que se aplican en la práctica para decidir si un compost es adecuado para su uso agrícola. En sucedió algo similar: la ingeniera aportó criterios que permitieron definir con mayor claridad los límites, los comportamientos esperados y las condiciones que un sistema con sensores y lógica difusa debería reconocer. Su visión también sirvió para contrastar lo propuesto en el proyecto con lo que realmente ocurre en espacios donde se trabaja con material orgánico, lo que ayudó a asegurar que el diseño no se alejara de la práctica cotidiana.

Después de esta primera parte, se aplicó una encuesta a habitantes del cantón Santa Elena, también seleccionados mediante muestreo por conveniencia. En esta parte de la encuesta lo que se quería era recoger otro tipo de datos. Más que temas técnicos, se trataba de averiguar qué saben realmente las personas sobre el compostaje, si lo han hecho en casa, si han tenido líos con eso y qué opinan de usar algún tipo de tecnología para ayudarse en el proceso. Las preguntas fueron establecidas para determinar posibles problemas, resultados deseados o dudas que pudieran surgir ante un sistema compuesto por sensores y medidas automáticas.

Las respuestas nos ayudaron a entender el tipo de hábitos que las personas del cantón optan cuando se trata de manejar residuos orgánicos, que es lo que esperan de un sistema inteligente propuesto anteriormente. La entrevista nos dio a entender la situación desde un punto de vista más técnico, mientras que la encuesta nos dio a conocer en cambio la realidad de muchas personas desde un punto más rutinario. Al juntarse ambas perspectivas, se obtuvo una visión más completa que permitió afinar el diseño del proyecto, procurando que el sistema no solo cumpla con los requisitos técnicos, sino que también se ajuste a lo que las personas realmente necesitan en su hogar.

Para complementar la información obtenida en la entrevista, se aplicó una encuesta a habitantes del cantón Santa Elena en el barrio 16 de julio utilizando un muestreo por conveniencia. La idea era conocer, sin mucha formalidad, cómo manejan los

residuos en sus casas y qué tanto se relacionan con el compostaje. También se buscaba saber si estarían dispuestos a usar un sistema doméstico que incorpore sensores y algún tipo de automatización. Esta etapa sirvió como una primera mirada al contexto real y a lo que las personas saben —o no saben— sobre este tema.

Respondieron 34 personas, y sus respuestas fueron bastante variadas. Al analizar las respuestas obtenidas, se determinó que al menos la mitad de las personas si separa sus desechos orgánicos de la basura común. Del resto existen quienes lo hacen solo de vez en cuando y quienes no lo hacen. También se preguntó sobre el destino de estos residuos, las respuestas se dividieron en tres grupos casi iguales: algunos desechan sus residuos junto con la basura común, otros lo utilizan como alimento para animales y un tercer grupo los lleva a sus jardines o macetas. Estas respuestas nos dicen que al menos 3 de 5 familias no tienen un ámbito definido, pero de que están abiertas a la posibilidad de manejar correctamente sus desechos si existe la oportunidad.

Respecto al compostaje, una parte de los encuestados ha dicho que alguna vez en su vida escucharon sobre el tema, pero sin tener claro cómo se realiza. Mas o menos la mitad admitió no conocer ningún método específico para convertir los desechos orgánicos en abono, aunque cierto número de personas comentaron que les gustaría aprender si existiera una alternativa sencilla y que no genere malos olores. Este resultado coincide con otra pregunta, donde un porcentaje similar expresó interés en usar una herramienta que facilite el proceso.

La encuesta también incluyo preguntas sobre la aceptación de un sistema automatizado. En este caso, la tendencia fue más clara: más del 60% indicó que vería como muy probable usar un dispositivo que avise cuando el compost necesite atención. Así mismo, la mayoría menciona que preferiría consultar los datos desde su teléfono; solo un pequeño grupo dijo no estar interesado o preferir métodos tradicionales.

En conjunto, los resultados obtenidos nos muestran que es posible que las personas puedan utilizar este tipo de tecnologías siempre y cuando no dependan mucho de la observación e intervención manual. Importa mucho también que el sistema sea simple de utilizar, y que su funcionamiento no dependa mucho de la observación e intervención manual constante ante dificultades comunes. También mencionaron que

sería muy útil que el sistema pueda funcionar en entornos donde la conexión a internet sea inestable para no perder tiempo y recursos.

Con lo que dijeron los encuestados, se nota que el sistema tiene que ser sencillo de usar y que no requiera estar pendiente de él todo el día. La gente quiere algo que trabaje casi solo. La información de la encuesta sirvió como referencia para definir las características más importantes del prototipo, los sensores que serán necesarios y la manera en que la plataforma debe mostrar los datos para que cualquier persona pueda usarla sin complicaciones.

¿En su hogar separan los restos de comida y cáscaras de frutas o verduras de la basura común?

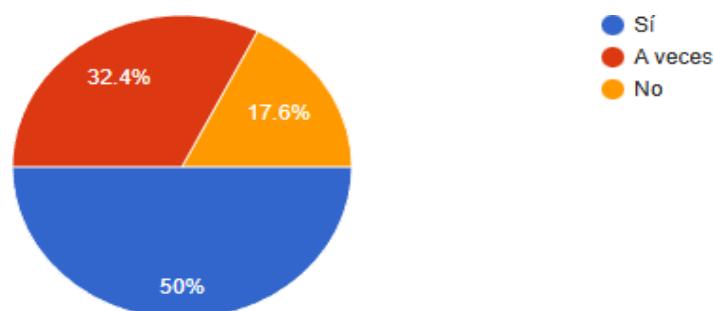


Ilustración 1 Respuestas de la pregunta 1 - Encuesta

Análisis: Al revisar las respuestas se observa que una buena parte de las personas hace el intento de separar los restos orgánicos, aunque no todas lo hacen de la misma manera ni con la misma regularidad. Algunos mencionan que ya lo tienen integrado en su rutina, otros indican que solo separan de vez en cuando y un grupo admite que no realiza ningún tipo de separación. En conjunto, esto refleja una variedad de hábitos que muestra que existe interés por hacerlo, pero no siempre se mantiene de forma constante.

Conclusión: A partir de estos resultados se nota que todavía hay margen para reforzar y orientar mejor la práctica de separar los residuos. No se percibe una oposición directa a la idea, sino más bien la falta de acompañamiento y de explicaciones simples que ayuden a convertir esta acción en una costumbre estable en el día a día.

¿Qué hace generalmente con los restos de comida y cáscaras de frutas/verduras?

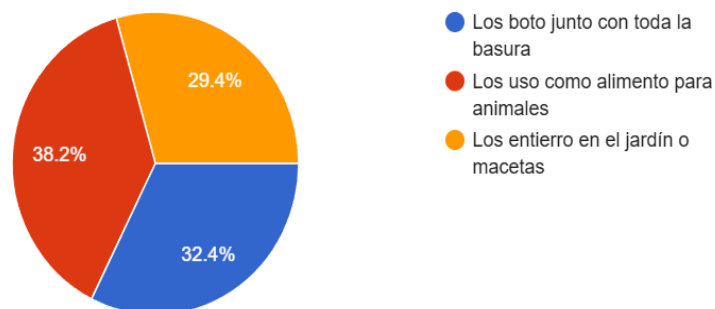


Ilustración 2 Respuesta de la pregunta 2 - Encuesta

Análisis: A partir de lo anterior, se ve la necesidad de ofrecer alternativas prácticas y fáciles de aplicar para transformar estos restos en compost. Es probable que una buena parte de la población cambie la forma en que maneja su basura orgánica si cuenta con instrucciones claras y métodos que no le representen mayor complicación.

Conclusión: A partir de lo anterior, se ve la necesidad de ofrecer alternativas prácticas y fáciles de aplicar para transformar estos restos en compost. Es probable que una buena parte de la población cambie la forma en que maneja su basura orgánica si cuenta con instrucciones claras y métodos que no le representen mayor complicación.

¿Conoce algún método para transformar los restos de comida en abono natural para plantas?

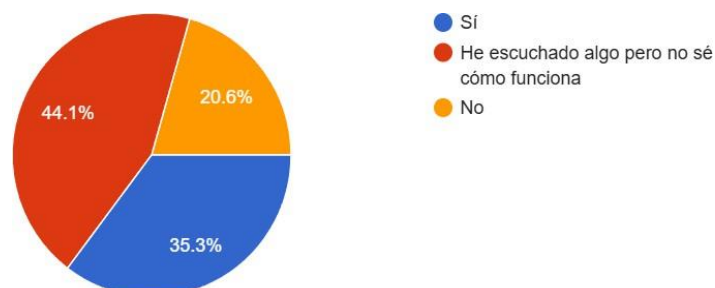


Ilustración 3 Respuestas de la pregunta 3 - Encuesta

Análisis: La mayoría comentó haber escuchado sobre el compostaje. Para muchos, la idea general les resulta familiar, pero no conocen lo necesario para llevar a cabo esta técnica ancestral. Esta falta de conocimiento nos da a entender porque la mayoría

de las personas no toma la iniciativa de intentarlo en casa: sienten que no tienen la guía necesaria o temen equivocarse durante el proceso.

Conclusión: Este resultado muestra que hay interés, pero falta orientación. Si existiera un sistema que acompañe paso a paso, o al menos un método sencillo, seguramente más personas se animarían a convertir sus residuos en abono.

1.7. Metodología de desarrollo

Para avanzar con este proyecto, cuyo propósito fue levantar una plataforma web y una aplicación móvil para revisar las condiciones del compostaje, se trabajó con la metodología en cascada. Esta metodología resultó cómoda porque permitió organizar cada etapa sin prisas y con una secuencia clara, algo útil cuando los requisitos ya estaban bastante definidos desde el comienzo [43] [44]. Además, ayudó a llevar un control de lo que se hacía en cada paso, revisar la documentación con calma y corregir detalles antes de seguir con la siguiente actividad.

El sistema se armó a partir de tres partes principales: la aplicación web, la aplicación móvil y un backend que se encargó de enviar y recibir datos desde la base de datos y desde los sensores IoT ubicados en la compostera. Estos sensores entregaron información sobre la temperatura, la humedad y algunos gases que aparecen durante la descomposición del material. Con estos datos, el sistema interpretó el estado del proceso y aplicó reglas basadas en lógica difusa para entender cuándo surgían cambios importantes.

Para ordenar el trabajo, se dividió el desarrollo en cinco fases que se fueron completando una por una:

Fase 1: Análisis de requisitos

Aquí se revisó, con más detalle, qué necesitaba realmente la plataforma. Se identificaron las variables que debían registrarse, la forma en que los datos debían mostrarse y los módulos indispensables para que el sistema funcionara. También se analizaron las características del compostaje doméstico para reconocer qué condiciones valía la pena vigilar y cuáles no aportaban demasiado. Este proceso

permitió tomar decisiones más claras y descartar funciones innecesarias.

Fase 2: Diseño del sistema

En esta fase se trabajó en los modelos de datos, los diagramas de navegación y los primeros bocetos de interfaz. La idea principal era que cualquier usuario pudiera entender la información sin necesidad de tener experiencia previa con tecnología. En esta fase también se definió cómo se comunicarían los sensores y la estructura que tendría el almacenamiento de datos con el backend, algo fundamental para que todo funcionara de manera ordenada.

Fase 3: Desarrollo e implementación

En este punto se programaron los módulos principales: monitoreo, alertas, reportes, administración de usuarios y el controlador basado en lógica difusa. Se configuró el bróker MQTT para recibir los datos del dispositivo IoT y se integraron estos datos con la plataforma. Las aplicaciones web y móvil se desarrollaron con Angular, Ionic y Node.js, mientras que el manejo de la información quedó a cargo de MySQL.

Fase 4: Pruebas y verificación

Después de tener el sistema funcionando, se realizaron pruebas para confirmar que los datos llegaran de forma correcta, que las interfaces se visualizaran sin problemas y que las funciones respondieran como se esperaba. Se revisó el sistema tanto en dispositivos móviles como en computadoras, lo que permitió detectar detalles que todavía necesitaban ajustes.

Fase 5: Documentación y preparación para su uso

En la última fase se preparó la documentación técnica, los manuales y las indicaciones para el usuario. También quedaron configurados los servicios necesarios para que el sistema opere sin interrupciones y los sensores puedan seguir enviando información en tiempo real.

Esta metodología permitió trabajar con orden, validar cada parte antes de continuar

y construir un sistema que se mantenga estable y fácil de usar en entornos domésticos o en pequeños negocios que trabajan con compostaje.

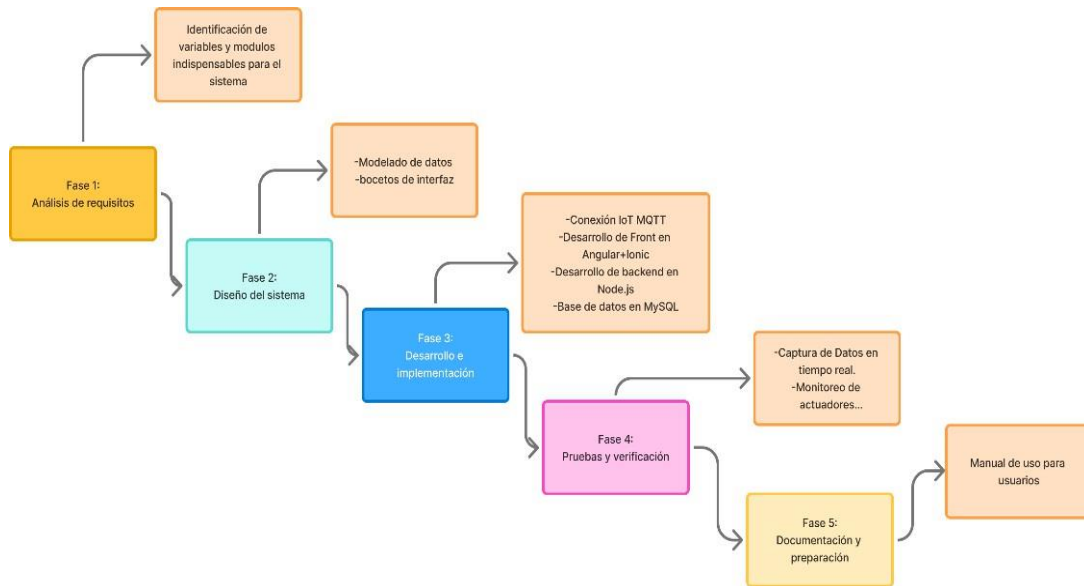


Ilustración 4 Metodología de desarrollo Cascada

CAPÍTULO 2. PROPUESTA

2.1. Marco contextual

En distintos hogares aún persiste la duda sobre cómo manejar los residuos orgánicos y, por costumbre, suelen desecharse junto con la basura común. Esto incrementa el volumen de desechos y provoca que se pierda un material que podría aprovecharse para mejorar la calidad del suelo. El compostaje representa una alternativa viable para transformar esos restos, aunque en la práctica doméstica suele realizarse sin supervisión técnica.

En el cantón Santa Elena, por ejemplo, se ha observado que muchas familias estarían dispuestas a aprovechar mejor sus residuos, pero no cuentan con herramientas, pero carecen de instrumentos que ayuden a llevar a cabo esta tarea. A partir de esa necesidad nace este proyecto, que propone una solución tecnológica sencilla de usar. La idea principal es utilizar sensores que puedan medir las condiciones del compost en tiempo real, mediante una plataforma web y una aplicación móvil que permita ver esa información de manera sencilla. Para reforzar el software se añadió un pequeño sistema de control basado en lógica difusa que sirve para la ayudar a la toma de decisiones antes cualquier tipo de evento. Con esto se busca que el compostaje en casa sea más fácil de manejar y que cualquier persona, incluso sin conocimientos previos en agricultura, pueda obtener un abono de buena calidad sin mayor dificultad.

La metodología utilizada se basa en principios tecnológicos empleados en proyectos anteriores del área de automatización y sistemas desarrollados en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, los cuales fueron adaptados a las necesidades del compostaje doméstico. Para validar su funcionalidad, el sistema fue evaluado en entornos simulados, en escenarios controlados que permitieron la evaluación del comportamiento de los sensores IoT y las condiciones del proceso de descomposición. Estas simulaciones hicieron posible verificar la comunicación de los módulos, el flujo de datos y la respuesta del controlador basado en lógica difusa, sin requerir pruebas de campo con compostaje real.

2.2. Marco conceptual

En este apartado se reúnen las ideas básicas que ayudan a la comprensión del tema. Se explica en términos básicos qué es el compostaje y porque se convierte en una alternativa práctica para manejar los residuos orgánicos. No se pretende hacer un análisis profundo, sino brindar una guía general sobre los factores que influyen en el proceso, se comentan también algunos aspectos que influyen en el proceso y los beneficios que trae, ya sea en casa o en espacios pequeños donde varias personas manejan este tipo de materiales. Estas referencias son las que permiten establecer el marco necesario para comprender la propuesta del proyecto y observar cómo se integran con la solución que se propone más adelante.

2.2.1. Compostaje

El compostaje, en términos sencillos, consiste en que los restos orgánicos se vayan descomponiendo con ayuda de microorganismos que necesitan oxígeno. Estos pequeños organismos transforman la materia poco a poco hasta generar un abono que se puede usar en el suelo. Para que funcione correctamente, se debe prestar atención a factores básicos como la humedad, la temperatura o qué tan compactado está el material [45] [46].

La FAO sostiene que esta práctica ayuda de manera significativa a reducir residuos orgánicos que terminan en los vertederos y, simultáneamente, disminuye emisiones perjudiciales [47]. Además, también señala que la mezcla debe mantener una buena proporción carbono/nitrógeno y suficiente aire para que el resultado sea adecuado [48] [49].

Factor	Descripción	Efecto cuando se descontrola
Temperatura	Grado de calor generado por la actividad microbiana	Proceso lento o paralizado

Humedad	Cantidad de agua en la mezcla	Anaerobiosis o sequedad extrema
Relación C/N	Equilibrio entre carbono y nitrógeno	Olores, baja velocidad
Aireación	Disponibilidad de oxígeno	Fermentación indeseada
Tamaño de partículas	Nivel de triturado	Mayor o menor velocidad de descomposición

Tabla 1 Tabla de variables del compostaje

2.2.2. Internet de las Cosas (IoT)

El internet de las cosas, o simplemente IoT, se entiende hoy a la capacidad de que una variedad de dispositivos físicos pueda intercambiar información sin intervención humana

[50] [51]. Esto se logra mediante sensores, pequeños actuadores y variadas formas de conexión que permiten que los datos viajen hacia plataformas donde pueden ser revisados o procesados. La idea es que los equipos tengan la capacidad de reaccionar o ayudar con tareas automáticamente, además de simplemente registrar datos.

En diversos estudios se ha mencionado que el IoT ha cambiado la manera en que se organizan numerosas actividades, tanto en servicios públicos como en empresas [52] [53]. Gracias a estos sistemas es posible detectar problemas con mayor rapidez, ahorrar tiempo y trabajar con información real en lugar de suposiciones [54] [55].

Componente	Función principal	Ejemplos
Sensores	Capturan datos del entorno	Temperatura, humedad, gas
Actuadores	Ejecutan acciones	Ventiladores, válvulas

Módulos de conexión	Envían/reciben datos	WiFi, LoRa, BLE
Plataforma IoT	Procesa y gestiona la información	Backend, dashboards
Interfaz de usuario	Permite visualizar y operar	Web, móvil

Tabla 2 Tabla de componentes IoT

En esta investigación, el IoT se emplea como el soporte tecnológico principal para desarrollar un sistema que supervise condiciones ambientales relacionadas con el manejo de datos en tiempo real. El objetivo es contar con un mecanismo que permita monitorear la temperatura y otros factores importantes para mantener el rango de las variables en buen estado sin depender del control manual.

2.2.3. Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real

Los sistemas de monitoreo en tiempo real han evolucionado con el uso del IoT, ya que los sensores transmiten datos de manera instantánea, lo cual permite una respuesta más rápida [56] [57]. La idea es que el sistema no solo muestre los valores, sino que pueda notificar cuando una variable se desvíe de su rango óptimo antes de lo anticipado o incluso actuar de manera automática en determinadas situaciones.

Etapa	Descripción
Captura	Sensor mide la variable
Transmisión	Envío vía protocolo IoT
Procesamiento	Backend analiza valores
Comparación	Evaluación de umbrales
Alerta/acción	Notificación o ajuste automático

Tabla 3 Tabla de sistemas de monitoreo

Esto nos permite tener una aplicación significativa en sectores donde el control ambiental y su conservación son críticos [58] [59]. También permite anticipar fallas en los equipos antes de que se generen pérdidas importantes, contribuye también a una regulación más eficiente del consumo energético [60] [61].

2.2.4. Monitoreo de temperatura en Compostaje

El monitoreo continuo de temperatura es esencial en el compost porque indica la actividad microbiana y el avance del proceso de descomposición. Las temperaturas optimas oscilan entre 55-65°, lo que asegura la eliminación de patógenos que puedan ser perjudiciales [62] [63].

Sensores IoT permiten registrar variaciones y activar ventiladores o riegos automáticos cuando la temperatura excede los rangos óptimos, previniendo combustión espontanea o procesos anaeróbicos. [64] [65]. Estudios muestran que este control preciso acelera el compost en un 30% y mejora la calidad final del producto.

Sensor	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Termistor NTC	Económico	Menos estable	Monitoreo simple
Termopar	Amplio rango	Requiere amplificador	Procesos de alta temperatura
RDT (PT100)	Alta precisión	Más costoso	Ambientes controlados
DS18B20	Fácil integración	Rango moderado	Proyectos IoT

Tabla 4 Sensores de temperatura

2.2.5. Sensores de Temperatura

Los sensores que miden temperatura se han vuelto indispensables cuando se busca entender cómo varían las condiciones de un ambiente. Gracias a ellos es posible obtener valores constantes y tener una idea clara de lo que ocurre en un determinado espacio

[66] [67]. En la práctica se usan varios tipos: desde sensores NTC y termopares hasta RTD o modelos digitales como el DS18B20, que suelen ser populares por su buena precisión y porque se conectan con facilidad a sistemas basados en IoT [68].

Sensor	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Termistor NTC	Económico	Menos estable	Monitoreo simple
Termopar	Amplio rango	Requiere amplificador	Procesos de alta temperatura
RDT (PT100)	Alta precisión	Más costoso	Ambientes controlados
DS18B20	Fácil integración	Rango moderado	Proyectos IoT

Tabla 5 Sensores de temperatura

Elegir un sensor no es un proceso de selección; influye el rango de temperatura que se desea medir, el nivel de exactitud que requiere el proyecto, el tipo de entorno donde va a trabajar e incluso qué tan fácil es integrarlo con el resto del sistema que enviará los datos [69] [70].

2.2.6. Protocolos de Comunicación IoT

Cuando se trabaja con dispositivos IoT, no es suficiente que los sensores capturen la información; también es necesario transmitirla eficazmente [71] [72]. Para esto se hace uso de diversos protocolos que están diseñados para funcionar correctamente incluso cuando la red es limitada. MQTT y CoAP suelen ser los más utilizados por su ligereza, mientras que HTTP sigue apareciendo en algunos proyectos por su

facilidad de uso [73] [74].

Protocolo	Ventajas	Limitaciones	Uso típico
MQTT	Muy ligero	Requiere bróker	IoT doméstico e industrial
CoAP	Bajo consumo	Bajo consumo	Redes limitadas
HTTP	Simple	Consumo mayor	Aplicaciones web/híbridas

Tabla 6 Tabla de Protocolos de comunicación

La elección del protocolo cambia completamente el rendimiento del sistema: influye en la velocidad con que se reciben los datos, el consumo energético del sistema y la capacidad de crecimiento sin inconvenientes [75].

2.2.7. Plataformas de Visualización de Datos

Las plataformas de visualización de datos permiten la interpretación de los datos obtenidos a través de los sensores de manera gráfica y comprensible, facilitando la toma de decisiones por parte de los usuarios [76] [77]. Herramientas Node-RED, thinsBoard o Grafana ofrecen interfaces amigables y configurables, permitiendo la creación de tableros personalizados para el monitoreo de temperatura en tiempo real [78] [79].

Plataforma	Ventajas	Limitaciones
Node-RED	Flujo simple, integrable	Limitada para dashboards complejos
ThingsBoard	Profesional, escalable	Requiere configuración avanzada
Grafana	Visualizaciones potentes	Mayor curva de aprendizaje

Tabla 7 Plataforma de visualización de datos

Estas plataformas no solo muestran información, sino que también permiten la creación de alertas, la elaboración de informes automáticos y la toma de medidas correctivas en caso de que se desvíen los parámetros críticos [80] [81].

2.2.8. Optimización Energética en Compostaje

En procesos de compostaje, el consumo energético para aireación, volteo mecánico y control ambiental representa un gasto significativo que puede optimizarse mediante tecnologías inteligentes [82] [83]. Sistemas IoT permiten activar ventiladores solo cuando la temperatura supera 65°C, reducir riego automático según lecturas de humedad en tiempo real y programar volteos basados en datos de actividad microbiana, logrando ahorros energéticos de hasta 40% según estudios especializados [84] [85].

Según varias investigaciones, estos sistemas permiten ahorrar energía sin descuidar la calidad del almacenamiento [86] [87]. De hecho, mantener la temperatura bajo control con ayuda de sensores mejora la estabilidad del proceso y asegura que los alimentos se conserven de forma adecuada.

Estrategia	Beneficio principal	Reducción Energética Estimada
Aireación selectiva	Evita sobre ventilación	25-35%
Riego por sensores	Previene exceso del proceso	30-40%
Volteo programado	Según fase del proceso	20-30%
Iluminación LED activada	Solo en inspecciones	15-25%
Recuperación de biogás	Genera energía propia	10-20%

Tabla 8 Optimización Energética

2.2.9. Aplicaciones Web

Una aplicación web es un sistema al que se accede desde el navegador, y que permite

al usuario trabajar con la información sin instalar programas en su dispositivo [88]. La gran ventaja es que, mientras exista conexión a internet, se puede ingresar desde un celular, una laptop o máquina de escritorio, lo que hace posible revisar datos en tiempo real [89]. Su funcionamiento se apoya en tecnologías como HTML, CSS y JavaScript, además de lenguajes como PHP o Python cuando se necesita procesar información o enlazarla con una base de datos. Gracias a esta capacidad de integrarse con distintos servicios, estas aplicaciones también pueden trabajar junto a sistemas IoT y servir como punto central para monitorear la información que envían los sensores [90].

La aplicación web desempeña un papel fundamental porque sirve como el punto inicial desde el cual se puede visualizar todo lo relacionado con el compostaje [91]. Desde la propia plataforma es posible activar, ajustar alertas y verificar las mediciones que envían los sensores, incluso cuando el usuario no está cerca del sistema [92]. Esto ayuda a que el seguimiento sea más práctico y que las decisiones se tomen con mayor rapidez [93]. Su facilidad de acceso y la posibilidad de utilizarla desde distintos lugares aportan mucho al manejo eficiente y actualizado del proceso [94].

Ventaja	Descripción
Acceso remoto	Entrar desde cualquier dispositivo
No requiere instalación	Solo navegador
Actualización centralizada	Cambios al instante
Integración con bases de datos	Consultas en tiempo real

Tabla 9 Tabla de aplicaciones web

2.2.10. Aplicaciones Móviles

Las aplicaciones móviles, diseñadas para teléfonos y tabletas, son desarrolladas para pantallas táctiles y en ofrecer una experiencia ágil [95]. Suelen permitir el acceso a las funciones principales sin necesidad de una conexión permanente, algo útil cuando el usuario se encuentra en movimiento o con señal limitada [96].

Al integrarse con sistemas que monitorean datos en tiempo real, estas aplicaciones pueden enviar notificaciones instantáneas, mostrar gráficos de tendencias y alertar cuando alguna variable cambia de manera crítica [97]. Gracias a esto, el seguimiento del compostaje se vuelve mucho más sencillo y se pueda realizar desde cualquier sitio.

2.2.11. Base de Datos MySQL

MySQL es un gestor de bases de datos que trabaja con SQL, que, debido a su buen rendimiento y a la sencillez de su integración con tecnologías como PHP, se usa mucho en aplicaciones web [98]. Al ser relacional, permite organizar la información en tablas y hacer consultas de forma eficiente [99].

En este proyecto, MySQL registra en tiempo real todos los datos de la temperatura, humedad y gases enviados por los sensores IoT [100]. La estructura relacional permite consultas SQL eficientes para generar tendencias históricas, detectar patrones de descomposición y validar el cumplimiento de rangos óptimos [101].

2.3. Marco teórico

2.3.1. Compostaje como Proceso Biológico y Sostenible

Aunque el compostaje puede aparentar ser un proceso complejo de terminología técnica, su mecanismo fundamental es accesible. Microorganismos presentes en suelos húmedos, principalmente bacterias y hongos, descomponen sistemáticamente los residuos orgánicos, transformándolos progresivamente en un abono fértil que es adecuado como enmienda orgánica [102].

Sin embargo, para garantizar la eficacia del proceso, es imprescindible mantener condiciones óptimas: humedad equilibrada (evitando tanto el encharcamiento como la desecación), relación carbono/nitrógeno adecuado (idealmente 25-30:1), temperaturas controladas dentro de rangos termofílicos (55-65°) y partículas de tamaño moderado que faciliten la aireación y aceleren la descomposición [103]. Son circunstancias que, aunque a veces se ignoran, tienen un impacto significativo en la rapidez de la descomposición del compost y en su calidad final.

A veces el compostaje representa una solución posterior al problema, la generación de residuos orgánicos inicia mucho antes en los hogares, donde frecuentemente se mezclan con la basura convencional y terminan en vertederos, contribuyendo a la acumulación de metano y otros gases de efecto invernadero que deterioran la calidad atmosférica. [104]. Al implementar el compostaje, este panorama se transforma por completo: el humus resultante actúa como enmienda orgánica que enriquece los suelos, reduce la dependencia de fertilizantes químicos y alivia la carga de los sistemas de recolección de residuos, al tiempo que fomenta prácticas agrícolas sostenibles desde el punto de vista económico y ambiental. [105]. Estos beneficios integrales —de orden ambiental, económico y operativos— consolidan al compostaje como una alternativa viable y coherente para la gestión doméstica de desechos orgánicos.

2.3.2. Internet de las Cosas (IoT) y su Aplicación en Procesos Productivos

El Internet de las Cosas (IoT) se percibe frecuentemente como una tecnología compleja, su esencia radica en la interconexión autónoma de dispositivos con sistemas informáticos, facilitando el intercambio de datos sin intervención humana directa mediante sensores, actuadores, redes de comunicación y plataformas de procesamiento [106] [107]. En contextos productivos, esta capacidad genera valor al habilitar la detección temprana de anomalías, la minimización de desperdicios y la toma de decisiones fundamentales en datos empíricos en lugar de estimaciones subjetivas [108].

Aplicado al compostaje, el IoT resulta especialmente valioso para vigilar variables como la temperatura o la humedad —dos factores que determinan si el proceso avanza correctamente— [109] Gracias a estas mediciones constantes es posible ajustar la mezcla en el momento adecuado y obtener un compost más uniforme y de mejor calidad.

2.3.4. Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real

Los sistemas de monitoreo en tiempo real funcionan capturando datos justo cuando ocurren los cambios en un proceso, lo que permite reaccionar sin perder tiempo valioso [110]. Con IoT entran en juego sensores distribuidos por todo el sistema que

mandan información de temperatura, humedad o aireación desde cualquier punto, comparándola al instante con los valores ideales que hemos definido de antemano [111].

Si algo se sale de lo normal —por ejemplo, la temperatura baja de 55°C cuando debería estar en plena fase activa, o la humedad cae por debajo del 50%— el sistema avisa de inmediato para poder actuar antes de que el problema crezca [112]. Así se evitan situaciones como fermentaciones anaeróbicas que arruinan el lote o sobrecalentamientos que matan las bacterias buenas [113].

En el compostaje esto marca la diferencia real: detectas a tiempo cuando hay que voltear la pila o activar riego, ahorras energía porque no todo funciona a tope siempre, y tienes el historial completo para demostrar que el compost final cumple todas las normas de calidad. Es el tipo de control que antes solo tenían las grandes plantas, ahora accesible para cualquier operación seria.

2.3.5. Sensores para Monitoreo Ambiental: Temperatura, pH, Gases y Humedad

La temperatura es el primer parámetro que cualquier operador de compost vigila de cerca, y con razón: si cae por debajo de 40°C los microorganismos se ralentizan, y si supera los 70°C empieza a morir la población bacteriana clave [114]. En la práctica usamos sensores NTC por su bajo costo cuando el presupuesto aprieta, termopares para rangos más amplios, o el confiable DS18B20 que se integra sin complicaciones a cualquier placa IoT. Lo importante es que registren fielmente cuándo entra en fase termofílica activa o muestra signos de enfriamiento prematuro, porque ahí se define si el lote sale bueno o hay que rehacerlo [115].

El pH pasa más desapercibido, pero es decisivo: valores por debajo de 6 o sobre 8.5 frenan la actividad microbiana justo cuando más se necesita. Los electrodos de vidrio clásicos funcionan bien en laboratorio, pero para monitoreo continuo los ISFET resisten mejor la suciedad orgánica y dan lecturas estables en tiempo real [116]. Un ajuste oportuno —añadiendo cal para neutralizar acidez o material rico en nitrógeno para corregir alcalinidad— mantiene el proceso en marcha sin interrupciones [117]. Aunque parezca un detalle menor, un pH fuera de rango puede estancar la

descomposición.

Los gases cuentan la historia real de lo que pasa dentro de la pila: niveles altos de CO₂ indican buena actividad aeróbica, pero metano o amoníaco en exceso señalan problemas de ventilación que hay que resolver de inmediato [118]. Sensores electroquímicos o de infrarrojos detectan estas concentraciones y guían decisiones prácticas como aumentar la aireación o voltear la mezcla, evitando tanto olores molestos como emisiones evitables al ambiente [119].

Finalmente, la humedad es el factor que lo une todo: por debajo del 40% todo se seca y para, por encima del 65% se compacta y asfixia [120]. Sensores capacitivos son los más confiables porque no se saturan con el tiempo como los resistivos, y permiten automatizar riego o ventiladores justo cuando el material lo pide. Mantener ese equilibrio 50-60% es lo que diferencia un compost de buena calidad vs uno de mala.

2.4. Requerimientos

2.4.1. Requerimientos funcionales

El objetivo de los requerimientos funcionales es ofrecer una visión global del sistema, fomentar una comunicación clara y entendible, estableciendo fundamentos firmes para la fase de diseño.

Módulo de Autenticación	
Código	Descripción
RF-01	Para ingresar al sistema, los usuarios deben iniciar sesión con usuario y contraseña.
RF-02	El sistema distingue entre perfiles de administrador y usuario doméstico, mostrando opciones diferentes según el rol.
RF-03	El sistema permite el registro de nuevos usuarios desde la aplicación web o móvil.

RF-04	El sistema debe permitir la recuperación de contraseña mediante correo electrónico.
-------	---

Tabla 10 Requerimientos funcionales - Modulo de autenticación

Módulo de Perfil	
Código	Descripción
RF-05	El usuario puede actualizar su información de contacto (correo, teléfono) y fotografía de perfil.
RF-06	El usuario puede modificar su contraseña en cualquier momento.

Tabla 11 Requerimientos funcionales - Modulo de perfil

Módulo de Monitoreo IoT	
Código	Descripción
RF-07	El sistema debe mostrar en tiempo real las variables del compostaje: temperatura,
RF-08	El sistema permite visualizar el historial de cada variable en tablas gráficas
RF-09	El sistema permite consultar el estado actual del proceso de compostaje en una vista general.

Tabla 12 Requerimientos funcionales - Modulo de monitoreo IOT

Módulo de Alertas	
Código	Descripción
RF-10	El sistema genera alertas automáticas cuando alguna variable exceda los límites establecidos por la lógica difusa.

RF-11	El usuario puede visualizar todas las alertas históricas asociadas a su compostera.
RF-12	El sistema permite agregar notas a las alertas registradas por el usuario.

Tabla 13 Requerimientos funcionales - Modulo de alertas

Módulo de Reportes	
Código	Descripción
RF-13	El sistema permite generar reportes sobre el estado del compostaje en un periodo definido.
RF-14	Los reportes pueden visualizarse en gráficos y tablas.
RF-15	El sistema permite exportar los reportes en formato PDF o Excel.

Tabla 14 Requerimientos funcionales - Modulo de reportes

Módulo de Administración	
Código	Descripción
RF-19	El administrador puede gestionar los usuarios registrados (crear, editar, eliminar).
RF-20	El administrador puede consultar estadísticas globales de todas las composteras activas.

Tabla 15 Requerimientos funcionales - Modulo de administración

Módulo de configuración de compostera	
Código	Descripción
RF-16	El sistema permite registrar una nueva compostera asociada a un usuario

RF-17	El sistema permite editar parámetros de la compostera (ubicación, capacidad, tipo de residuos)
RF-18	El sistema permite inhabilitar una compostera y registrar otra en caso de reemplazo

Tabla 16 Requerimientos funcionales - Modulo de configuración de compostera

2.4.2. Requerimientos no funcionales

Las necesidades no funcionales son tan cruciales para el funcionamiento adecuado de la plataforma de informática. A continuación, se describen las necesidades no operativas de la plataforma.

Rendimiento, seguridad y disponibilidad	
Código	Descripción
RNF-01	El sistema debe estar disponible al menos 95% del tiempo para garantizar el monitoreo continuo del compostaje.
RFN-02	La comunicación entre los sensores IoT y plataforma debe realizarse mediante protocolos seguros (MQTT con cifrado TLS)
RFN-03	Los datos transmitidos desde los dispositivos deben ser almacenados de forma encriptada para proteger la privacidad del usuario.
RFN-04	Los tiempos de respuesta del sistema no deben superar los 3 segundos en operaciones básicas como login, visualización de datos y alertas.
RFN-05	La plataforma debe realizar respaldos automáticos de la base de datos para evitar pérdida de información

Tabla 17 Requerimientos no funcionales -Rendimiento, seguridad y disponibilidad

Usabilidad, compatibilidad y mantenibilidad	
Código	Descripción
RFN-06	La interfaz gráfica debe ser intuitiva y amigable, diseñada para usuarios sin conocimientos técnicos avanzados.
RFN-07	La aplicación móvil debe ser compatible con dispositivos Android (versión 8.0 en adelante).
RFN-08	La plataforma web debe ser accesible desde navegadores comunes (Chrome, Firefox, Edge).
RFN-09	El sistema debe permitir la escalabilidad para integrar nuevas variables ambientales en 3 futuras versiones.
RFN-10	La solución debe estar documentada para facilitar futuras tareas de mantenimiento y actualización.

Tabla 18 Requerimientos no funcionales - Usabilidad, compatibilidad y mantenibilidad

2.5. Componentes de la propuesta

La propuesta se compone de un sistema integrado por tres elementos principales: el módulo de adquisición de datos, conformado por sensores IoT que registran en tiempo real variables críticas del proceso de compostaje como la temperatura, la humedad y la concentración de gases; el módulo de procesamiento y control, que emplea un algoritmo de lógica difusa para analizar la información recopilada y tomar decisiones automáticas orientadas a mantener condiciones óptimas de descomposición; y finalmente el módulo de visualización y gestión, constituido por una plataforma web y móvil que permite a los usuarios consultar los datos históricos y en tiempo real, recibir alertas y supervisar el funcionamiento del sistema. De manera conjunta, estos componentes buscan garantizar un compostaje eficiente, accesible y fácil de monitorear desde el hogar, brindando a los usuarios una herramienta tecnológica que combina sostenibilidad, innovación y simplicidad de

uso.

2.5.1. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema se centró bajo un modelo cliente-servidor y utiliza pequeños dispositivos conectados que envían información a través del protocolo MQTT. La idea es mantener un flujo constante de datos entre los sensores, el componente donde se aplica la lógica difusa y la plataforma desde la que el usuario revisa la información. De esta manera, todo el proceso puede monitorearse sin interrupciones y con la regularidad necesaria para tomar decisiones sobre el compost.

En la parte física, la compostera incorpora varios sensores que permiten observar lo que ocurre dentro del material. Estos equipos registran valores como la temperatura interna, la humedad y ciertos gases que aparecen durante la descomposición, elementos que ayudan a entender si el proceso va de forma adecuada o si necesita algún ajuste.

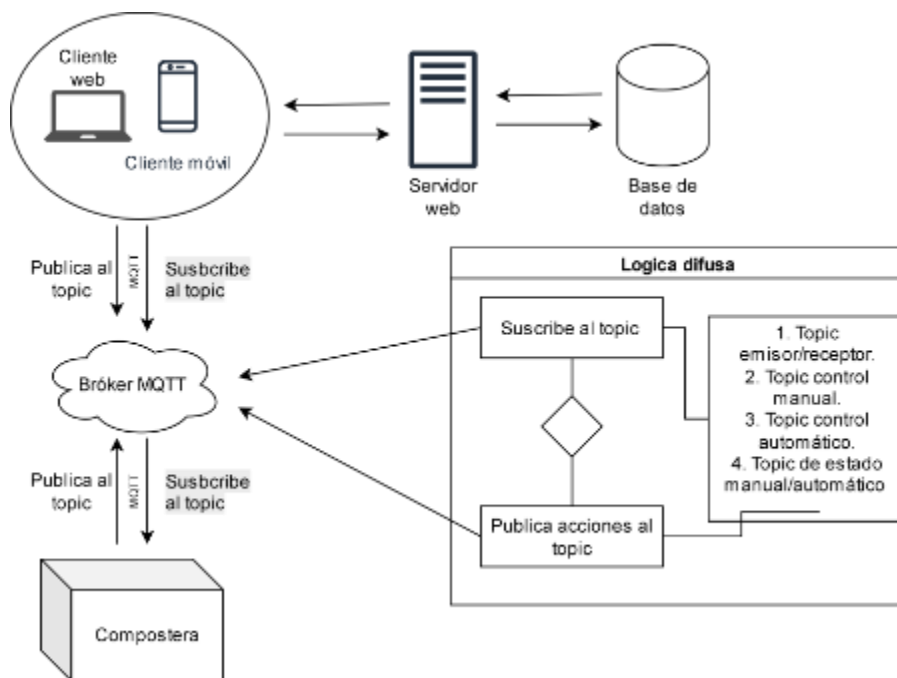


Ilustración 5 Arquitectura del sistema

Estos datos son transmitidos hacia el bróker MQTT, que actúa como intermediario entre los dispositivos IoT y los diferentes módulos del sistema, asegurando la correcta publicación y suscripción de la información.

El módulo de lógica difusa cumple un rol central en la arquitectura, ya que suscribe a

los diferentes topics provenientes del bróker y procesa los datos recibidos mediante reglas difusas predefinidas. De esta forma, se determina si el sistema debe ejecutar acciones de control manuales o automáticas, tales como activar mecanismos de ventilación o generar alertas al usuario.

Posteriormente, las decisiones tomadas son publicadas nuevamente al bróker en forma de topics, que pueden ser interpretados por los actuadores o por la plataforma. La información que se obtiene posteriormente se almacena en una base de datos MySQL los cuales serán utilizados para poder ver un historial de los valores registrados. Estos datos son procesados y dirigidos a la plataforma web y móvil, donde los usuarios pueden visualizar en tiempo real el comportamiento de cada variable, recibir alertas y generar reportes en diferentes tipos de formato.

Finalmente, la arquitectura está diseñada en una relación usuario-sistema. Personas que se dedican a la agricultura y usuarios domésticos pueden acceder con su cuenta de usuario. Esto les permite no solo supervisar el proceso de compostaje, sino también tomar decisiones informadas y de ser necesario activar controles manuales desde cualquier lugar.

2.5.2. Diagramas de casos de uso

Los diagramas de caso de uso son un método eficaz para comunicar visualmente a los usuarios las funcionalidades del sistema. A continuación, se muestran los ejemplos de aplicación de la plataforma tecnológica.

CASO DE USO AUTENTICACION DE USUARIO	
ACTORES	Usuario (Web o móvil)
FUNCIÓN	Iniciar sesión
DESCRIPCIÓN	Permite que el usuario (agricultor-investigador, administrador, usuario estándar) acceda a la plataforma mediante credenciales.
FLUJO BÁSICO	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa usuario y contraseña 2. El sistema valida credenciales 3. Si son correctas, permite el acceso al perfil correspondiente. 4. Si son incorrectas, muestra un mensaje de error.
<pre> graph LR subgraph Plataforma_informatica [Plataforma informática (monitoreo de compostaje)] U1((Ingreso a la plataforma informática)) U2((Olvido de credenciales)) U3((Ingreso de credenciales)) U4((Recuperar contraseña)) U5((Recuperar usuario)) U6((Validación de autenticación correcta)) U7((Visualización del menú principal)) U1 -- «include» --> U2 U1 -- «include» --> U3 U2 -- «include» --> U4 U2 -- «include» --> U5 U3 -- «include» --> U6 U6 -- «include» --> U7 end A1[Agricultor-investigador] --> U1 A2[Usuario estándar] --> U1 A3[Administrador] --> U1 </pre>	

Tabla 19 Caso de uso autenticación de usuario

CASO DE USO MON99ITOREO EN TIEMPO REAL	
ACTORES	Usuario (Agricultor)
FUNCIÓN	Visualizar variables del compostaje
DESCRIPCIÓN	El usuario puede consultar los datos generados por la compostera en tiempo real (temperatura, humedad, gases).
FLUJO BÁSICO	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sensor mide variables ambientales. 2. Los datos son enviados al bróker MQTT. 3. El sistema los procesa y guarda en la base de datos. 4. El usuario visualiza los datos en la plataforma web o móvil

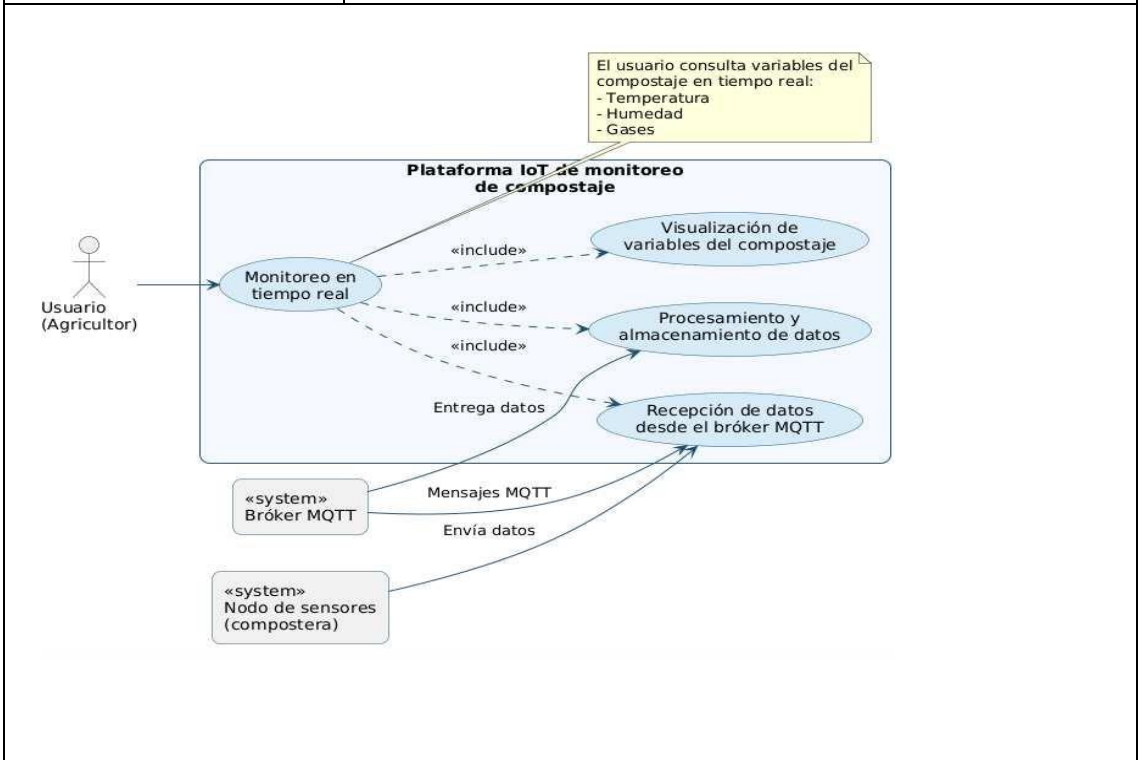


Tabla 20 Caso de uso monitoreo en tiempo real

CASO DE USO CONTROL AUTOMÁTICO (LÓGICA DIFUSA)	
ACTORES	Sistema (Lógica difusa)
FUNCIÓN	Regular compostaje automáticamente
DESCRIPCIÓN	La lógica difusa analiza los datos y determina si activar mecanismos de control
FLUJO BÁSICO	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema recibe los datos del bróker MQTT. 2. La lógica difusa evalúa reglas de control. 3. Publica acciones al bróker. 4. Se ejecuta la acción en la compostera.

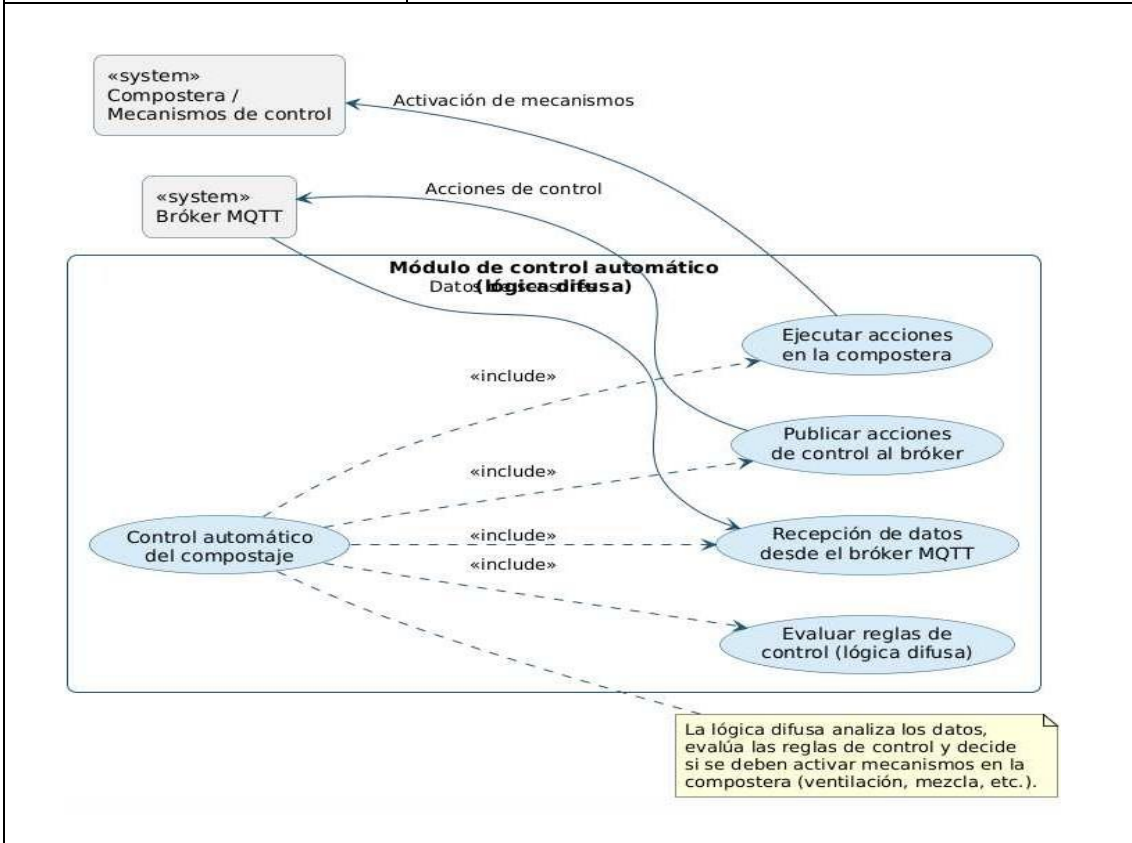


Tabla 21 Caso de uso control automático (lógica difusa)

CASO DE USO CONTROL MANUAL	
ACTORES	Usuario (Estándar, Agricultor, Administrador)
FUNCIÓN	Activar control manual
DESCRIPCIÓN	Permite que el agricultor active o desactive manualmente funciones de la compostera.
FLUJOS BÁSICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario selecciona control manual en plataforma. 2. El sistema público la acción al bróker MQTT. 3. El actuador ejecuta la orden (ej. ventilación)

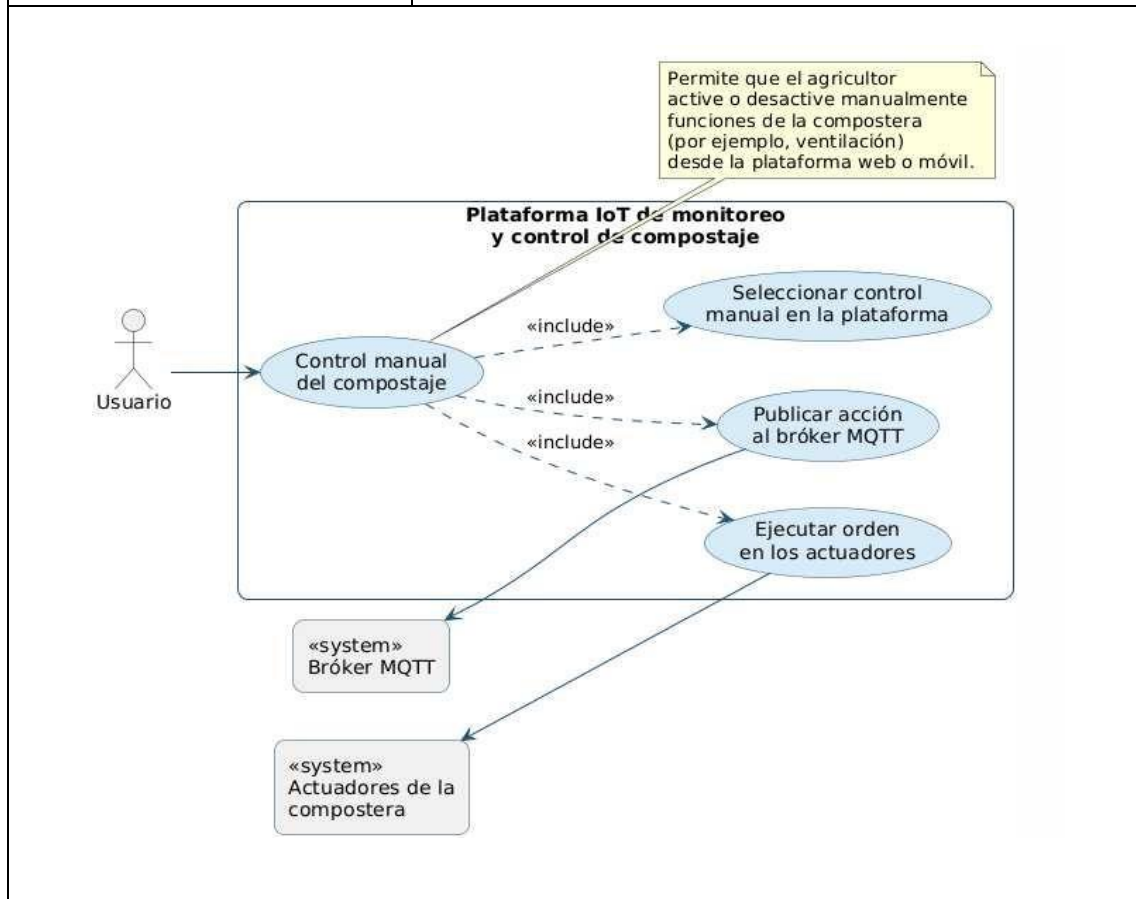


Tabla 22 Caso de uso control manual

CASO DE USO REPORTES HISTÓRICOS	
ACTORES	Usuario (Agricultor o administrador)
FUNCIÓN	Consultar reportes
DESCRIPCIÓN	El sistema genera reportes gráficos y tablas de las variables monitoreadas.
FLUJOS BÁSICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario accede al módulo de reportes. 2. Selecciona rango de fechas. 3. El sistema consulta la base de datos. 4. Muestra los resultados en gráficos y tablas.

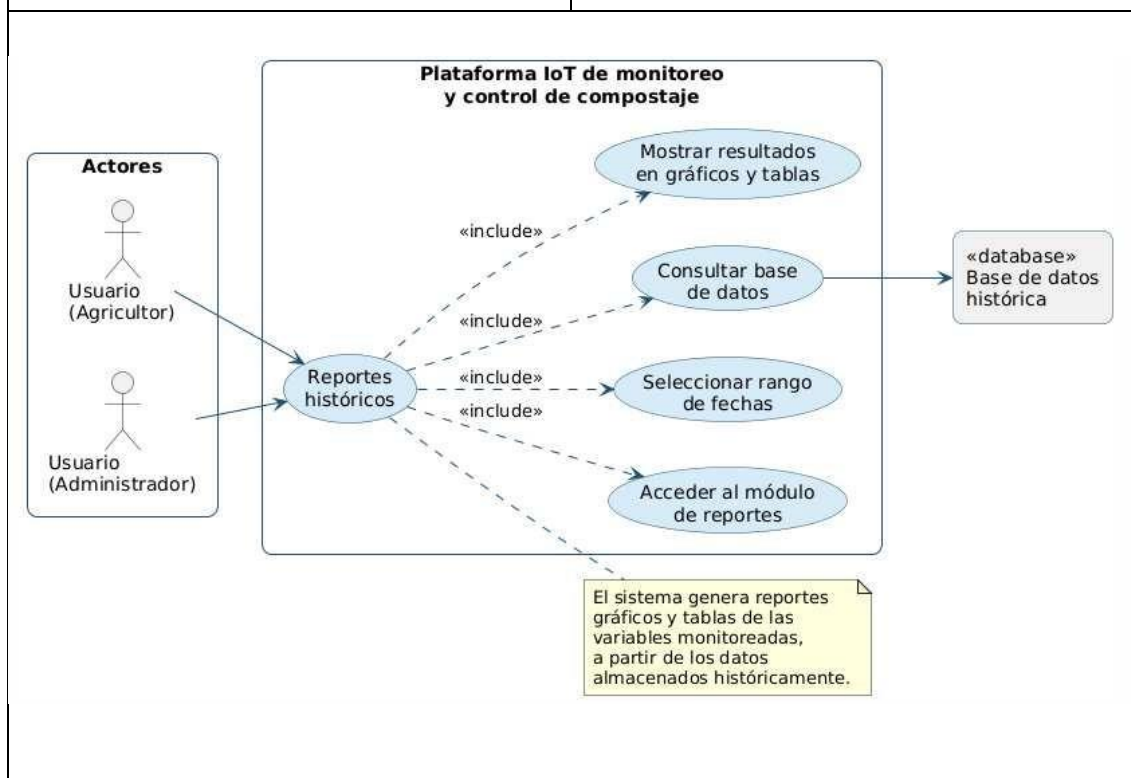


Tabla 23 Caso de uso reportes históricos

2.5.3. Modelado de datos

Para este proyecto se armó un modelo de base de datos relacional pensado para manejar la información del sistema de compostaje. La estructura se organizó en varias tablas con sus respectivos campos y registros, y cada una quedó enlazada con las otras usando llaves primarias y foráneas. Más que seguir una receta rígida, se aplicaron criterios de normalización para mantener los datos ordenados y evitar repeticiones innecesarias. Estas reglas, basadas en el trabajo de Edgar F. Codd —quien sentó las bases del modelo relacional— ayudan a separar correctamente la información y a reducir los errores que suelen aparecer cuando no existe una buena estructura.

Uno de los problemas más comunes en una base mal diseñada son las anomalías: datos duplicados, información contradictoria o dependencias raras entre columnas. Para evitar esto se trabajó con las tres primeras formas normales. Para gestionar bien la información que había en la base de datos, las columnas de todas las tablas de la base de datos almacenaron sólo una única entidad, evitando en lo posible que un campo almacene listas y combinaciones de valores que luego son difíciles de gestionar; en una segunda comprobación, simplemente se contrastó que todos los elementos que quedaban de cada tabla estuvieran dentro de sus relaciones efectivas con la clave principal, eliminando dependencias irreales o ambiguas e incluso se eliminaron relaciones entre columnas que no asociaban con la clave., evitando dependencias incompletas o ambiguas. Además, se descartaron relaciones entre columnas que no correspondieran a la clave. Gracias a esto, la estructura queda mejor organizada y fácil de comprender.

Las revisiones se realizaron bajo criterios básicos que buscan reducir errores y mantener el sentido del sistema. En lugar de repetir información o mezclar datos, se clasificaron los datos por tipo para que no hubiera errores dentro del sistema. Esto hace que la base de datos sea escalable sin errores en el proceso, sin problemas de datos duplicados o dependencias que compliquen el manejo de estos datos.

En esta base se registran las mediciones enviadas por los sensores, los estados del compost, las alertas generadas y todo el historial que se analiza posteriormente. Con

la estructura ya depurada, los datos provenientes del IoT se almacenan de forma clara y estable, lo que facilita que el sistema los procese cuando debe emitir recomendaciones o ejecutar acciones automáticas.

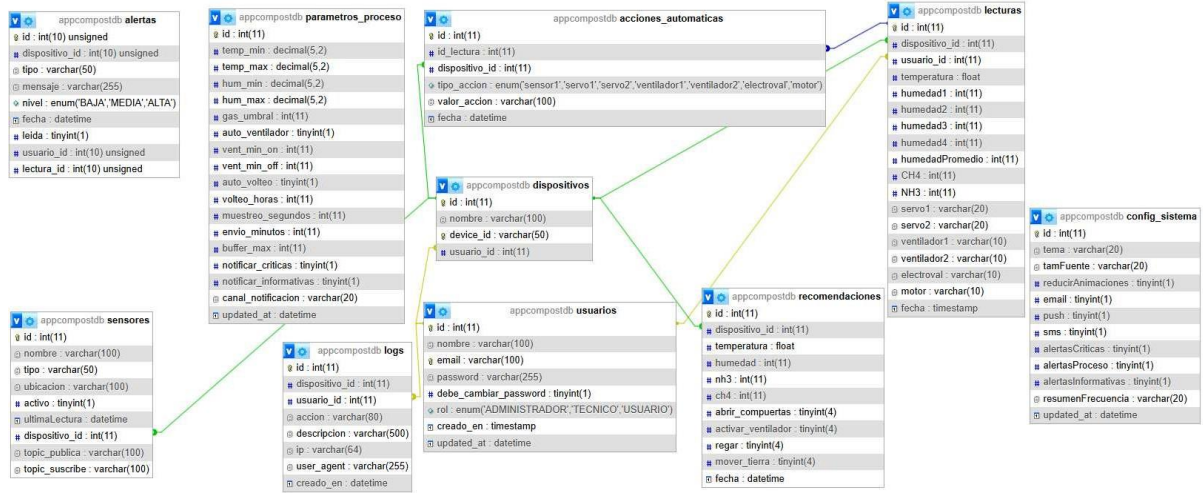


Ilustración 6 Modelo de base de datos

2.6. Diseño de interfaces

El diseño de las interfaces de usuario de la Plataforma IoT Compost se desarrolló siguiendo los principios del diseño centrado en el usuario propuestos por Sommerville, integrando tres actividades fundamentales: análisis del usuario, prototipado iterativo y evaluación de la interfaz hasta llegar a una versión estable integrada al sistema. Estas actividades se incorporaron dentro de la fase de diseño de la metodología de desarrollo empleada en el proyecto, permitiendo que cada página respondiera a necesidades reales de los usuarios y no solo a criterios técnicos o estéticos.

La implementación se realizó mediante el framework Ionic con Angular, lo cual permitió desarrollar una aplicación web y móvil con una base de código unificada, componentes reutilizables, estilos responsivos y servicios orientados al consumo de datos en tiempo real desde los dispositivos IoT. Durante el desarrollo se solucionaron múltiples problemas en los componentes TS, suscripciones, actualización de gráficos y comunicación con servicios, lo que permitió consolidar un diseño estable, funcional y acorde a los objetivos del proyecto.



Ilustración 7 Proceso para el diseño de la interfaz de usuario

Análisis del usuario

En la fase inicial se revisó quiénes usarían realmente la plataforma y en qué condiciones lo harían. Esto permitió entender no solo las funciones que cada perfil necesita, sino también los dispositivos desde los que se conectan con más frecuencia. En el caso de la Plataforma IoT Compost, se identificaron tres perfiles principales: Operadores o responsables del compostaje: normalmente trabajan cerca de las pilas de compost y tienden a revisar la plataforma desde un teléfono o una tableta, ya que es lo más práctico cuando están en campo.

Los técnicos o supervisores suelen revisar tendencias, gráficos y reportes desde computadoras portátiles o equipos de escritorio, generalmente en oficinas o laboratorios donde contar con una pantalla amplia facilita el análisis detallado.

En el caso de los administradores del sistema, su trabajo está relacionado con la gestión de usuarios, la configuración general y el control de los equipos vinculados a la plataforma. Para estas actividades también emplean, en su mayoría, computadoras de escritorio o laptops.

A partir de estas necesidades se decidió trabajar en el desarrollo de una plataforma que estuviera en plataformas disponibles para cualquier tipo de tamaño. La idea es que el software pudiera ser utilizada desde una versión escritorio como también en una versión móvil, sin la necesidad de que el usuario tenga problemas para entender la información procesada. Para conseguir esto, la interfaz se desarrolló de forma responsiva, de manera que todo se mantenga legible y fácil de usar

independientemente del dispositivo.

En los teléfonos o tabletas pequeñas se muestran primero los datos más importantes, como la temperatura, la humedad y los valores de gases de las alertas activas. Cuando la plataforma se abre en una pantalla grande, aparecen opciones adicionales. Esto permite usar mejor cada tipo de equipo sin cambiar la lógica del sistema. Se recogieron varias preferencias que ayudaron a orientar el diseño:

- Estados del sistema fáciles de distinguir (normal, advertencia, alarma).
- Acceso rápido a las alertas más recientes.
- Mensajes escritos de manera clara y sencilla.
- Dashboards con pocos elementos, pero bien ordenados.

Todos estos aportes se incorporaron al diseño final.

Por último, se estableció una paleta de colores coherente con la temática del proyecto: tonos verdes para mostrar condiciones normales y un color rojo para advertencias y situaciones críticas, como exceso de temperatura o valores elevados de gases. También se eligió una tipografía sans-serif para asegurar buena legibilidad en pantallas pequeñas y mantener un estilo limpio y actual.

Prototipado del sistema

En una primera etapa, los usuarios podían expresar lo que necesitaban del sistema, pero no siempre eran capaces de describir cómo imaginaban cada pantalla o cómo debía organizarse la información. Para reducir la brecha entre lo que el usuario “piensa” y lo que el sistema finalmente ofrece, se trabajó con prototipos de baja y media fidelidad.

Inicialmente se elaboraron bocetos simples en papel y esquemas rápidos de distribución de elementos. Posteriormente, se utilizaron herramientas de diseño como Figma y Justinmind, lo que permitió construir prototipos navegables de las principales vistas:

- Pantallas de inicio de sesión para web y móvil.

- Primeros diseños del dashboard del operador.
- Vistas específicas para sensores, gráficas, historial, alertas, usuarios, registros y configuración.
- Prototipos de las pantallas de monitoreo de actuadores y de estadísticas/diagnóstico para perfiles técnicos y administrativos.

En cada iteración se probaron distintas distribuciones de tarjetas, iconos, botones y textos, priorizando siempre que:

- El usuario identifique rápidamente la sección en la que se encuentra.
- Las acciones importantes (encender un actuador o revisar una alerta urgente) se encuentren a la vista y no requieran recorrer varias pantallas.
- Que la presentación conserve una apariencia uniforme y ordenada, evitando llenar la interfaz con elementos que no aportan al uso real del sistema.

Con estas consideraciones, se ajustaron detalles como la elección de colores, el tamaño de los textos y la organización visual en general. Después de varias revisiones se llegó a un diseño estable, que luego se trasladó a la versión final construida con Ionic y Angular.

Implementación de las interfaces en Ionic y Angular

La implementación final se estructuró mediante:

- **Componentes reutilizables:** encabezado (main-header), tarjeta de estado, tabla responsiva, formularios y modales.
- **Servicios TypeScript** para:
 - ✓ consumo de datos IoT en tiempo real,
 - ✓ envío de comandos a actuadores,
 - ✓ control inteligente con lógica difusa,
 - ✓ gestión de usuarios,
 - ✓ auditoría de acciones (logs).

- Rutas organizadas para cada módulo del sistema.

Durante el desarrollo se corrigieron errores en componentes, métodos inexistentes, conflictos de suscripción y actualizaciones de gráficos. Estas mejoras permitieron estabilizar la aplicación y asegurar la actualización en tiempo real de los estados de sensores y actuadores.

A continuación, se describen las pantallas que componen el sistema.

Inicio de sesión (web y móvil)

La pantalla de inicio de sesión funciona como la puerta principal de acceso y cumple los siguientes criterios:

- Campos para usuario/correo y contraseña.
- Mensajes de error claros para credenciales incorrectas.
- Opción para recuperación de contraseña.
- Diseño centrado, minimalista y responsivo.

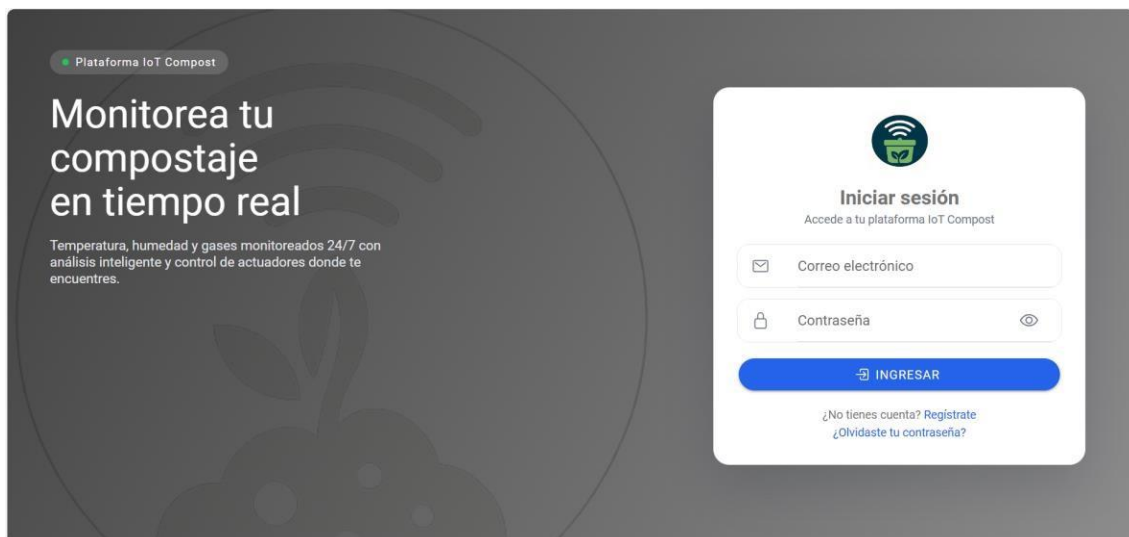


Ilustración 8 Interfaz de inicio de sesión

Recuperación de contraseña

Incluye:

- Ícono de seguridad.
- Campo para correo electrónico.
- Validaciones de formato.
- Mensajes para error y recuperación exitosa.

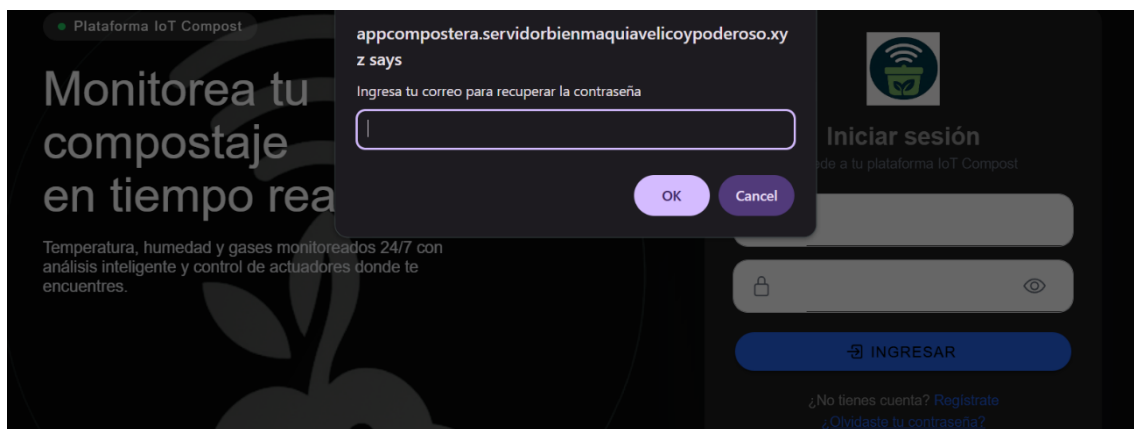


Ilustración 9 Recuperación de clave

Dashboard general

Es la primera vista tras la autenticación.

Sus elementos principales son:

- Esquema SVG del sistema de compostaje, que representa un diseño básico del sistema.
- Indicadores de estado global del sistema.
- Tarjetas con valores recientes de temperatura, humedad, CH₄ y NH₃.
- Accesos rápidos a Sensores, Monitoreo, Gráficas e Historial.

El esquema SVG fue diseñado para ser intuitivo y mostrar visualmente el estado dinámico de componentes del sistema.

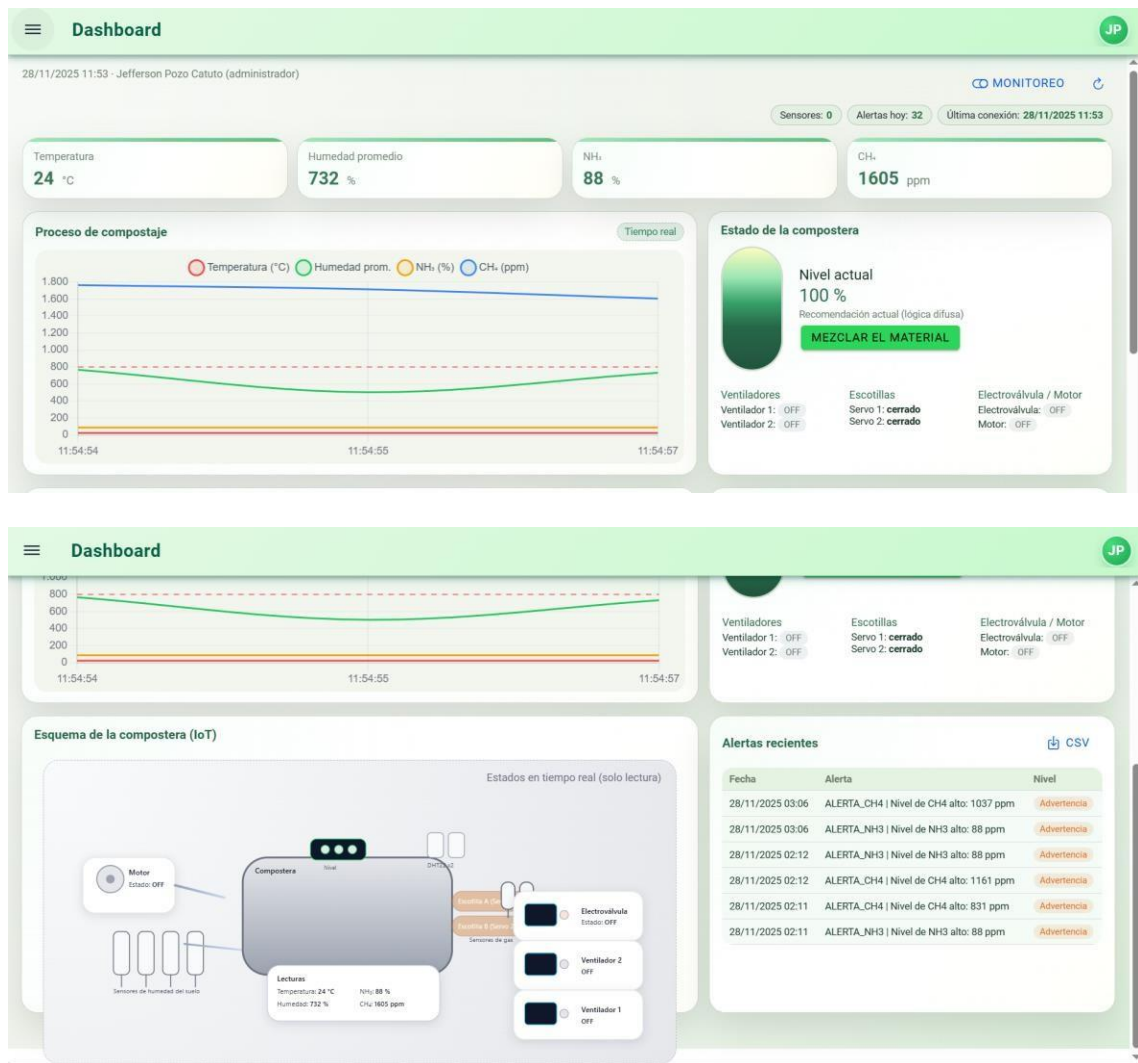


Ilustración 10 Interfaz de Dashboard principal

En el dashboard también se incluyó una sección llamada “Alertas recientes”, que sirve para mostrar de forma rápida los eventos más importantes detectados por la plataforma. La tabla resume cada alerta con su fecha, el tipo de evento y el nivel asociado. En mi caso, estas alertas se generan cuando las lecturas de NH₃ o CH₄ superan los valores que definí como límites seguros, por eso aparecen mensajes como “Nivel de NH₃ alto” o “Nivel de CH₄ alto”. La idea es que el usuario no tenga que entrar a otras páginas para darse cuenta si algo ocurrió en las últimas horas; simplemente abre el panel y ve de inmediato si hubo valores fuera de lo normal. Desde esta misma sección también se puede descargar el registro en formato CSV, lo que facilita llevar un control o incluirlo en informes más completos.

fecha,accion,detalle
2025-11-28T16:54:55.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T16:54:55.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1763 ppm"
2025-11-28T16:53:20.000Z,"APP_LOG","LOGIN jeffersonpozo@gmail.com OK (id:10)"
2025-11-28T08:06:35.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1037 ppm"
2025-11-28T08:06:35.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T07:12:32.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T07:12:32.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1161 ppm"
2025-11-28T07:11:31.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 831 ppm"
2025-11-28T07:11:31.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T07:08:55.000Z,"APP_LOG","LOGIN jeffersonpozo@gmail.com OK (id:10)"
2025-11-28T06:43:11.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T06:43:11.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1143 ppm"
2025-11-28T06:42:12.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T06:42:12.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 971 ppm"
2025-11-28T06:24:23.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T06:24:23.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 877 ppm"
2025-11-28T06:13:27.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"
2025-11-28T06:13:27.000Z,"ALERTA_CH4","ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 951 ppm"
2025-11-28T06:07:28.000Z,"ALERTA_NH3","ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm"

Ilustración 11 Reporte csv de alertas del dashboard

Sensores (tiempo real)

Es la pantalla principal para el operador. Muestra:

- Lecturas instantáneas de las variables clave.
- Indicadores de conexión/desconexión de sensores.
- Tarjetas por módulo de compostaje.
- Actualización automática mediante suscripciones.
- Iconografía diferenciada para sensores ambientales y de gases.
- Acceso directo a Gráficas e Historial.

Gráficas

Pantalla dedicada al análisis temporal de las variables, con:

- Selección de variable (temperatura, humedad, CH₄, NH₃).
- Filtros de tiempo (15 min, 1 h, 24 h o histórico).

- Gráficos de líneas y barras.
- KPIs superiores (mínimo, máximo, promedio, valor actual).
- Exportación a PDF y ZIP de imágenes.

Ideal para técnicos que necesitan evaluar el comportamiento del sistema.

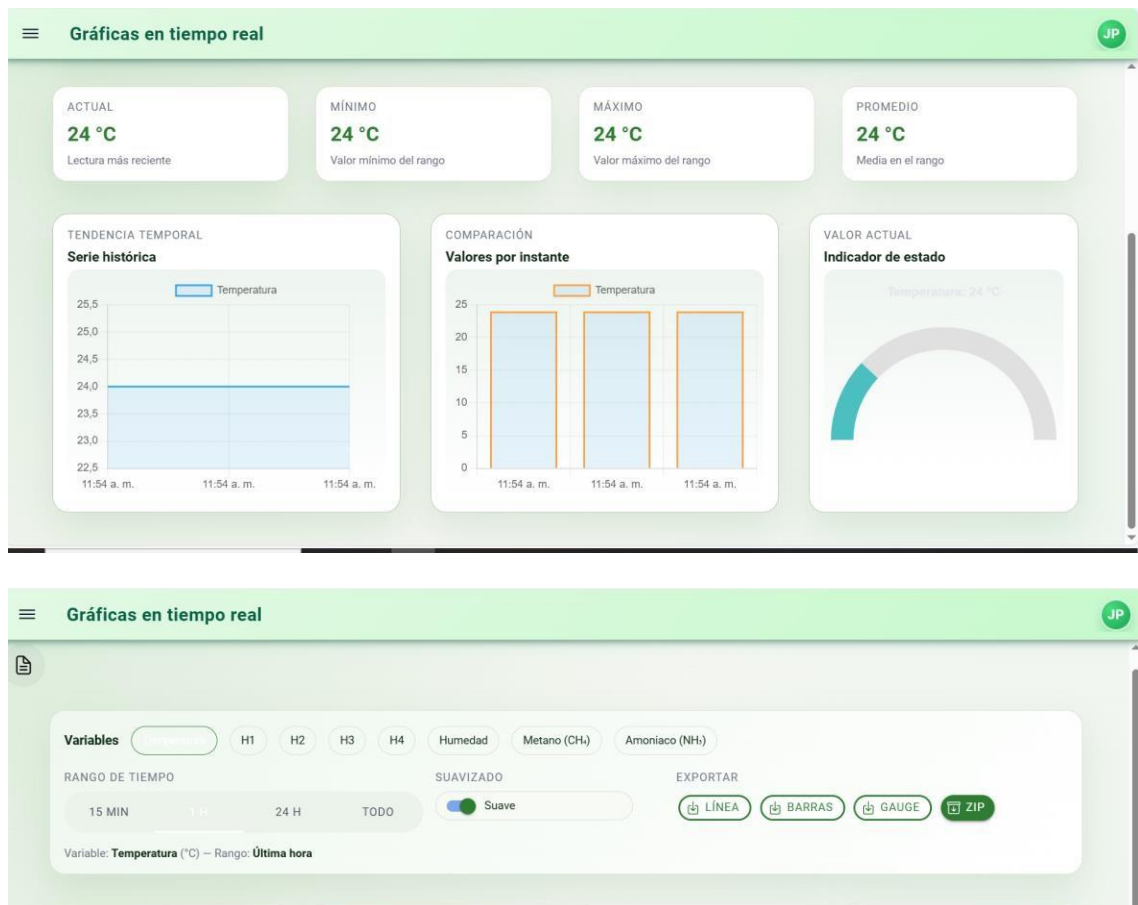


Ilustración 12 Interfaz de gráficas

En la parte superior de la sección de gráficas se agregó varios botones que permiten exportar la información según lo que el usuario necesité. Una vez elegida la variable y el rango de tiempo, es posible generar la gráfica en formato de línea, barras o gauge, incluso descargar el conjunto completo en un archivo ZIP. Esta opción resulta práctica cuando se quiere guardar un registro de las lecturas o preparar un informe sin tener que capturar la pantalla. La exportación recoge únicamente los datos que el usuario

seleccionó, por lo que cada archivo refleja exactamente la consulta que se estaba visualizando en ese momento.

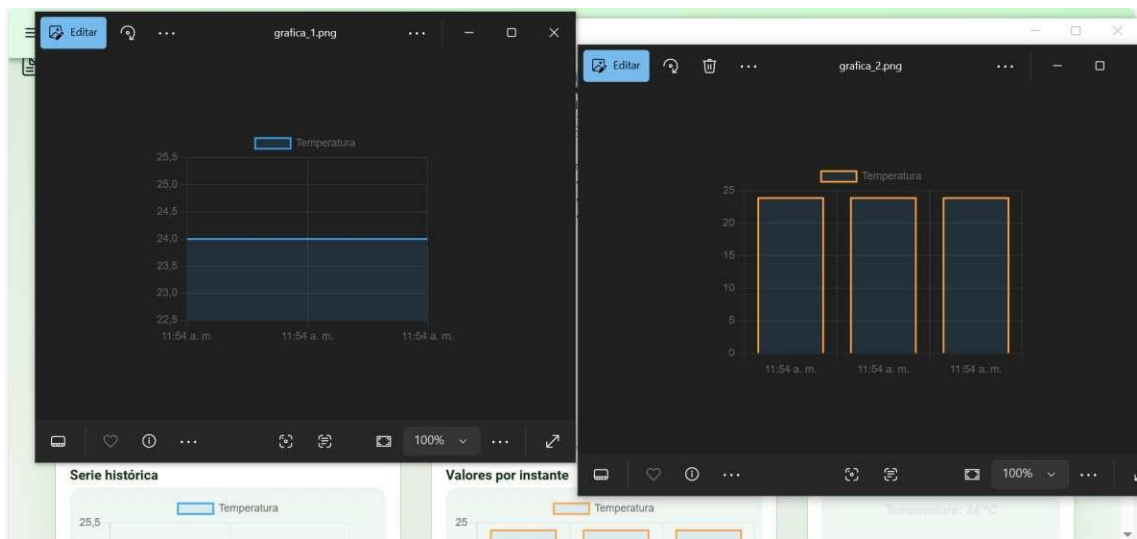
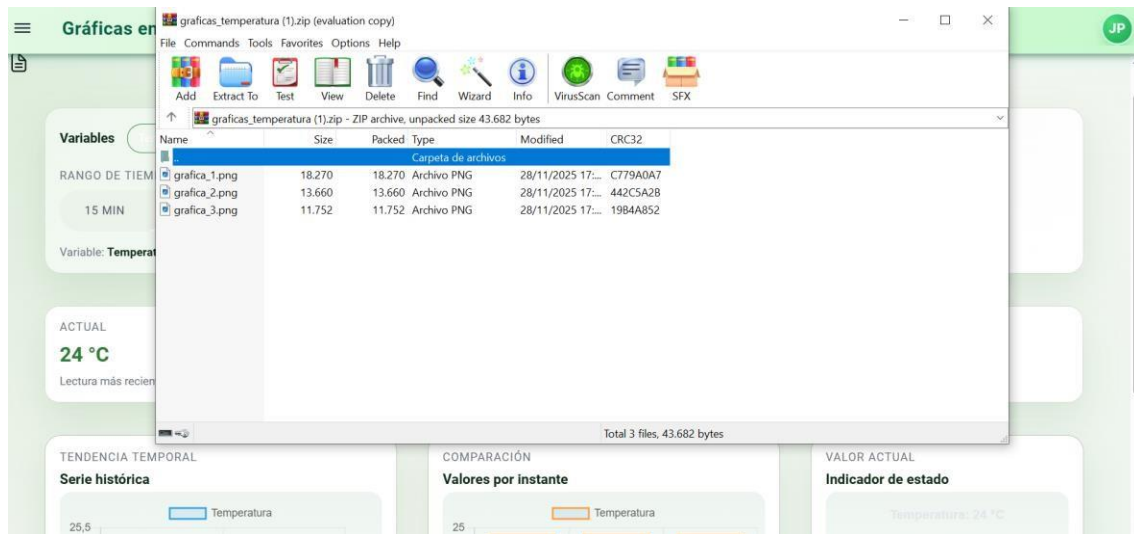


Ilustración 13 Archivos de descarga en formatos png de gráficas

Además del archivo ZIP, la plataforma también ofrece la posibilidad de descargar un informe en PDF con la gráfica seleccionada. Este botón genera un documento ordenado donde se incluye la imagen del gráfico, el rango de tiempo elegido y un pequeño resumen con los valores principales. El objetivo es facilitar la elaboración de reportes técnicos o anexos que normalmente se presentan en reuniones o auditorías. De esta forma, el usuario no tiene que construir el informe desde cero, sino que la plataforma se encarga de generar un archivo listo para compartir o archivar.

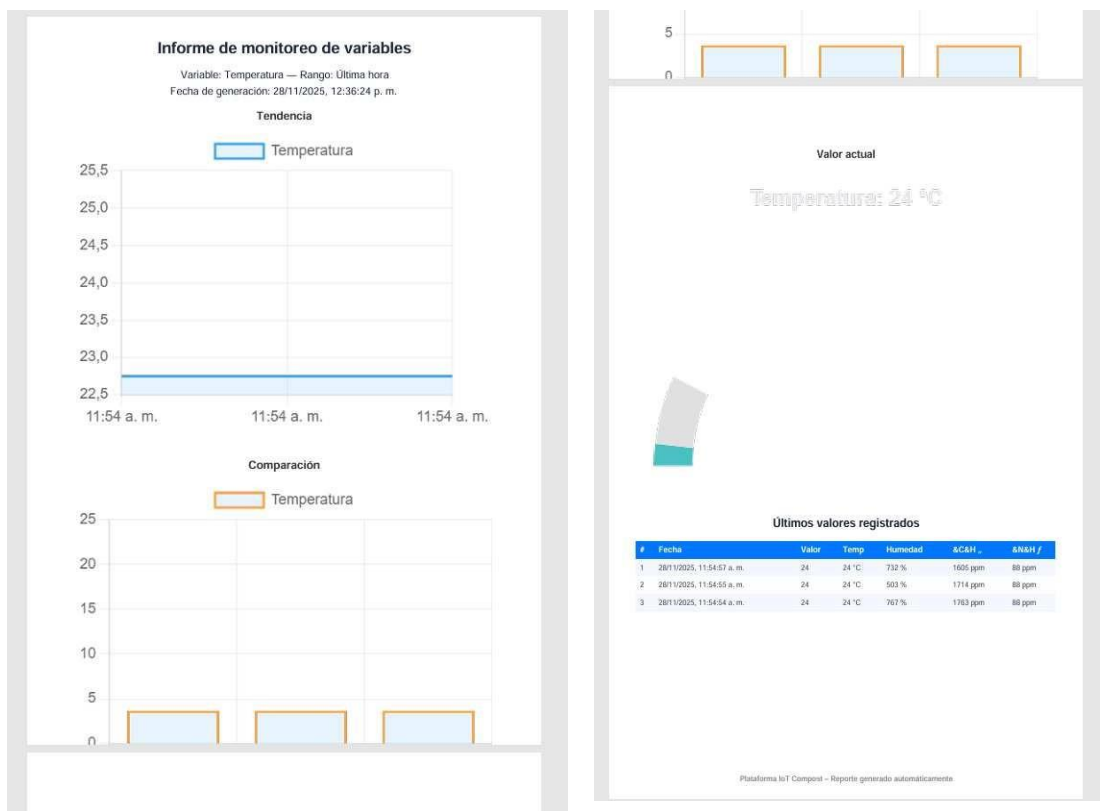


Ilustración 14 Archivo pdf de gráficas.

Historial

Incluye dos formas de visualizar lecturas pasadas:

- Vista en tarjetas (mobile-first)
- Cada lectura se presenta como una tarjeta independiente. Vista en tabla (desktop)

- Diseñada para análisis comparativo

Incluye filtros por:

- Variable.
- Intervalo de tiempo.
- Permite exportar los registros a PDF y Excel.

Página Monitoreo: control de actuadores y modo automático

La página Monitoreo se diseñó como la interfaz de control directo de los actuadores del sistema, manteniendo una separación clara respecto a la visualización de datos.

En esta pantalla el usuario, según su rol, puede:

- Cambiar el estado de actuadores como ventilador, válvula de riego o motor de volteo mediante botones específicos.
- Conmutar entre modo manual y modo automático.

En modo manual, los controles responden directamente a las órdenes del usuario autorizado (típicamente técnico o administrador). El sistema registra estas acciones en los logs para garantizar trazabilidad.

En modo automático, las decisiones sobre los actuadores ya no se toman directamente desde la interfaz, sino que se delegan en un microservicio de lógica difusa desarrollado en Python. La interfaz refleja:

- El estado actual del modo (manual/automático).
- La acción recomendada por el sistema difuso (por ejemplo, “ventilar”, “voltear” o “añadir material húmedo”), ya sea como texto explicativo o mediante chips y etiquetas informativas.
- Un resumen del contexto que motivó la recomendación (valores de temperatura, humedad y CH₄ considerados).

De este modo, la página de Monitoreo se convierte en el punto de unión visible entre la capa de adquisición de datos, la capa de inteligencia (lógica difusa) y la capa de actuación sobre el proceso de compostaje.

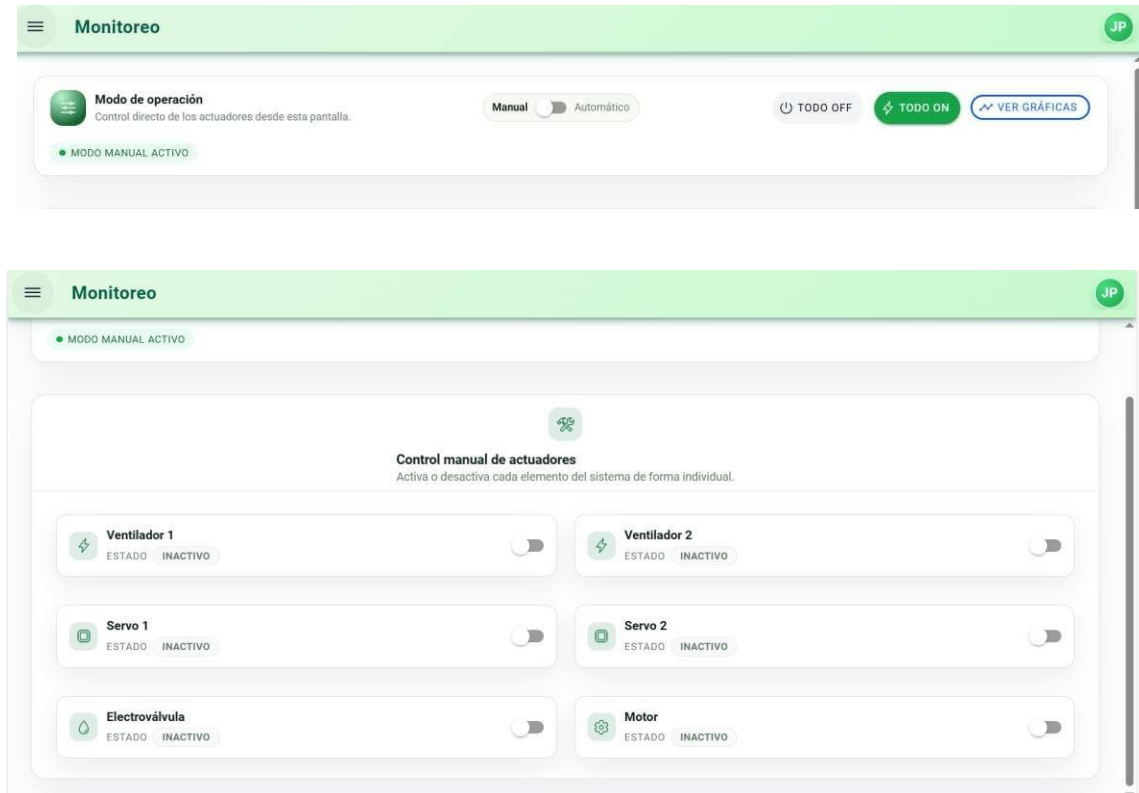


Ilustración 15 Interfaz de monitoreo de actuadores

Lógica difusa integrada a la interfaz

En el proyecto la lógica difusa se manejó en un archivo llamado `fuzzy_logic.py`, que funciona como un microservicio aparte del resto de la aplicación. Ahí es donde se procesan las lecturas que llegan desde el sistema: temperatura, humedad y metano (CH₄). Con esos valores, el microservicio devuelve una sugerencia de acción que luego se muestra en la página de Monitoreo, o se usa directamente cuando se activa el modo automático.

La función principal que realiza este cálculo es `evaluar_recomendación(temp, hum, gas_ch4)`. Esta función siempre devuelve uno de estos cuatro textos: “ventilar”,

“voltear”, “material húmedo” o “material seco”. Antes de hacer cualquier cálculo, la función revisa que los valores recibidos no estén vacíos o fuera de formato. Si algo sucede mal, normaliza los datos para evitar que el sistema falle. Además, en caso de que la librería *skfuzzy* no esté disponible, la función usa un mecanismo de respaldo basado en simples umbrales; por ejemplo, si la temperatura supera un límite o el metano está muy alto, devuelve directamente la recomendación correspondiente sin pasar por el proceso difuso.

Los conjuntos difusos se construyen siguiendo el método habitual. En este caso se trabajó con tres variables de entrada: la temperatura, cuyo rango considerado va de 0 a 80 °C; la humedad, medida a partir de los valores crudos del ADC que se mueven entre 0 y 1000; y la concentración de metano (CH₄), que oscila entre 0 y 2000 ppm. Para cada una de ellas se definieron tres zonas mediante funciones triangulares. En la temperatura se distinguieron niveles bajos, medios y altos; para la humedad se tomaron como referencia las condiciones secas, óptimas y húmedas; mientras que en el CH₄ se usaron los niveles bajo, medio y alto. La variable de salida, llamada “acción”, opera en una escala de 0 a 100 y se divide en tres rangos que representan las respuestas posibles del sistema: ventilar, voltear e hidratar (esta última aparece en la plataforma como “material húmedo”). **Anexo 1.**

A partir de esos conjuntos se formularon las reglas que describen situaciones comunes del compostaje. Si la temperatura se mantiene en un valor intermedio, la humedad está en un punto adecuado y el CH₄ se encuentra en niveles bajos, la recomendación más apropiada es realizar un volteo. En cambio, cuando la temperatura sube demasiado y el metano también aumenta, lo prudente es activar la ventilación. Estas combinaciones reflejan comportamientos usuales del proceso y sirven como base para que el sistema tome decisiones automáticas. Cuando la humedad está baja, el sistema se inclina por hidratar, especialmente si la temperatura también está alta. Cada regla aporta un valor y, al final, el sistema calcula un número difuso, lo convierte en un valor puntual y, según el intervalo en el que cae, se decide qué recomendación devolver.

Dentro de la plataforma, el resultado del análisis se usa de dos maneras distintas.

Cuando el sistema está en modo manual, ese valor solo aparece como una orientación para que la persona a cargo decida qué hacer en ese momento. En cambio, si se activa el modo automático, la recomendación pasa a convertirse en una instrucción directa para los actuadores, y cada acción queda registrada en los logs para llevar un seguimiento claro de lo ocurrido. Gracias a esto, el usuario no tiene que limitarse a revisar cifras aisladas, sino que recibe una interpretación más comprensible del estado del compost, lo que vuelve más sencillo el proceso de supervisión.

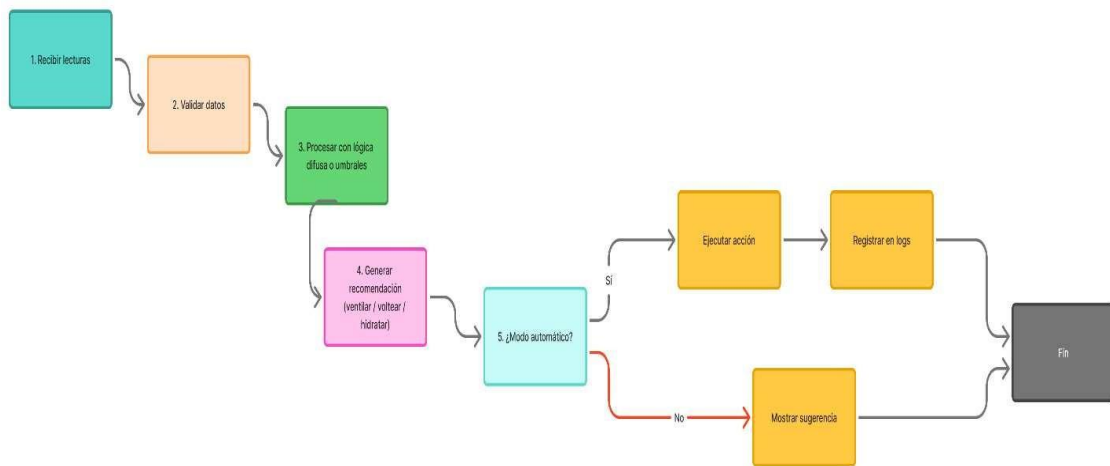


Ilustración 16 Diagrama de flujo de Lógica difusa

Explorador de datos

Además de las páginas principales, la plataforma cuenta con un espacio llamado Explorador de datos. Esta parte de la plataforma está pensada para los momentos en que el usuario requiere revisar la información con mayor flexibilidad que la que ofrece el Historial. Mientras el Historial muestra los registros tal como llegan y en el orden en que fueron generados, esa vista no siempre resulta suficiente. Por esa razón se añadió esta herramienta, que permite seleccionar, combinar y ajustar los datos según lo que se desee analizar en una situación específica.

Dentro del Explorador es posible aplicar varios filtros al mismo tiempo. Por ejemplo, el usuario puede elegir únicamente las lecturas de temperatura de un módulo determinado y restringirlas a una fecha concreta. También es posible fijar límites, como buscar lecturas “por encima de 50 °C” o “valores de CH₄ altos”. La propuesta

es que cada individuo construya la consulta que requiere sin necesidad de revisar los registros uno a uno. Los filtros se aplican y la tabla cambia casi inmediatamente, mostrando solo lo que es coincidente con la búsqueda. Si el usuario opta por una visualización más gráfica, es posible crear un gráfico utilizando ese mismo subconjunto de datos.

Algunos valores generales vinculados con la información filtrada, como el promedio, el mínimo y el máximo, también se presentan en esta página. Estos números ayudan bastante cuando se quiere ver si una variable se mantuvo estable o si hubo algún pico raro en cierto momento.

En el Explorador de datos se añadió dos botones que permiten descargar la información filtrada sin necesidad de salir de esta página. El primer botón permite descargar un archivo CSV con las lecturas filtradas, algo práctico cuando se necesita revisar los datos en Excel o simplemente conservar una copia. El segundo botón crea un PDF que incluye la gráfica mostrada y un pequeño resumen de los valores encontrados durante la consulta. Esta herramienta facilita la elaboración de reportes, porque el sistema arma por sí mismo un documento ordenado con la misma información que el usuario estaba viendo en ese momento.

En cuanto a la disposición visual, el diseño es simple: los controles de filtrado se colocan en la parte superior o en un panel lateral, mientras que la zona central queda reservada para mostrar los resultados. Esto permite trabajar de forma ordenada sin distraerse demasiado con elementos visuales innecesarios. Aunque mantiene la estética ecológica del sistema, esta página está más pensada para el análisis que para el monitoreo diario.

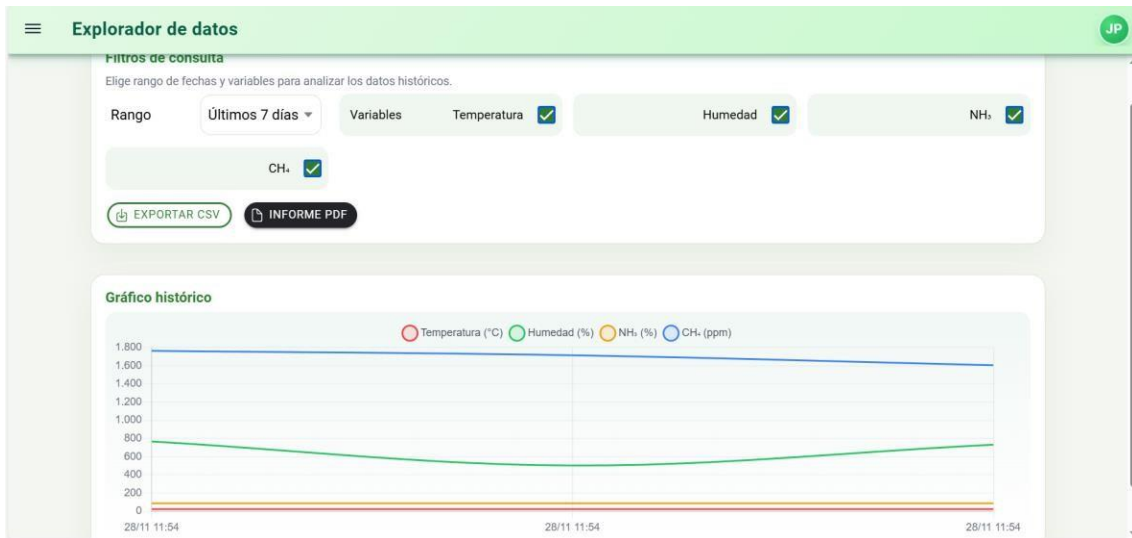


Ilustración 17 Interfaz de explorador de datos

A1	fecha,temperatura,humedadPromedio,NH3,CH4								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	fecha,temperatura,humedadPromedio,NH3,CH4								
2	2025-11-28T16:54:54.704Z,"24","767","88","1763"								
3	2025-11-28T16:54:55.942Z,"24","503","88","1714"								
4	2025-11-28T16:54:57.295Z,"24","732","88","1605"								
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Informe de datos de compostaje

Generado: 28/11/2025, 1:07:32 p. m.

Fecha/hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	NH ₃ (%)	CH ₄ (ppm)
28/11/2025, 11:54:54 a. m.	24	767	88	1763
28/11/2025, 11:54:55 a. m.	24	503	88	1714
28/11/2025, 11:54:57 a. m.	24	732	88	1605

Ilustración 18 Descarga de los archivos pdf y csv de interfaz explorador de archivos

Parámetros del sistema

Permite ajustar:

- Umbrales de temperatura, humedad, CH₄ y NH₃.
- Tiempos de activación de actuadores.

- Configuraciones del modo automático.
- Parámetros operativos del sistema.

Se organiza en tarjetas y formularios simples para minimizar errores.

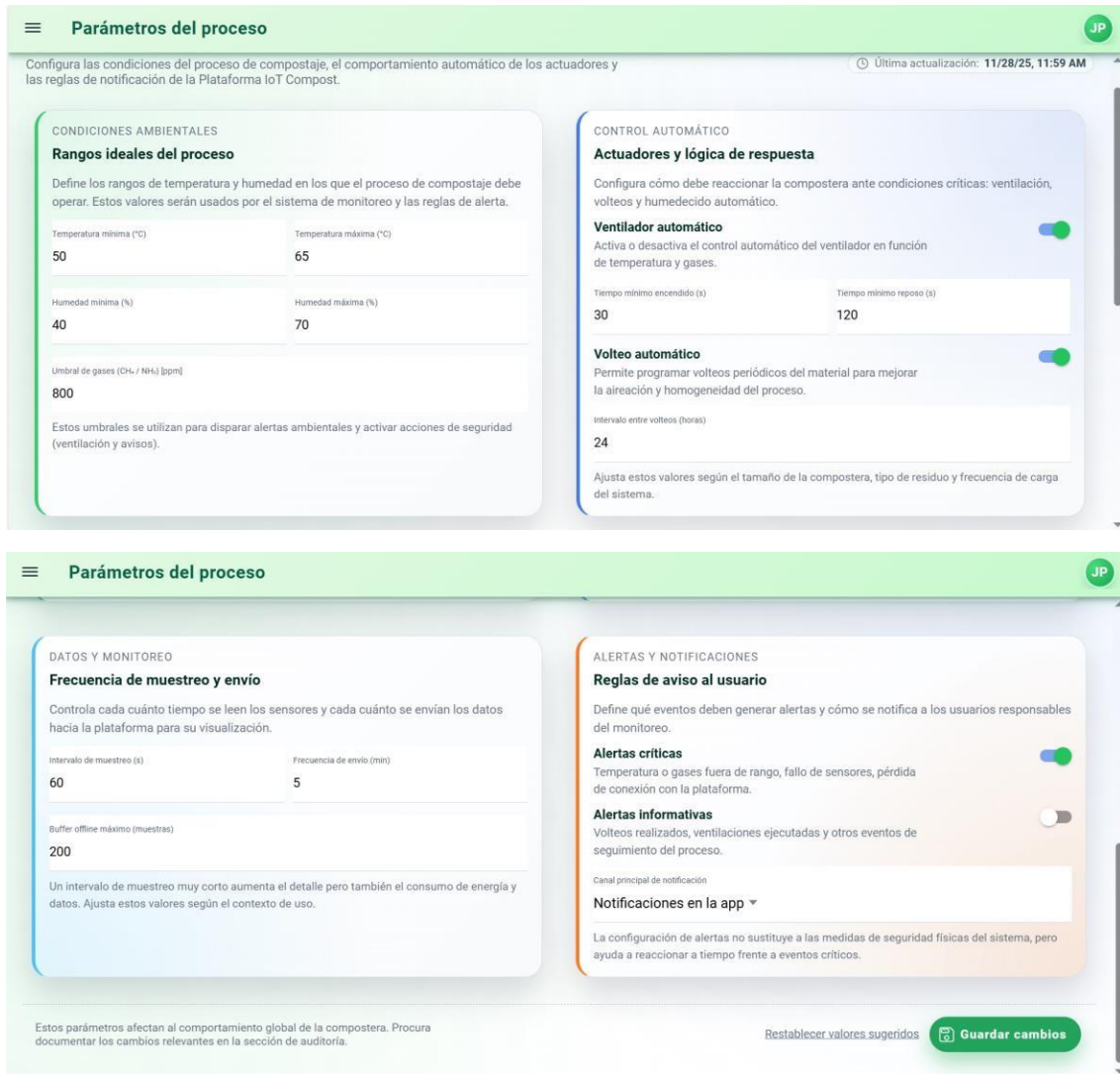


Ilustración 19 Interfaz de parámetros del sistema

Administrador de Usuarios

El administrador puede:

- Ver lista de usuarios, correo y rol.
- Crear, editar y eliminar usuarios.

- Asignar roles (estándar, técnico, administrador).
- Restablecer contraseñas.

Utiliza una tabla responsiva y chips de rol con colores diferenciados.

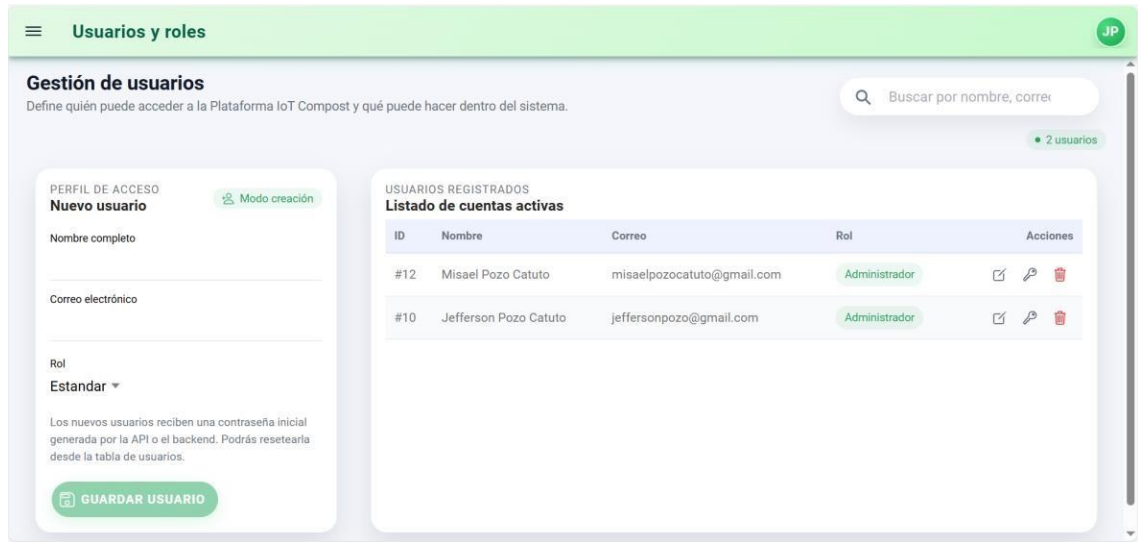


Ilustración 20 Interfaz de Administrador de usuarios

Perfil (datos básicos)

Permite:

- Editar nombre.
- Editar correo.
- Cambiar contraseña.
- Ver el rol asignado.
- No incluye análisis ni estadísticas avanzadas.

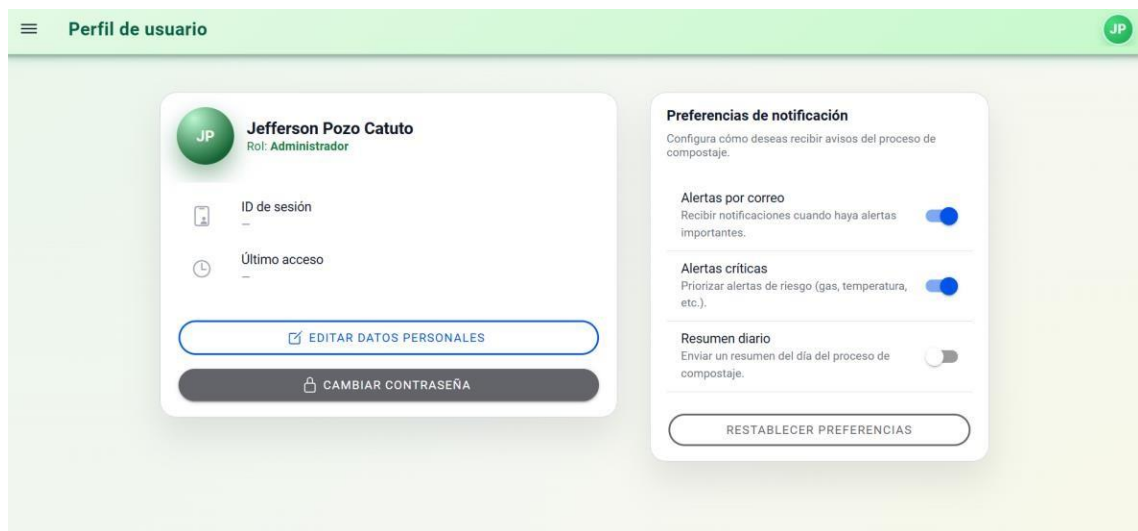


Ilustración 21 Interfaz de perfil de usuario

Interfaz de registros y auditoría (Logs)

El panel de Registros o Logs entrega una visión detallada de lo que ocurre en la plataforma a lo largo del tiempo. Cada entrada de log refleja un evento, como:

- Inicio o cierre de sesión.
- Creación, actualización o eliminación de usuarios.
- Operaciones relacionadas con dispositivos IoT.
- Errores, advertencias y mensajes informativos del sistema.

La interfaz permite:

- Filtrar por categorías (seguridad, usuarios, dispositivos, sistema).
- Buscar por texto libre en descripción, IP, agente de usuario o identificadores.
- Ordenar cronológicamente y revisar el detalle de un evento específico.

Además, se incluye la opción de exportar los registros a CSV, de manera que los datos puedan utilizarse en auditorías externas o integrarse a sistemas de análisis adicionales. Visualmente, se utilizan iconos y colores para distinguir entre eventos

informativos, advertencias y errores, y se presenta una breve síntesis de estadísticas por categoría.

Auditoría / Logs

Auditoría de eventos
 Revisa la trazabilidad de acciones realizadas en la Plataforma IoT Compost: accesos, cambios de configuración y eventos del sistema.

REGISTROS 1000 | ALERTAS 0 | SISTEMA 0

24h | 7 días | 30 días | Todo

Todos | Alertas | Sistema

Buscar por ac | Exportar CSV

Fecha	Evento	Detalle
28/11/2025, 11:54:55 a. m.	SISTEMA ALERTA_NH3	ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm
28/11/2025, 11:54:55 a. m.	SISTEMA ALERTA_CH4	ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1763 ppm
28/11/2025, 11:53:20 a. m.	SISTEMA APP_LOG	LOGIN jeffersonpozo@gmail.com OK (id:10)
28/11/2025, 3:06:35 a. m.	SISTEMA ALERTA_CH4	ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1037 ppm
28/11/2025, 3:06:35 a. m.	SISTEMA ALERTA_NH3	ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm
28/11/2025, 2:12:32 a. m.	SISTEMA ALERTA_NH3	ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm
28/11/2025, 2:12:32 a. m.	SISTEMA ALERTA_CH4	ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1161 ppm

Auditoría / Logs

28/11/2025, 12:32:09 a. m.	SISTEMA ALERTA_NH3	ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm
28/11/2025, 12:05:39 a. m.	SISTEMA APP_LOG	LOGIN jeffersonpozo@gmail.com OK (id:10)
27/11/2025, 4:34:41 p. m.	SISTEMA PARAMETROS_ACTUALIZADOS	PARAMETROS_ACTUALIZADOS Jefferson Pozo Catuto Actualizó parámetros del proceso: {"tempMin":50,"tempMax":65,"humMin":40,"humMax":70,"gasUmbral":800,"autoVentilador":true,"ventMinOn":30,"ventMinOff":120,"autoVolteo":true,"volteoHoras":24,"muestreoSegundos":60,"envioMinutos":5,"bufferMax":200,"notificarCriticas":true,"notificarInformativas":false,"canalNotificacion":"app"}
27/11/2025, 4:34:38 p. m.	SISTEMA PARAMETROS_ACTUALIZADOS	PARAMETROS_ACTUALIZADOS Jefferson Pozo Catuto Actualizó parámetros del proceso: {"tempMin":50,"tempMax":65,"humMin":40,"humMax":70,"gasUmbral":800,"autoVentilador":true,"ventMinOn":30,"ventMinOff":120,"autoVolteo":true,"volteoHoras":24,"muestreoSegundos":60,"envioMinutos":5,"bufferMax":200,"notificarCriticas":true,"notificarInformativas":true,"canalNotificacion":"app"}
27/11/2025, 4:28:58 p. m.	SISTEMA ERROR_TECNICO	[PARAMETROS_PROCESO_GUARDAR] Http failure response for http://localhost:3000/api/parametros: 500 Internal Server Error
27/11/2025, 4:21:59 p. m.	SISTEMA ERROR_TECNICO	[PARAMETROS_PROCESO_GUARDAR] Http failure response for http://localhost:3000/api/parametros: 500 Internal Server Error
27/11/2025, 4:20:59 p. m.	SISTEMA APP_LOG	LOGIN jeffersonpozo@gmail.com OK (id:10)
27/11/2025, 4:20:39 p. m.	SISTEMA APP_LOG	LOGIN jeffersonpozo@gmail.com OK (id:10)
27/11/2025, 4:02:40 p. m.	SISTEMA ALERTA_NH3	ALERTA_NH3 Nivel de NH3 alto: 88 ppm
27/11/2025, 4:02:40 p. m.	SISTEMA ALERTA_CH4	ALERTA_CH4 Nivel de CH4 alto: 1278 ppm

Ilustración 22 Interfaz de Registros

Asimismo, la separación entre páginas dedicadas a visualización (Sensores, Gráficas, Historial), control (Monitoreo), supervisión (Alertas, Diagnóstico, Estadísticas) y administración (Usuarios, Registros, Configuración) contribuye a una estructura clara y escalable. Esta organización facilita futuras ampliaciones del sistema, como la incorporación de nuevos sensores, actuadores adicionales o módulos avanzados de

reporte, manteniendo siempre una experiencia de usuario coherente y alineada con los objetivos del proyecto.

2.7. Pruebas

Prueba N°1 Inicio de sesión				
Objetivo	Comprobar que funcione correctamente tanto en la aplicación web como en móvil con usuario y contraseña			
Roles	Administrador, agricultor, estándar			
Nivel de complejidad	Bajo			
Resultados	Resultado exitoso	X	Resultado fallido	
Escenario N°1 Ingreso de los datos correctos				
Datos de entrada		Resultados esperados		
<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso de credenciales validas • Clic en el botón “Ingresar” 		<ul style="list-style-type: none"> • Se carga el menú principal según el rol del usuario: Administrador, Agricultor o Estándar 		
Escenario N°2 Ingreso de los datos incorrectos				
Datos de entrada		Datos de salida		
<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso de credenciales erróneas. • Clic en “Ingresar” 		<ul style="list-style-type: none"> • Aparece mensaje “Credenciales incorrectas o usuario inactivo”. 		

Tabla 24 Caso de prueba – Inicio de sesión

Prueba N°2 Registro de nuevos usuarios				
Objetivo	Comprobar que funcione correctamente tanto en la aplicación web como en la móvil el registro de nuevos usuarios			
Roles	Administrador			
Nivel de complejidad	Media			
Resultados	Resultado exitoso	X	Resultado fallido	
Escenario N°1 Registro válido				
Datos de entrada		Resultados esperados		
<ul style="list-style-type: none"> Nombre, apellido, correo, teléfono, rol, usuario y contraseña 		<ul style="list-style-type: none"> Se valida la información y se muestra mensaje “Usuario creado exitosamente” 		
Escenario N°2 Registro duplicado				
Datos de entrada		Datos de salida		
<ul style="list-style-type: none"> Ingreso de correo o usuario ya existente. 		<ul style="list-style-type: none"> Se muestra mensaje “Usuario ya registrado en el sistema” 		

Tabla 25 Caso de prueba – Registro de nuevos usuarios

Prueba N°3 Conexión y recepción de datos IoT				
Objetivo	Verificar la conexión de los dispositivos IoT con el bróker MQTT y la recepción de datos en tiempo real			
Roles	Técnico, Administrador			
Nivel de complejidad	Alta			
Resultados	Resultado exitoso	X	Resultado fallido	
Escenario N°1 Dispositivo Activo				
Datos de entrada		Resultados esperados		
<ul style="list-style-type: none"> Publicación MQTT con datos válidos de temperatura, humedad, NH3, CH4 y nivel de agua 		<ul style="list-style-type: none"> Lecturas visibles en el panel en menos de 2 segundos 		
Escenario N°2 Dispositivo Inactivo				
Datos de entrada		Datos de salida		
<ul style="list-style-type: none"> Dispositivo fuera de línea o sin publicar datos 		<ul style="list-style-type: none"> Se muestra mensaje de alerta "Dispositivo sin conexión" 		

Tabla 26 Caso de prueba Conexión y recepción de datos IoT

Prueba N°4 Visualización de variables ambientales				
Objetivo	Validar que las variables ambientales se muestren correctamente en gráficos históricos y en tiempo real			
Roles	Usuario estándar, Técnico			
Nivel de complejidad	Media			
Resultados	Resultado exitoso	X	Resultado fallido	
Escenario N°1 Datos disponibles				
Datos de entrada		Resultados esperados		
<ul style="list-style-type: none"> Selección de rango de fechas y tipo de variable 		<ul style="list-style-type: none"> Se muestran gráficos y tablas con los valores correspondientes 		
Escenario N°2 Sin datos registrados				
Datos de entrada		Datos de salida		
<ul style="list-style-type: none"> Rango de fechas sin lecturas almacenadas 		<ul style="list-style-type: none"> Se muestra mensaje “No existen registros para este periodo” 		

Tabla 27 Caso de prueba Visualización de variables ambientales

Prueba N°5 Generación de alertas difusas				
Objetivo	Validar que el sistema genere alertas automáticas ante condiciones anómalas según las reglas difusas configuradas.			
Roles	Sistema, usuario			
Nivel de complejidad	Alta			
Resultados	Resultado exitoso	X	Resultado fallido	
Escenario N°1 Condición crítica				
Datos de entrada		Resultados esperados		
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura >65 °C y humedad <30% 		<ul style="list-style-type: none"> • Alerta “Crítica” generada automáticamente y notificada al usuario. 		
Escenario N°2 Condición normal				
Datos de entrada		Datos de salida		
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura y humedad dentro de rango óptimo. 		<ul style="list-style-type: none"> • No se generen alertas. 		

Tabla 28 Caso de prueba – Generación de alertas difusas

Prueba N°6 Control automático de actuadores				
Objetivo	Comprobar la activación automática de los actuadores según las reglas del sistema difuso			
Roles	Sistema			
Nivel de complejidad	Alta			
Resultados	Resultado exitoso	X	Resultado fallido	
Escenario N°1 Exceso de temperatura				
Datos de entrada		Resultados esperados		
<ul style="list-style-type: none"> Sensor de temperatura = 60°C 		<ul style="list-style-type: none"> Activación del ventilador y apertura de válvula de enfriamiento 		
Escenario N°2 Baja Humedad				
Datos de entrada		Datos de salida		
<ul style="list-style-type: none"> Sensor de humedad = 25% 		<ul style="list-style-type: none"> Activación del sistema de riego automático. 		

Tabla 29 Caso de prueba – Control automático de actuadores

Prueba N°7 Generación de reportes				
Objetivo	Comprobar la generación y visualización correcta de reportes en formato gráfico y tabular			
Roles	Administrador, usuario estándar			
Nivel de complejidad	Media			
Resultados	Resultado exitoso	X	Resultado fallido	
Escenario N°1 Reporte por rango de fechas				
Datos de entrada		Resultados esperados		
<ul style="list-style-type: none"> Fecha inicio y fin válidas. 		<ul style="list-style-type: none"> Visualización de gráficos y tablas correspondientes al rango seleccionado 		
Escenario N°2 Reporte vacío				
Datos de entrada		Datos de salida		
<ul style="list-style-type: none"> Fechas sin datos registrados 		<ul style="list-style-type: none"> Mensaje “Sin registros disponibles” 		

Tabla 30 Caso de prueba – Generación de reportes

2.8. Resultados

El presente trabajo se desarrolló dentro del proyecto “Aplicaciones de la Tecnología del Internet de las Cosas con Componentes Ambientales para Viviendas Ecuatorianas” (CUP: INCYT-PNF-2025-S73-194), coordinado por el grupo de investigación TECED. Como parte de esta línea, la Plataforma IoT Compost se creó junto con el modelo relacional MySQL que almacena telemetrías provenientes del prototipo IoT y gestiona los módulos de usuarios, alertas y dispositivos. A continuación, se describen los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento realizadas

directamente por el autor.

2.8.1. Resultados de las pruebas usabilidad y diseño

Las pruebas de usabilidad se realizaron directamente sobre la versión web y móvil, usando navegadores distintos y pantallas de varios tamaños. La intención fue evaluar si la interfaz resultaba clara, si la navegación era intuitiva y si cada módulo podía utilizarse sin confusiones

Aspectos evaluados

- Acceso a la plataforma desde distintos navegadores.
- Registro e inicio de sesión.
- Lectura del estado general en el dashboard.
- Navegación entre módulos (Dispositivos, Alertas, Registros de eventos).
- Edición de datos personales.
- Comportamiento de la interfaz en resoluciones pequeñas.

Hallazgos principales

- Algunos botones no tenían el contraste adecuado, por lo que se ajustó la paleta de colores.
- El dashboard necesito reorganización para que las tarjetas importantes aparecieran primero.
- Se acortaron varios mensajes de validación para que resultaran más directos.
- En la versión móvil se ajustó el espaciado para evitar que la información se viera amontonada

Elemento evaluado	Problema detectado	Ajuste aplicado
Botones	Poco contraste	Colores reforzados
Dashboard	Orden poco intuitivo	Reacomodo de tarjetas
Formularios	Mensajes externos	Textos simplificados
Móvil vs Web	Diferencias en espaciado	Ajuste de estilos

Tabla 31 Resumen de la Prueba de Interfaz de Usuario

2.8.2. Resultados de funcionamiento del sistema IoT y visualización de datos

El sistema IoT fue probado únicamente en entorno simulado. Todas las lecturas de temperatura, humedad y gases fueron generadas desde un escenario controlado para comprobar la estabilidad de los módulos de monitoreo, alertas y reportes.

Resultados obtenidos

- Las lecturas simuladas se registraron sin fallas.
- Los valores se reflejaron correctamente en la plataforma web y en la app.
- Las gráficas en tiempo real respondieron sin retrasos.
- No se produjeron interrupciones en la recepción de datos durante las sesiones de prueba.
- La base de datos almaceno todos los registros sin inconsistencias.

Variable	Lectura del sensor	Visualización en plataforma	Registro en BD
Temperatura	Correcta	Sí	Sí
Humedad	Correcta	Sí	Sí
Gases	Según prototipo	Sí	Sí

Tabla 32 Resumen de la Prueba de Interfaz de Sistema IoT y visualización de datos (Lecturas)

Condición simulada	Tipo de alerta	Visualización	Notificación
Temperatura alta	Critica	Sí	Sí
Humedad baja	Media	Sí	Sí
Estado estable	Informativa	Sí	N/A

Tabla 33 Resumen de la Prueba de Interfaz de Sistema IoT y visualización de datos (Alertas)

2.8.3. Resultados de Seguridad

Se evaluó el comportamiento básico en un entorno simulado:

Prueba	Resultado
Conexión MQTT simulada bajo TLS	Correcto
Navegación bajo HTTPS	Correcto
Gestión de roles y permisos	Correcto
Manejo de sesiones	Correcto

Tabla 34 Resumen prueba de seguridad

Resultados de integración simulada con el sistema IoT.

Se probaron dos escenarios simulados:

- Versión inicial: lecturas irregulares para verificar como reaccionaba la plataforma.
- Versión ajustada: intervalos estables para observar el comportamiento continuo.

Versión	Estabilidad	Observaciones
V1	Media	Intervalos desiguales
V2	Alta	Lecturas continuas y estables

Tabla 35 Resumen de pruebas de lecturas

2.8.4. Síntesis de resultados

- La plataforma proceso los datos simulados sin errores.
- El modelo relacional funciono sin duplicidades ni registros faltantes.
- Las alertas se mostraron y enviaron según lo esperado.
- La interfaz se mantuvo estable luego de los ajustes de usabilidad.
- Las pruebas de seguridad mostraron un funcionamiento correcto bajo condiciones simuladas.

2.8.5. Resultados de los módulos de administración y gestión interna.

Además de las funciones de monitoreo, se revisaron los módulos que permiten administrar la plataforma. Estas pruebas sirvieron para comprobar que la aplicación puede organizar correctamente la información y responder a acciones básicas del usuario

Modulo evaluado	Hallazgo	Ajuste aplicado
Usuarios	Campos desordenados en móvil	Reacomodo el formulario
Roles	Acceso indebido en pruebas iniciales	Actualización del componente

Tabla 36 Resumen de prueba de módulo de administrador

2.8.6. Resultados del módulo de auditoría

El módulo de auditoría registra las acciones internas del sistema, como inicios de sesión, cambios de perfil y eventos de lógica difusa.

Durante las pruebas se verificó:

- El listado de logs se generó sin demoras y ordenado por fecha.
- Los filtros (por usuario, acción o fecha) respondieron sin recargar la página.
- Se corrigió un problema en el que los eventos muy antiguos no se mostraban al paginar.

La exportación a CSV funcionó y mantuvo simple para poder revisarlo después

Resumen del comportamiento observado

Acción registrada	¿Se mostró auditorio?	¿Se exportó?
Inicio/cierre de sesión	Sí	Sí
Edición de usuario	Sí	Sí
Alerta generada	Sí	Sí
Cambio de dispositivo	Sí	Sí

Tabla 37 Resumen de resultados de interfaz de registros

2.8.7. Resultados del módulo de gráficas

El módulo de gráficas se probó generando series simuladas de temperatura, humedad y gases. Las pruebas confirmaron:

Las escalas se ajustaron automáticamente y no se cortaron los valores

En pantallas pequeñas se tuvo que aumentar el margen, porque algunos valores quedaban demasiado pegados al borde.

Se comprobó que el selector de rangos (24h 7 días, etc) aplicaba correctamente los

filtros.

Elemento evaluado	Estado	Observación
Gráficas en tiempo real	Funcional	Escala estable
Cambio de rango	Correcto	Sin retrasos
Vista móvil	Ajustada	Se amplió el margen superior

Tabla 38 Resumen de pruebas de interfaz de gráficas

2.8.8. Resultados del explorador de datos

El explorador permite revisar registros con más libertad que el historial general.

Durante las pruebas se observó:

- Los filtros múltiples funcionaron de forma combinada sin errores,
- La tabla respondió bien incluso con varios cientos de registros simulados.
- La exportación a PDF mostró la gráfica seleccionada y un breve resumen, tal como se diseñó.
- En algunos casos fue necesario reducir el tamaño del texto para evitar que el reporte quedara corto

Función	Resultado
Filtros combinados	Funcionales
Vista por dispositivo	Correcta
Exportar CSV	Sin errores
Exportar PDF	Correcto tras ajustar tamaños

2.8.9. Resultados del monitoreo de actuadores

Otra parte del sistema que se reviso fue la del control de los actuadores. Aunque no se trabajó con una compostera física, si se simularon los estados de ventilación, volteo e hidratación para comprobar la lógica difusa sin errores

Durante estas pruebas se evaluó lo siguiente:

- Los estados de los actuadores (“encendido”, “apagado”, y “en espera”) se reflejaron correctamente en la interfaz.
- En modo manual, cada botón respondió sin retraso y actualizo el registro correspondiente en la tabla de auditoría.
- En modo automático, la recomendación generada por la lógica difusa se convirtió en una orden simulada sin generar conflictos de estados.
- El historial de acciones mostro de manera ordenada las activaciones y desactivaciones hechas durante la sesión.
- Se detecto un detalle visual: cuando las tres coincidían en un mismo minuto, los iconos tardaban en refrescarse; se corrigió ajustando al componente.

Función evaluada	resultados	Observación
Activación manual	Correcta	Respuesta inmediata
Activación automática	Correcta	Coincide con la lógica difusa
Registro de historial	Sí	Sin registros duplicados
Indicadores visuales	Ajustado	Mejor refresco del estado

Consistencia entre móvil/web	logrado	Mismos estados mostrados
------------------------------	---------	--------------------------

Tabla 40 Resumen de pruebas de interfaz de monitoreo

Estas pruebas permitieron confirmar que el sistema reconoce adecuadamente las decisiones del controlador difuso en un entorno simulado y que los usuarios pueden revisar o intervenir en los actuadores sin generar inconsistencias. Aunque todavía falta pruebas con un sistema físico, esta etapa dejó lista la estructura necesaria para integrar dispositivos físicos.

CONCLUSIONES

El proyecto logró diseñar y desarrollar un sistema inteligente que integra tecnologías IoT y lógica difusa para el monitoreo y control del proceso de compostaje doméstico, aportando una solución automatizada y eficiente para gestionar variables críticas como temperatura, humedad y gases. La puesta en marcha del sistema, tanto en la aplicación web como en la versión para móviles, permitió visualizar la información de forma clara y en tiempo real, esto hizo posible que el usuario o el propio sistema reaccionara de inmediato según los cambios que se fueran presentando en el compost.

Se observó en las pruebas de funcionamiento que el control conservaba la mayoría de las variables dentro de niveles apropiados, lo cual demuestra que la propuesta funciona como se preveía. Esto permite que el compostaje se realice con menos supervisión directa y un seguimiento más organizado. Esto contribuye a reducir trabajos manuales, optimizar la calidad del material obtenido y promover prácticas de gestión responsable de desechos. Además, la solución puede ampliarse o adaptarse si en el futuro se desea incorporar nuevas funciones o aplicarla en otros espacios.

El uso de lógica difusa permitió enfrentar la variación natural de las condiciones del compost sin depender de valores estrictos, generando indicaciones automáticas acordes a los cambios que se presentan en el día a día. Aunque el desarrollo se probó inicialmente en un entorno doméstico simulado, las bases técnicas del proyecto contribuyen a el uso de prácticas sostenibles sobre el manejo de residuos. Este sistema abre paso a futuras mejoras o extensiones demostrando ser un proyecto escalable, generando un impacto positivo en la gestión de residuos orgánicos.

RECOMENDACIONES

Para futuras versiones del sistema de monitoreo y control del compostaje con IoT y lógica difusa, se recomienda ampliar la conectividad para incluir soporte multidioma, lo cual facilitará su adopción en comunidades con diversidad lingüística. Además, es importante investigar la integración de módulos complementarios, como la gestión económica o facturación, que puedan convertir la solución en una herramienta más completa para emprendimientos de reciclaje y compostaje. También vale la pena considerar la integración de nuevos sensores que permitan medir variables como el pH o el nivel de oxígeno, ya que estos datos añadirían precisión al control automático del proceso. Otra opción, sería desarrollar una versión que funcione en espacios más amplios, como restaurantes o de mayor tamaño. En tal caso, sería imprescindible realizar una investigación en varias situaciones para determinar los beneficios reales que proporcionaría. También será beneficioso incluir a individuos áreas y climas para determinar si el sistema continúa siendo cómodo de emplear y cuál es la respuesta ante diferentes condiciones ambientales.

En cuanto al control, el uso de lógica difusa ha dado buenos resultados, pero a futuro se podría experimentar con esquemas mixtos que combinen lógica difusa con técnicas de inteligencia artificial o aprendizaje automático, de manera que el sistema se adapte mejor a condiciones poco usuales. Además, será importante ir actualizando la plataforma web y la aplicación móvil conforme cambien las tecnologías IoT y los dispositivos que se usan a diario. Un aspecto adicional importante sería brindar formación a los individuos que emplearán el sistema en sus casas para ayudar a mejorar la gestión de residuos. Formar una comunidad reducida de técnicos y usuarios posibilitaría el intercambio de vivencias, la discusión sobre problemas auténticos y la sugerencia de modificaciones que mantengan al sistema en un estado de mejora incesante. Por último, es importante mantener un seguimiento medioambiental y social del proyecto que ayude a evidenciar su contribución como una herramienta para el desarrollo sostenible.

REFERENCIAS

- [1] S. B. a. A. A. a. A. S. a. J. Krogstie, «Environmentally sustainable smart cities and their converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: an integrated approach to an extensive literature review,» vol. 6, 2023.
- [2] S. M. P. a. S. M. a. O. A. W. a. S. S. K. a. V. S. a. A. S. a. V. M. A. a. M. B. K. a. D. H. a. N. B. a. Y. S. Chung, «Artificial intelligence and IoT driven technologies for environmental pollution monitoring and management,» *Florianópolis*, Jul-Sep 2024.
- [3] F. M. A. a. F. Ameen, «Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste,» *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 28, pp. 3284 - 3293, 2021.
- [4] T. Kaur, «Vermicomposting: An Effective Option for Recycling Organic Wastes,» *Organic Agriculture*, 2020.
- [5] S. M. a. K. Ravindra, «Municipal solid waste landfills in lower- and middle- income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices,» *Process Safety and Environmental Protection*, 2023.
- [6] I. A. a. K. M. a. U. D. a. F. S. A. a. M. S. A. a. S. M. S. A. a. W. A.-G. a. T. Alrawaf, «Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, 2022.
- [7] T. S. a. R. B.-S. a. F. H. a. A. Sánchez, «Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture,» *Agronomy*, 2020.
- [8] M. O. L. a. R. M. a. A. Z. a. H. S. a. L. S. a. M. M. A. a. L. Mouhir, «Sustainable Agriculture Through Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review of Composting's Impact on Soil Health in Moroccan

Agricultural

Ecosystems,» *Agriculture*, 2024.

- [9] X. W. a. J. L. a. L. X. a. Z.-m. W. a. J. W. a. Y. W. T. a. X. W. a. Y. H. a. J. Zhang, «Machine learning framework for intelligent prediction of compost maturity towards automation of food waste composting system.,» *Bioresource technology*, p. 128107, 2022.
- [10] F. N. a. I. S. a. H. V. a. A. G. a. O. T. a. T. A. a. V. V. a. D. C. a. C. Stan, «Decentralized Processing Performance of Fruit and Vegetable Waste Discarded from Retail, Using an Automated Thermophilic Composting Technology,» *Sustainability*, 2022.
- [11] L. O. a. S. A. a. A. M. a. D. D. a. F. Chiacchio, «Improving the composting process of a treatment facility via an Industry 4.0 monitoring and control solution: Performance and economic feasibility assessment,» *Journal of environmental management*, vol. 345, p. 118776, 2023.
- [12] A. S. a. B. M. a. Y. C. a. E. T. a. J. Robalino, «Characteristics of Riobamba's household solid waste generation and the benefits of source separation,» *Journal of Namibian Studies : History Politics Culture*, 2023.
- [13] F. N. a. J. C. a. I. B. a. A. K. A. a. J. S. Eisah, «Generation, Characterization and Management Practices of Household Solid Wastes in Cowfield, Paynesville City, Liberia,» *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2021.
- [14] J. J.-S. a. M. D. P.-M. a. M. B. a. C. P. a. A. P.-E. a. I. G.-T. a. M. L. a. F. M.-E. a. H. B. a. R. Moral, «Development of organic fertilizers from food market waste and urban gardening by composting in Ecuador,» *PLoS ONE*, vol. 12, 2017.
- [15] J. J.-S. a. M. D. P.-M. a. M. B. a. A. P.-E. a. C. P. a. M. L. a. D. L.-L. a. I. G.-T. a. R. Moral, «Composting as sustainable strategy for municipal solid waste

management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, pp. 1349-1358, 2017.

- [16] R. Ovcharenko, «The Potential of IoT for Efficient Environmental Management: An Exploration of IoT Technologies for Precise Monitoring and Resource Management,» *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 2025.
- [17] T. L. N. a. C. V. a. A. K. a. C. J. a. A. K. a. S. B. K. a. A. I. A. a. T. Quasim, «Advances in real time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors,» *Heliyon*, vol. 10, 2024.
- [18] . P. d. C. a. J. G. a. X. C.-M. a. S. W. a. J. C. a. R. R. a. F. Murphy, «A Systematic Review of Real-Time Monitoring Technologies and Its Potential Application to Reduce Food Loss and Waste: Key Elements of Food Supply Chains and IoT Technologies,» *Sustainability*, 2022.
- [19] A. K. a. A. A. a. M. A. a. A. E. a. M. A. a. P. M. a. M. N. a. H. B. K. a. V. M. G. a. A. A. S. a. M. A. R. A. A.-M. a. F. Khattab, «Compost maturity prediction and gas emissions monitoring: A sensor-based and interpretable machine learning approach,» *Comput. Electr. Eng*, vol. 123, p. 110115, 2025.
- [20] F. T. a. Ö. C. Y. a. N. G. Turan, «Artificial Intelligence and Machine Learning Approaches in Composting Process: A Review,» *Bioresource technology*, p. 128539, 2023.
- [21] A. K. a. A. A. a. M. A. a. A. E. a. M. A. a. P. M. a. M. N. a. H. B. K. a. V. M. G. a. A. A. S. a. M. A. R. A. A.-M. a. F. Khattab, «Compost maturity prediction and gas emissions monitoring: A sensor-based and interpretable machine learning approach,» *Comput. Electr. Eng*, vol. 123, p. 110115, 2025.
- [22] G. C. a. A. C. a. O. J. a. A. Godfrey, «Low-cost, multimodal environmental monitoring based on the Internet of Things,» *Building and Environment*, vol. 203, p. 108014, 2021.

- [23] A. K. A. a. M. Masinde, «A Distributed Stream Processing Middleware Framework for Real-Time Analysis of Heterogeneous Data on Big Data Platform: Case of Environmental Monitoring,» vol. 20, 2020.
- [24] G. R. M. a. J. S. a. J. Vanos, «Characteristics and applications of small, portable gaseous air pollution monitors,» *Environmental pollution*, vol. 223, pp. 102-110, 2017.
- [25] A. R. a. P. P. a. O. M. a. A. M. a. A. K. Meier, «Local Weather Station Design and Development for Cost-Effective Environmental Monitoring and Real-Time Data Sharing,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 23, 2023.
- [26] S. Mahajan, «Design and development of an open-source framework for citizen- centric environmental monitoring and data analysis,» *Scientific Reports*, vol. 12, 2022.
- [27] F. N. a. C. Z. a. H. S. a. L. Lin, «Calibration of Integrated Low-Cost Environmental Sensors for Urban Air Temperature Based on Machine Learning,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 25, 2025.
- [28] M. I. I.-C. a. M. O. V.-M. a. M. T. C.-C. a. R. F. Z.-V. a. C. Y. Z.-Q. a. J. K. Ochoa-Cordero, «Optimización del manejo de residuos orgánicos en plantaciones de cacao: potencial de subproductos en sistemas de economía circular,» *Multidisciplinary Latin American Journal (MLAJ)*, 2025.
- [29] V. V.-O. a. I. G.-T. a. J. I.-N. a. L. C.-B. a. S. B.-T. a. K. S.-G. a. C. Paredes, «Characterization of Agro-Livestock Wastes for Composting in Rural Zones in Ecuador: The Case of the Parish of San Andrés,» *Agronomy*, 2022. J. L. Á. a. J. D. M. a. E. Durán, «Analysis of Single Board Architectures Integrating Sensors Technologies,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, 2021.
- [30] T. T. a. K. K. a. R. S. a. S. S. a. M. K. a. K. S. A. a. A. P. a. M. P. a. C. S. L. a. Y.S. a. S. A. a. K. S. a. K. R. a. V. Diwan, «Interventions to promote household waste segregation: A systematic review,» *Heliyon*, Vols. %1 de

%210-2, p. e24332, 2024.

- [31] D. Knickmeyer, «Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas,» *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- [32] . A. a. M. A. R. a. C. S. a. D. K. S. a. P. P. a. S. Murugan, «{Smart Composting Solutions for Organic Waste Management and Soil Enrichment in Agriculture with IoT and Gradient Boosting,» *2024 4th International Conference on Sustainable Expert Systems (ICSES)*, pp. 339-345, 2024.
- [33] U. E. S. a. J. J. a. D. U. a. C. H. a. B. A. a. Y. T. a. M. H. a. N. Tadachika, «Beyond Composting Basics: A Sustainable Development Goals—Oriented Strategic Guidance to IoT Integration for Composting in Modern Urban Ecosystems,» *Sustainability*, 2024.
- [34] M. A. a. O. S. O. a. O. B. a. O. Odeyemi, «Waste Management through Composting: Challenges and Potentials,» *Sustainability*, 2020.
- [35] R. T. a. Y. L. a. R. M. a. L. Z. a. Y. L. a. G. L. a. D. W. a. J. L. a. Q. L. a. J. Yuan, «Effect of moisture content, aeration rate, and C/N on maturity and gaseous emissions during kitchen waste rapid composting,» *Journal of environmental managemen*, vol. 326 Pt A, p. 116662, 2022.
- [36] S. A. a. K. S. R. a. M. R. a. P. S. a. M. S. M. a. N. D. a. S. C. a. S. C. a. S. S. a. M. Channumsin, «Selection of Waste to Energy Technologies for Municipal Solid Waste Management—Towards Achieving Sustainable Development Goals,» *Sustainability*, 2022.
- [37] R. Z. a. G. S. a. G. B. a. K. M. a. M. A. a. M. G. Kozhanov, «Problems of the effectiveness of the implementation of international agreements in the field of waste management: the study of the experience of Kazakhstan in the context of the applicability of European legal practices,» *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, vol. 22, pp. 177-

199, 2021.

- [38] K. P. a. M. A. A. a. N. A. N. a. N. M.-F. a. F. P.-H. a. L. H.-W. a. Y. K.-L. a. L.J. a. M. G. C.-Y. a. L. J.-Y. a. B. G. a. S. A. Razak, «Food Waste Composting and Microbial Community Structure Profiling,» vol. 8, p. 723, 2020.
- [39] I. F. a. A. F. a. L. R. a. A. C. a. P. D. D. a. B. N. a. A. P. a. I. Romano, «Thermophilic bacteria and their thermozyms in composting processes: a review,» *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, vol. 10, pp. 1-22, 2023.
- [40] Y. Z. a. R. X. a. T. K. a. X. K. a. B. Y. a. F. M. a. T. L. a. Z. Z. a. M. K. Awasthi, «Recent trends and advances in composting and vermicomposting technologies: A review,» *Bioresource technology*, p. 127591, 2022.
- [41] E. M. a. C. B. a. L. D. a. M. B. a. C. Nicolescu, «Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements,» *Sustainability*, 2024.
- [42] M. A. a. B. S. W. a. H. B. a. M. A. Panjaitan, «Implementasi Aplikasi Pencatatan Data Magang Mahasiswa Berbasis Mobile Menggunakan Kodular Menggunakan Metode Waterfal,» *Bulletin of Computer Science Research*, 2023.
- [43] E. S. A. Sahputra, «Analysis of Waterfall and Agile Scrum Approaches in Information Technology Project Management,» *Jurnal Ekonomi Teknologi dan Bisnis (JETBIS)*, 2025.
- [44] F. N. a. K. P. a. Z. Lončarić, «Microbiological activities in the composting process : A review,» *Columella : Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 2021.
- [45] E. A. a. B. F.-B. a. L. S. a. N. B. D. a. R. Kazapoe, «A review of the principles of composting: understanding the processes, methods, merits, and demerits,» *Organic Agriculture*, vol. 12, pp. 547 - 562, 2022.

- [46] B. S. a. K. H. a. K. K.-H. a. S. O. a. H. Kaneko, «Scenario analysis of the benefit of municipal organic-waste composting over landfill, Cambodia,» *Journal of environmental management*, vol. 114, pp. 216-24, 2013.
- [47] D. L. a. J. Y. a. J. D. a. H. W. a. Y. S. a. G. Li, «Effects of carbon/nitrogen ratio and aeration rate on the sheep manure composting process and associated gaseous emissions,» *Journal of environmental management*, vol. 323, p. 116093, 2022.
- [48] F. A. A. a. M. C. a. H. S. a. P. E. Abas, «The Effect of Initial Carbon to Nitrogen Ratio on Kitchen Waste Composting Maturity,» *Sustainability*, 2023.
- [49] M. M. M. a. A. G. a. A. I. A. a. L. S. a. A. E. a. N. H. a. A. Soltan, «Internet of Things: A Comprehensive Overview on Protocols, Architectures, Technologies, Simulation Tools, and Future Direction,» *Energies*, 2023.
- [50] D. Y. P. a. K. H. a. F. P. a. M. Mumdouh, «The Internet of Things (IoT) and its Application Domains,» *International Journal of Computer Applications*, 2019.
- [51] K. E. a. H. K. a. T. A. a. A. B. a. G. A. a. A. E. a. R. Buyya, «Revisiting the internet of things: New trends, opportunities and grand challenges,» vol. 1, 2022.
- [52] G. Allmendinger, «The Internet of Things (IoT),» *Energy and Analytics*, 2020.
- [53] A. T. a. A. S. a. A. H. K. a. F. R. a. K. Shukla, «extended review on internet of things (IoT) and its characterisation,» *International journal of health sciences*, 2022.
- [54] A. R. C. F. a. i. U. i. I. o. T. (Iot), «A Reliable Communication Framework and its Use in Internet of Things (Iot),» 2018.
- [55] R. B. I. a. V. S. a. D. K. a. S. D. a. R. P. a. P. Ramakrishnan, «IoT-Based Real- Time Monitoring for Industrial Automation,» *2025 International Conference on Frontier Technologies and Solutions (ICFTS)*, pp. 1-7, 2025.

- [56] H. Z. a. R. Z. a. J. Sun, «Developing real-time IoT-based public safety alert and emergency response systems,» *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.
- [57] C. F. d. L. M. a. G. d. N. P. L. a. A. O. a. E. Droguett, «Condition-based maintenance with reinforcement learning for refrigeration systems with selected monitored features,» *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 122, p. 106067, 2023.
- [58] N. E.-s. a. Z. Z. a. S. I. K. a. M. O. M. a. M. C. a. J. Pfafferoth, «Advanced predictive maintenance and fault diagnosis strategy for enhanced HVAC efficiency in buildings,» *Applied Thermal Engineering*, 2024.
- [59] S. M. a. S. V. a. M. M. a. I. Uysal, «Time-Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments,» *Comprehensive reviews in food science and food safety*, vol. 16 4, pp. 647-667, 2017.
- [60] M. A. a. Y. Chang, «Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain,» *Food Control*, vol. 40, pp. 198-207, 2014.
- [61] D. L. a. M. C. a. G.-W. Lai, «Achieving energy savings through artificial-intelligence-assisted fault detection and diagnosis: Case study on refrigeration systems,» *Case Studies in Thermal Engineering*, 2022.
- [62] P. G. a. K. M. T. a. A. H. a. Y. G. a. S. Tassou, «State-of-the-art technologies for transcritical R744 refrigeration systems – a theoretical assessment of energy advantages for European food retail industry,» *Energy Procedia*, vol. 123, pp. 46-53, 2017.
- [63] M. M. a. K. R. a. N. Alqahtani, «Design of a Smart IoT-Based Control System for Remotely Managing Cold Storage Facilities,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, 2022.
- [64] J. R.-F. a. L. M. F.-A. a. E. F.-A. a. R. López-Luque, «Monitoring of Temperature in Retail Refrigerated Cabinets Applying IoT Over Open-Source Hardware and Software,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 20,

2020.

- [65] A. Siswoyo, «Optimization of Temperature Sensor Selection for Incubators: Real-Time Accuracy Analysis of DHT22, LM35, and DS18B20 in Controlled Environment Simulations,» *Internet of Things and Artificial Intelligence Journal*, 2025.
- [66] A. E. a. A. Kalashnikov, «Evaluating Suitability of a DS18B20 Temperature Sensor for Use in an Accurate Air Temperature Distribution Measurement Network,» *Engineering Proceedings*, 2021.
- [67] P. Bambulkar, «Arduino Based Temperature Measurement System,» *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2025.
- [68] F. Reverter, «A Tutorial on Thermal Sensors in the 200th Anniversary of the Seebeck Effect,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, pp. 22122-22132, 2021.
- [69] P. Bambulka, «Arduino Based Temperature Measurement System,» *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2025.
- [70] D. M. A. S. a. L. C. a. J. A. M. S. a. R. C. Sofia, «A Performance Analysis of Internet of Things Networking Protocols: Evaluating MQTT, CoAP, OPC UA,» *Applied Sciences*, vol. 11, p. 4879, 2021.
- [71] V. S. a. C. G.-R. a. F. A. a. C. Campo, «Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments,» *Comput. Networks*, vol. 197, p. 108338, 2021.
- [72] S. E. a. A. Y. A. a. G. S. F. a. Y. A. T. a. J. M. a. I. H. Igwe, «Developing and Comparing Protocols for Low-Latency IoT Networking,» *2025 International Conference on Machine Learning and Autonomous Systems (ICMLAS)*, pp. 1815-1821, 2025.
- [73] C. S. a. A. D. a. R. Jain, «Development of CoAP protocol for communication

in mobile robotic systems using IoT technique,» *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.

- [74] C. B. G. a. Ç. Ş. a. S. Baydere, «A Comparative Evaluation of AMQP, MQTT and HTTP Protocols Using Real-Time Public Smart City Data,» *2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, pp. 542-547, 2021.
- [75] K. A. a. D. N. R. a. R. Meiyanti, «Monitoring System for Temperature and Humidity Sensors in the Production Room Using Node-Red as the Backend and Grafana as the Fronten,» *Journal of Systems Engineering and Information Technology (JOSEIT)*, 2023.
- [76] V. A. L. S. a. J. D. N. a. L. A. a. A. M. a. G. M. a. K. T. a. C. T. a. B. C. a. J. Goodall, «A Cloud-Based Data Storage and Visualization Tool for Smart City IoT: Flood Warning as an Example Application,» *Smart Cities*, 2023.
- [77] M. G. a. S. E. F. a. A. E.-D. a. A. L. a. B. B. a. Z. B. a. I. I. a. A. Selmani, «From Data to Decisions: A Smart IoT and Cloud Approach to Environmental Monitoring,» *E3S Web of Conferences*, 2025.
- [78] E. B. U. a. N. Izzaturrahmani, «Temperature and Humidity Monitoring System Using Node-Red Based on MQTT Protocol,» *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, 2025.
- [79] M. A. R. a. M. E. N. a. A. S. Atlam, «IoT-Based Wireless Data Acquisition and Control System for Photovoltaic Module Performance Analysis,» *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 2023.
- [80] H. P. a. R. Q. a. J. R. a. F. Khairati, «Enhancing Organizational Control Through Business Intelligence: Monitoring and Automated Alerts,» *Electronic Journal of Education, Social Economics and Technology*, 2025.
- [81] M. C. a. J. C. A. a. F. G. B. a. J. B. M. a. A. C. Campis, «Development and evaluation of an intelligent IoT-based monitoring system for energy management in a commercial refrigeration system in the Colombian

- Caribbean coast,» *EUREKA: Physics and Engineering*, 2025.
- [82] M. R. Z. S. a. C. Bingham, «Model Predictive Control with Binary Quadratic Programming for the Scheduled Operation of Domestic Refrigerators,» *Energies*, 2019.
- [83] M. P.-G. a. A. L.-G. a. F. Cerdán-Cartagena, «Artificial Neural Networks as Artificial Intelligence Technique for Energy Saving in Refrigeration Systems—A Review,» *Clean Technologies*, 2023.
- [84] W. Y. a. K. K. a. E. E. a. M. Longo, «Recent Advances in Internet of Things (IoT) Infrastructures for Building Energy Systems: A Review,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, 2021.
- [85] K. K. a. A. B. a. P. S. a. S. N. a. S. K. Goudos, «Smart Refrigeration Equipment based on IoT Technology for Reducing Power Consumption,» *2022 11th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, pp. 1-4, 2022.
- [86] Y. L. a. C. W. a. Z. L. a. D. R. a. Z. Xing, «A digital twin-based integrated optimization strategy for cascade refrigeration systems to boost energy efficiency,» *Applied Thermal Engineering*, 2025.
- [87] N. A. M. Z. a. M. S. Suhaimi, «EcoGold Monitor: An IoT-Based System for Real-Time Vermicompost Monitoring,» *Open International Journal of Informatics*, 2025.
- [88] U. E. S. a. J. J. a. D. U. a. C. H. a. B. A. a. Y. T. a. M. H. a. N. Tadachika, «Beyond Composting Basics: A Sustainable Development Goals—Oriented Strategic Guidance to IoT Integration for Composting in Modern Urban Ecosystems,» *Sustainability*, 2024.
- [89] G. J. a. R. A. S. a. V. V. a. D. M., «Real-time IoT-enabled Monitoring and WebGIS-based Visualization of Soil Moisture, Temperature, and Humidity,» *Asian Journal of Current Research*, 2025.
- [90] J. J. P.-S. a. A. Ruiz-Canales, «Data Collection and Remote Control of an

- IoT Electronic Nose Using Web Services and the MQTT Protocol,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 25, 2025.
- [91] S.-Y. W. a. Y.-J. H. a. S.-J. H. a. W.-T. Sung, «A Sensor Network Web Platform Based on WoT Technology,» *Comput. Syst. Sci. Eng.*, vol. 38, pp. 197-214, 2021.
- [92] K. H. a. M. S. a. A. H. a. M. R. S. a. K. Alaghbari, «An Aggregated Data Integration Approach to the Web and Cloud Platforms through a Modular REST- Based OPC UA Middleware,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, 2022.
- [93] M. S. a. M. B. a. I. A. a. J. E. G. a. B. A. A. a. M. Z. C. a. J. R.-A. a. A. R.-M. aO. Aghzout, «A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan,» *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 23, 2023.
- [94] R. I. a. C. R. a. S. R. a. C. J. G. a. V. Rusu, «Usability Heuristics for Touchscreen-based Mobile Device,» *2012 Ninth International Conference on Information Technology - New Generations*, pp. 662-667, 2012.
- [95] «Design Quality Criteria for Smartphone Applications Interface and its Impact on User Experience and Usability},,» *{International Design Journal, 2023.*
- [96] N. A. a. S. F. R. B. a. M. T. Rosyadi, «Implementation of LoRaWAN Routing Protocol in Wireless Sensor Network for Smart Compost System with LoRa Communication Module,» *2023 11th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, pp. 1-5, 2023.
- [97] D. Bansal, «Developing Dynamic Web Applications with PHP and MySQL,» *International Journal of Inventions in Engineering & Science Technology*, 2025.
- [98] R. S. a. W. W. a. J. J. a. S. W. Suciwati, «{Monitoring Data Perubahan Suhu, CO dan CO2 Secara Real Time Menggunakan MySQL,» *ournal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2020.

- [99] i. W. a. C. L. a. J. X. a. J. Feng, «The Design of Data Acquisition and Management Based on the STM32 and WiFi},» *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*, 2020.
- [100] O. M. I. T. a. S. M. R. a. S. B. a. K. B. A. a. E. U. a. M. S. Mustafa, «ANALYSIS OF QUERY RESTRUCTURIZATION MODELS IN OPTIMIZING DATA EXECUTION RESPONSE TIME ON MYSQL PHP 7.2.27 RELATIONAL DATABASES,» *Jurnal Komputer dan Informatika*, 2021.
- [101] M. R. a. M. N. a. B. Khosla, «Microbes as vital additives for solid waste composting,» *Heliyon*, vol. 6, 2020.
- [102] S. S. G. a. L. L. R. A. a. C. C. a. V. H. T. B. a. G. F. a. R. S. a. M. P. a. F. A. R. a. E. R. a. R. C. a. J. Dória, «Dynamics of microbiota and physicochemical characterization of food waste in a new type of composter,» vol. 6, 2022.
- [103] M. Z. a. A. Z. a. A. S. A. a. S. M. a. K. S. a. Y. S. a. M. Hassan, «Enhancement of Agro-Industrial Waste Composting Process via the Microbial Inoculation: A Brief Review,» *Agronomy*, 2022.
- [104] E. A. a. B. F.-B. a. L. S. a. N. B. D. a. R. Kazapoe, «A review of the principles of composting: understanding the processes, methods, merits, and demerits,» *Organic Agriculture*, vol. 12, pp. 547 - 562, 2022.
- [105] M. S. a. B. A. a. R. Dastres, «Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review,» *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2023.
- [106] X. M. a. M. Antwi-Afari, «The applications of Internet of Things (IoT) in industrial management: a science mapping review,» *International Journal of Production Research*, vol. 62, pp. 1928 - 1952, 2023.
- [107] I. K. a. M. Javaid, «Role of Internet of Things (IoT) in Adoption of Industry 4.0,» *Journal of Industrial Integration and Management*, 2021.
- [108] A. R. a. T. S. a. M. K. a. S. F. a. S. A. O. B. a. H. Choudhary, «A Revisit of


Internet of Things Technologies for Monitoring and Control Strategies in Smart Agriculture,» *Agronomy*, 2022.

- [109] H. A. a. I. S. Bajwa, «An IoT-Based Real-Time Intelligent Monitoring and Notification System of Cold Storage,» *IEEE Access*, vol. 9, pp. 38236-38253, 2021.
- [110] S. A. a. P. S. P. a. P. C. Vashisth, «IoT-Driven Cold Chain Management for Real-Time Monitoring and Alerts for Perishable Goods,» *2025 International Conference on Pervasive Computational Technologies (ICPCT)*, pp. 1008-1012, 2025.
- [111] M. C. a. J. C. A. a. F. G. B. a. J. B. M. a. A. C. Campis, «Development and evaluation of an intelligent IoT-based monitoring system for energy management in a commercial refrigeration system in the Colombian Caribbean coast,» *EUREKA: Physics and Engineering*, 2025.
- [112] M. M. a. S. J. a. A. S. a. S. J. a. E. Rahpeyma, «A high-resolution daily experimental performance evaluation of a large-scale industrial vapor-compression refrigeration system based on real-time IoT data monitoring technology,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, p. 101427, 2021.
- [113] N. A. M. Z. a. M. S. Suhaimi, «EcoGold Monitor: An IoT-Based System for Real-Time Vermicompost Monitoring,» *Open International Journal of Informatics*, 2025.
- [114] F. R. d. A. N. a. J. E. F. d. O. a. R. G. D. d. S. a. A. T. a. A. A. V. O. a. J. A. P. d.C. a. A. C. d. S. a. P. Michima, «Statistical Analysis of Temperature Sensors Applied to a Biological Material Transport System: Challenges, Discrepancies, and a Proposed Monitoring Methodology,» *Processes*, 2025.
- [115] C. A. C. a. L. L. a. J. P. C. B. a. T. Y. a. E. J. S. a. N. B. a. P. G. a. C. L. B. a. M.A. a. E. B. a. W. S. a. K. S. J. P. a. A. Claudia, «Two-Electrode Screen-Printed pH Sensors for Monitoring Soil and Other Growing Media,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 25, pp. 18692-18701, 2025.

- [116] G. A. a. C. P. a. H. C. a. A. Mouazen, «owards the implementation of ISFET sensors for in-situ and real-time chemical analyses in soils: A practical review,» *Comput. Electron. Agric.*, vol. 209, p. 107828, 2023.
- [117] K. M. S. M. B. a. F. G. L. a. C. T. I. a. M. S. a. H. V. a. M. G. d. Silva, «Photoacoustic-based sensor for real-time monitoring of methane and nitrous oxide in composting,» *Sensors and Actuators B-chemical*, p. 129974, 2021.
- [118] K. M. R. A. a. S. Mondal, «Ammonia & CO₂ Gas Detection of Poultry Farms and Compost Plants by Low-Cost Smart Sensing System,» *2023 26th International Conference on Computer and Information Technology (ICIT)*, pp. 1-6, 2023.
- [119] P. M. a. ´. C. ^ . e. a. L. L. C. G. a. R. B. M. a. L. B. C. ^ . e. a. T. L. a. R. M. A. a.A. Y. a. F. S. Marques, «Moisture content monitoring in industrial-scale composting systems using low-cost sensor-based machine learning techniques,» *Bioresource technology*, p. 127456, 2022.

ANEXOS

Anexo 1: Algoritmo de lógica difusa

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</p> <p>FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES</p> <p>TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN</p>
<p>LÓGICA DIFUSA</p>	
<pre>from typing import Any, Dict, Optional def evaluar_recomendacion(temp: Any, hum: Any, gas_ch4: Any, cfg: Optional[Dict[str, Any]] = None,) -> str: try: t = float(temp or 0.0) h = float(hum or 0.0) c = float(gas_ch4 or 0.0) except Exception: t, h, c = 0.0, 0.0, 0.0</pre>	

```
cfg = cfg or {}
```

```
def _get_float(name: str, default: float) -> float:
```

```
    try:
```

```
        return float(cfg.get(name, default))
```

```
    except Exception:
```

```
        return float(default)
```

```
temp_min_cfg = _get_float("tempMin", 50.0)
```

```
temp_max_cfg = _get_float("tempMax", 65.0)
```

```
hum_min_pct = _get_float("humMin", 40.0)
```

```
hum_max_pct = _get_float("humMax", 70.0)
```

```
gas_umbral = _get_float("gasUmbral", 800.0)
```

```
hum_seca_adc = max(0.0, min(1000.0, hum_min_pct * 10.0))
```

```
hum_humeda_adc = max(0.0, min(1000.0, hum_max_pct * 10.0))
```

```
if hum_humeda_adc <= hum_seca_adc:
```

```
    hum_humeda_adc = min(1000.0, hum_seca_adc + 100.0)
```

```
def _fallback(t_val: float, h_val: float, c_val: float) -> str:
```

```
    if c_val >= gas_umbral or t_val >= temp_max_cfg:
```

```
        return "ventilar"
```

```

if h_val < hum_seca_adc:
    return "material húmedo"

if h_val > hum_humeda_adc:
    return "material seco"

if temp_min_cfg <= t_val <= temp_max_cfg:
    return "voltear"

return "voltear"

try:
    import numpy as np
    import skfuzzy as fuzz
    from skfuzzy import control as ctrl

except Exception:
    return _fallback(t, h, c)

try:
    temperatura = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 81, 1), "temperatura")
    humedad = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 1001, 1), "humedad")
    ch4 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 2001, 1), "ch4")
    accion = ctrl.Consequent(np.arange(0, 101, 1), "accion")

    temp_mid = (temp_min_cfg + temp_max_cfg) / 2.0
    temperatura["baja"] = fuzz.trimf(temperatura.universe, [0.0, 0.0, temp_min_cfg])
    temperatura["media"] = fuzz.trimf(temperatura.universe, [temp_min_cfg,

```

```

temp_mid, temp_max_cfg])

    temperatura["alta"] = fuzz.trimf(temperatura.universe, [temp_max_cfg, 80.0,
80.0])

    hum_mid = (hum_seca_adc + hum_humeda_adc) / 2.0

    humedad["seca"] = fuzz.trimf(humedad.universe, [0.0, 0.0, hum_seca_adc])

    humedad["optima"] = fuzz.trimf(humedad.universe, [hum_seca_adc, hum_mid,
hum_humeda_adc])

    humedad["humeda"] = fuzz.trimf(humedad.universe, [hum_humeda_adc, 1000.0,
1000.0])

    gas_bajo_max = max(100.0, gas_umbral * 0.5)

    gas_medio_min = max(0.0, gas_umbral * 0.4)

    gas_medio_max = min(2000.0, gas_umbral * 1.6)

    gas_alto_min = min(2000.0, gas_umbral * 1.5)

    ch4["bajo"] = fuzz.trimf(ch4.universe, [0.0, 0.0, gas_bajo_max])

    ch4["medio"] = fuzz.trimf(ch4.universe, [gas_medio_min, gas_umbral,
gas_medio_max])

    ch4["alto"] = fuzz.trimf(ch4.universe, [gas_alto_min, 2000.0, 2000.0])

    accion["ventilar"] = fuzz.trimf(accion.universe, [0.0, 0.0, 33.0])

    accion["voltar"] = fuzz.trimf(accion.universe, [25.0, 50.0, 75.0])

    accion["hidratar"] = fuzz.trimf(accion.universe, [67.0, 100.0, 100.0])

```

```

reglas = [
    ctrl.Rule(temperatura["media"] & humedad["optima"] & ch4["bajo"],
accion["voltear"]),
    ctrl.Rule(temperatura["media"] & humedad["optima"] & ch4["medio"],
accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["media"] & humedad["optima"] & ch4["alto"],
accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["baja"] & humedad["seca"], accion["hidratar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["baja"] & humedad["humeda"], accion["voltear"]),
    ctrl.Rule(temperatura["baja"] & ch4["alto"], accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["alta"] & humedad["seca"], accion["hidratar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["alta"] & humedad["optima"] & ch4["bajo"],
accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["alta"] & humedad["optima"] & ch4["alto"],
accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["alta"] & humedad["humeda"], accion["voltear"]),
    ctrl.Rule(ch4["alto"] & humedad["seca"], accion["hidratar"]),
    ctrl.Rule(ch4["alto"] & humedad["humeda"], accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(ch4["medio"] & temperatura["alta"], accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["alta"] & humedad["seca"] & ch4["alto"],
accion["ventilar"]),
    ctrl.Rule(temperatura["baja"] & humedad["humeda"] & ch4["medio"],
accion["voltear"]),
]

```

```
sistema_ctrl = ctrl.ControlSystem(reglas)

sistema = ctrl.ControlSystemSimulation(sistema_ctrl)

sistema.input["temperatura"] = t
sistema.input["humedad"] = h
sistema.input["ch4"] = c

sistema.compute()

y = float(sistema.output["accion"])

if y <= 33.0:
    return "ventilar"
elif y <= 66.0:
    return "voltear"
else:
    return "material húmedo"

except Exception:
    return _fallback(t, h, c)
```

Anexo 2: Entrevista realizada a especialista en genética de semillas



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN

ENTREVISTA

Nombre: Lisbeth Paola Quirumbay Escobar

¿Cómo describiría el papel del compost en el desarrollo de las plantas?

El compost cumple un rol fundamental como modulador del microambiente en el que germina la semilla. Su aporte de nutrientes, su capacidad de mejorar la aireación y la estructura del sustrato, así como su influencia positiva sobre la retención de humedad favorecen directamente el vigor y la expresión fisiológica de la semilla. Aunque no altera la genética, sí influye en cómo la planta se va desarrollando con el tiempo.

¿Qué características considera usted que debe tener un compost de buena calidad para no afectar de manera negativa la germinación?

Un compost adecuado para germinación debe presentar baja conductividad eléctrica, pH estable, estar completamente maduro y libre de compuestos fitotóxicos.

Asimismo, debe tener un olor a tierra fresca y mantener una temperatura interna baja, indicando que el proceso de degradación ha finalizado.

¿Cuáles son, según su criterio, las etapas más críticas del proceso de compostaje?

Las etapas más críticas son la fase termófila, la transición hacia la fase mesófila y la maduración. Cada una demanda condiciones adecuadas de temperatura y aireación; cualquier desbalance puede producir pérdida de nutrientes, proliferación de microorganismos no deseados o compost inmaduro.

<p>¿Qué variables ambientales considera más importantes controlar durante el proceso?</p> <p>¿Por qué?</p>
<p>La temperatura, la humedad, la oxigenación, el pH y los gases generados son importantes. Estas variables permiten identificar la actividad microbológica, detectar procesos anaeróbicos y garantizar una descomposición eficiente. Mantenerlos en rangos óptimos asegura un compost estable y apto para uso agrícola.</p>
<p>¿Cómo influye la microbiología del compost en la estructura genética o en el rendimiento fisiológico de las semillas?</p>
<p>Si bien la microbiología no modifica la estructura genética, sí influye en la expresión fisiológica de la semilla. Microorganismos beneficiosos pueden estimular el crecimiento radicular, mejorar la absorción de nutrientes y aumentar el vigor general de la plántula mediante compuestos.</p>
<p>¿Cree que ciertos microorganismos o condiciones del compost pueden favorecer o perjudicar el desarrollo de plántulas?</p>
<p>Los microorganismos como Trichoderma, Bacillus y Pseudomonas que son los principales, favorecen el desarrollo mientras que condiciones anaeróbicas o la presencia de hongos patógenos como Rhizoctonia o Pythium pueden perjudicar la germinación y generar enfermedades en plántulas.</p>
<p>En su opinión, ¿qué tan importante es mantener un monitoreo constante del compostaje en comparación con métodos tradicionales?</p>
<p>El monitoreo constante se lo considera más eficiente que los métodos tradicionales. Un monitoreo permite detectar fallos de manera temprana, garantizar condiciones aeróbicas y evitar errores que deterioren el proceso de compostaje.</p>
<p>¿Ha identificado problemas comunes derivados de la falta de control de variables durante el compostaje?</p>

<p>Entre los problemas más frecuentes están la pérdida de nitrógeno por sobrecalentamiento, la generación de malos olores, la proliferación de microorganismos patógenos y la obtención de compost inmaduro o fitotóxico.</p>
<p>¿Considera útil la implementación de sistemas tecnológicos —sensores IoT, monitoreo en tiempo real y algoritmos— para mejorar la calidad del compost? ¿Por qué?</p>
<p>Los sistemas tecnológicos permiten controlar de forma precisa las variables del compostaje, reducen la variabilidad del proceso y favorecen la producción de compost uniforme y estable. Además, generan datos valiosos para optimizar ciclos futuros.</p>
<p>Si pudiera elegir, ¿qué variables serían prioritarias para monitorear en un sistema automatizado de compostaje?</p>
<p>Las variables más importantes serían la temperatura, humedad, oxigenación, niveles de CO₂, pH y, en etapas finales, la conductividad eléctrica. Estos parámetros determinan la calidad, estabilidad y madurez del compost.</p>
<p>¿Cree que un sistema que tome decisiones automáticas basado en condiciones medidas podría mejorar la calidad final del compost?</p>
<p>La automatización permite intervenir solo cuando es necesario, optimizando aireación, hidratación y volteo. Esto mantiene las condiciones ideales para la actividad microbiana benéfica, reduce tiempos y mejora notablemente la calidad del producto final.</p>
<p>¿Qué recomendaciones daría para garantizar que un compost automatizado sea apto para producir semillas vigorosas?</p>

Recomiendo asegurar la madurez completa del compost, mantener una relación C/N adecuada, evitar temperaturas excesivas prolongadas, garantizar una aireación constante y realizar un periodo de curado suficiente. Asimismo, es importante verificar parámetros finales como conductividad eléctrica, pH y presencia de microorganismos beneficiosos antes de usarlo como sustrato para germinación.