



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“SISTEMA IOT DE MONITOREO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE
GANADO BOVINO EN LA COMUNIDAD DE GUANANGUICHO SUR
DEL CANTÓN SAN PEDRO DE HUACA”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Ingeniero en
Telecomunicaciones

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Soraya Pamela Imbaquingo Carlosama

DIRECTOR:

MSc. Carlos Alberto Vásquez Ayala

Ibarra – Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401860366		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Imbaquingo Carlosama Soraya Pamela		
DIRECCIÓN:	Huaca-Carchi		
EMAIL:	spimbaquingoc@utn.edu.ec / soraya200215@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0989392942

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA IOT DE MONITOREO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO BOVINO EN LA COMUNIDAD DE GUANANGUICHO SUR DEL CANTÓN SAN PEDRO DE HUACA
AUTOR (ES):	IMBAQUINGO CARLOSAMA SORAYA PAMELA
FECHA: DD/MM/AAAA	06/02/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
ASESOR / DIRECTOR	MSC. LUIS EDILBERTO SUÁREZ ZAMBRANO / MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de febrero. de 2026.

EL AUTOR:

Imbaquingo Carlosama Soraya Pamela



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 06 de febrero de 2026

ING. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA. MSC

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

f)

MSC. Carlos Alberto Vásquez Ayala.

C.C.: 1002424982

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre, Nancy Verónica Carlosama Muñoz, quien, con su amor incondicional, paciencia, apoyo y sacrificio constante ha sido el pilar fundamental en cada una de las etapas de mi vida. Gracias por nunca dejarme sola, incluso en los momentos más difíciles, por creer en mí cuando yo dudaba y por impulsarme siempre a seguir adelante. Su fortaleza, dedicación y entrega han sido la base de todos mis logros, y mi mayor inspiración para no rendirme.

De igual manera, dedico este trabajo a mi padre, Milton Iván Imbaquingo Huera, quien, con su ejemplo de vida, sus consejos y valores me ha impulsado a ser una mejor persona cada día. Gracias por inculcarme la importancia del esfuerzo, la disciplina y la superación personal, enseñándome a competir conmigo misma para crecer y mejorar constantemente. Su apoyo y guía han sido fundamentales en mi formación personal y académica.

Este logro es de ustedes, por todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí.

Imbaquingo Carlosama Soraya Pamela

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta importante etapa de mi vida académica.

A mis padres, por su amor incondicional, esfuerzo constante y sacrificios realizados a lo largo de mi formación, por creer en mí en todo momento y ser el pilar fundamental que me impulsó a no rendirme ante las dificultades.

De manera especial, expreso mi profundo agradecimiento a mi director de tesis, MSc. Carlos Vásquez, quien me brindó valiosas enseñanzas no solo en el ámbito académico, sino también en el aspecto humano, aportando significativamente a mi formación profesional y personal.

Asimismo, agradezco a mi asesor, MSc Luis Suárez, por su acompañamiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de este proyecto de investigación, contribuyendo con sus conocimientos y experiencia para la correcta culminación de este.

De igual manera, extiendo mi agradecimiento a MSc Jaime Michilena, quien, a través de los conocimientos impartidos, el esfuerzo y la dedicación demostrados en cada clase, inculcó en mí la constancia, el compromiso y la disciplina necesarios para mi formación académica y profesional.

Finalmente, agradezco a mis compañeros, quienes con el paso del tiempo se convirtieron en amigos, haciendo de esta etapa universitaria una experiencia inolvidable, llena de aprendizajes, esfuerzo compartido y momentos que quedarán para siempre en mi memoria.

Imbaquingo Carlosama Soraya Pamela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO.....	6
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN.....	xix
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	1
1.1 Tema. 1	
1.2 Problema.....	1
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Alcance.....	5
1.5 Justificación.....	11
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	13
2.1 Contaminación Ambiental.....	13
2.1.1 Clasificación de los contaminantes.....	14
2.1.2 Tipología de Contaminación.....	15
2.2 Residuos Sólidos.....	17
2.2.1 Clasificación de los Residuos de acuerdo con su composición.....	18
2.3 Abono Orgánico	20
2.3.1 Propiedades de los abonos orgánicos.....	21
2.3.2 Clasificación de los abonos orgánicos	22
2.4 Internet de las Cosas	24

2.4.1	Definición	24
2.4.2	Arquitectura IoT.....	24
2.4.3	Capa WSN:	26
2.4.4	Componentes.....	26
2.5	Aplicaciones de IoT en la Gestión de Residuos Orgánicos	27
2.5.1	Impacto ambiental.....	28
2.5.2	Transformación de Residuos en Recursos	28
2.6	Aplicaciones de IoT en la Ganadería.....	30
2.6.1	IoT para la Monitorización de la Salud Animal.....	31
2.6.2	Gestión de Alimentación y Producción	31
2.6.3	Control de Entorno en Establos	32
2.6.4	Geolocalización y Seguridad del Ganado	32
2.7	Algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN)	33
2.7.1	Definición del Algoritmo KNN	33
2.7.2	Aplicaciones de KNN en IoT.....	34
2.7.3	Ventajas y Limitaciones del Algoritmo KNN	36
CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA PROPUESTA.....		39
3.1	Metodología.....	39
3.2	Análisis	40
3.2.1	Situación Actual.....	40
3.2.2	Principal Actividad Económica	42
3.2.3	Análisis del uso de los suelos.....	43
3.3	Requerimientos	44
3.3.1	Propósito del sistema	45
3.3.2	Variables críticas de monitoreo en residuos bovinos.....	45

3.3.3	Determinación de Stakeholders	48
3.3.4	Nomenclatura de los requerimientos	49
3.3.5	Requerimientos de Stakeholders.....	51
3.3.6	Requerimientos del Sistema.....	54
3.3.7	Requerimientos de Arquitectura	57
3.3.8	Selección de Hardware	61
3.3.9	Selección de Software.....	77
3.4	Diseño 84	
3.4.1	Diagrama de bloques general del sistema.....	84
CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....		16
4.1	Casos de Pruebas	16
4.1.1	Test Eléctrico	16
4.1.2	Test de Hardware	18
4.1.3	Test de Software, Lógico	24
4.1.4	Test de Diseño.....	27
4.1.5	Test de Interfaces y Uso.....	29
	Test de Interfaces y Uso	29
4.1.6	Test de Requerimientos Físicos	31
	Test de Requerimientos Físicos	31
4.1.7	Test de Performance y Lógica de Estado.....	32
	Test de Performance y Lógica de Estado	32
4.1.8	Test de Requerimientos Operacionales.....	33
	Test de Requerimientos Operacionales	33
4.1.9	Evaluación de la fertilidad del suelo	38
Conclusiones y Recomendaciones		40

Conclusiones	40
Recomendaciones.....	41
Bibliografía	42
Anexos	46
Anexo 1: Encuesta dirigida al presidente de la Comunidad de Guananguicho Sur.....	46
Anexo 2. Encuesta dirigida a las familias de la Comunidad de Guananguicho Sur, para identificar cuantas de ellas son propietarias de ganado Bovino y tienen un establo ganadero. 46	
Anexo 3. Encuesta a Familias Ganaderas de la Comunidad Guananguicho Sur.	47
Anexo 4 Resultado de la encuesta a las Familias Ganaderas.....	50
Anexo 5 Código de los sensores conectados al Arduino Mega	58
Anexo 6 Código del Micro procesador ESP32	65
Anexo 7 Código de entrenamiento del Algoritmo	70
Anexo 8 Aplicación desarrollada en APP Inventor	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problema.....	3
Figura 2. Arquitectura del sistema IoT	8
Figura 3 Contaminación Ambiental.....	14
Figura 4. Gestión de los recursos sólidos	17
Figura 5. Estructura de un compostaje.....	21
Figura 6.. Arquitectura IoT	25
Figura 7 Proceso de Aprovechamiento de Residuos del Ganado Bovino para la Producción de Abono Orgánico.....	30
Figura 8. Metodología en Cascada	39
Figura 9. Ubicación Geográfica de Guananguicho Sur	41
Figura 10. Mapa de uso de suelo del cantón San Pedro de Huaca	43
Figura 11. Área del terreno de aplicación.....	44
Figura 12 Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema	84
Figura 13 Arquitectura del sistema IOT	86
Figura 14 Diagrama de bloques de los sensores del sistema IoT	86
Figura 15 Declaración de los pines de los sensores.....	88
Figura 16 Lectura de los sensores de temperatura y humedad	88
Figura 17 Lectura de valores de pH, metano, temperatura y humedad del ambiente.	89
Figura 18 Diagrama de conexión de los sensores con la tarjeta de desarrollo.	90
Figura 19 Diagrama de flujo del proceso de lectura y validación de los sensores.	1
Figura 20 Diagrama de la capa de red y flujo de procesamiento de datos.	1
Figura21 Configuración de pines y comunicación serial en el programa.....	2
Figura 22 Código de envío de datos mediante protocolo HTTP POST.....	3

Figura 23 Diagrama de Conexión UART para Gateway ESP32 - Arduino Mega Pro Mini.....	4
Figura 24 Diagrama de la capa de servicio y clasificación con KNN.	5
Figura 25 Código de clasificación del nivel de viabilidad.....	6
Figura 26 Evaluación del mejor valor de k en el algoritmo KNN	7
Figura 27 Despliegue del sistema IoT en la plataforma Render.....	8
Figura 28 Interfaz de visualización de datos en tiempo real del sistema IoT	8
Figura 29 Visualización gráfica del historial de variables ambientales.....	9
Figura 30 Diagrama funcional de la capa de aplicación del sistema IoT	10
Figura 31 Diagrama de flujo del proceso de clasificación de viabilidad.....	11
Figura 32 Interfaz de la aplicación móvil para visualización de variables y diagnóstico	12
Figura 33 Sensor de Humedad al contacto	13
Figura 34 Limpieza del Sensor de PH	14
Figura 35 Limpieza del sensor PT100 (Sensor de temperatura).....	15
Figura 36 Medición de la salida de la fuente de Poder.....	17
Figura 37 Valores en la Pantalla LCD, conexiones internas del Circuito	18
Figura 38 Instalación del sensor de Gas, humedad y temperatura ambiente.....	20
Figura 39 Instalación del sensor de PH	20
Figura 40 Instalación de los sensores de temperatura al contacto	21
Figura 41 Instalación de los sensores de humedad.....	22
Figura 42: Ubicación de los sensores de humedad dentro de la fosa para el monitoreo de los desechos orgánicos.....	22
Figura 43 Valores de los sensores en la Pantalla LCD	23
Figura 44 Datos de los sensores enviados desde el Arduino Mega Pro Mini.....	23

Figura 45 Comunicación de Red	25
Figura 46 Registro de los valores en la base de datos	26
Figura 47 Conexión al punto de acceso desde el ESP32	26
Figura 48 Sistema instalado en el establo ganadero.	28
Figura 49 Sensores instalados con protección de tubo PVC	28
Figura 50 Aplicación Web para el usuario	30
Figura 51 Aplicación móvil para el usuario.....	30
Figura 52 Valores de los sensores del Sistema IoT	35
Figura 53 Caso 1: Muy viable.....	36
Figura 54 Caso 2: Viable	37
Figura 55 Caso 3: Poco Viable	37
Figura 56 Comparación del desarrollo del pasto con y sin aplicación de biol	39
Figura 57 Pasto luego de ser aplicado el biol	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de la composición química de diferentes tipos de estiércol.	35
Tabla 2. Tabla de los umbrales de los valores de los datos de los sensores.	48
Tabla 3 Stakeholders del proyecto	49
Tabla 4 Nomenclatura de los requerimientos	50
Tabla 5 Prioridad de los Requerimientos del sistema.	50
Tabla 6 Requerimientos de stakeholders	53
Tabla 7 Requerimientos del sistema	55
Tabla 8 Requerimientos de Arquitectura	58
Tabla 9 Especificaciones técnicas de los sensores de Gas.....	62
Tabla 10 Comparación para la elección del sensor de Gas.....	63
Tabla 11 Especificaciones técnicas del sensor de PH.....	64
Tabla 12 Selección del sensor de pH	65
Tabla 13 Especificaciones técnicas del sensor de Temperatura.	66
Tabla 14 Selección del sensor de temperatura	67
Tabla 15 Especificaciones técnicas de los sensores de temperatura de alta precisión	68
Tabla 16 Elección de los sensores de temperatura para su elección.	68
Tabla 17 Especificaciones técnicas de los sensores de humedad	70
Tabla 18 Requerimientos de los sensores de humedad.....	70
Tabla 19 Especificaciones de Microcontroladores	71
Tabla 20 Elección del Microcontrolador	72
Tabla 21 Especificaciones técnicas del módulo de comunicación.	73
Tabla 22 Selección del módulo de comunicación.....	74
Tabla 23 Consumo energético de la capa de la Capa de Sensores (Sensores y Microcontrolador Arduino Mega Pro Mini).	76

Tabla 24 Consumo energético de la capa de Red	76
Tabla 25 Comparación de los requerimientos para elección del software del nodo sensor.	78
Tabla 26 Comparación de los entornos de programación para el entrenamiento del modelo KNN.....	80
Tabla 27 Tabla de selección del software en base a los requerimientos del sistema ...	81
Tabla 28 Comparación de bases de datos: FireBase BD, MySQL y PostgreSQL.....	81
Tabla 29 Evaluación de las bases de datos según los requerimientos del sistema.....	82
Tabla 30 Rango de los valores de acuerdo con la clasificación.....	34

RESUMEN

El presente trabajo de titulación desarrolla un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo y análisis de variables ambientales, mediante la integración de sensores de pH, temperatura, humedad y gases. El objetivo del sistema es obtener datos confiables en tiempo real que permitan evaluar las condiciones del entorno y apoyar la de decisiones relacionadas con la fertilización del suelo.

El sistema IoT propuesto emplea una arquitectura compuesta por módulo encargado de adquisición de datos y una plataforma de comunicación que permite el envío de la información hacia un servidor central. Los datos recolectados son procesados, almacenados y visualizados a través de una interfaz gráfica, facilitando el seguimiento de las variables monitoreadas y la identificación de valores fuera de los rangos establecidos.

Los resultados obtenidos durante la fase de pruebas demuestran que el sistema presenta un funcionamiento adecuado, permitiendo registrar las variaciones de las variables ambientales y evidenciando su viabilidad técnica y operativa. De esta manera, el sistema IoT desarrollado constituye una herramienta eficiente y escalable para el monitoreo ambiental, aportando al uso de tecnologías emergentes en el ámbito de la ingeniería en telecomunicaciones.

Palabras clave: Internet de las Cosas, IoT, monitoreo ambiental, sensores, telecomunicaciones, adquisición de datos.

ABSTRACT

This thesis develops an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and analyzing environmental variables through the integration of pH, temperature, humidity, and gas sensors. The system's objective is to obtain reliable, real-time data that allows for the evaluation of environmental conditions and supports decision-making related to soil fertilization. The proposed IoT system employs an architecture comprised of a data acquisition module and a communication platform that enables the transmission of information to a central server. The collected data is processed, stored, and visualized through a graphical interface, facilitating the tracking of monitored variables and the identification of values outside established ranges.

The results obtained during the testing phase demonstrate that the system functions correctly, allowing for the recording of variations in environmental variables and demonstrating its technical and operational viability. Thus, the developed IoT system constitutes an efficient and scalable tool for environmental monitoring, contributing to the use of emerging technologies in the field of telecommunications engineering.

Keywords: Internet of Things, IoT, environmental monitoring, sensors, telecommunications, data acquisition.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1 Tema.

Sistema IoT de Monitoreo de Residuos Orgánicos de Ganado Bovino en la Comunidad de Guananguicho Sur del cantón San Pedro de Huaca.

1.2 Problema.

El tratamiento inadecuado de los residuos orgánicos producidos en los establos ganaderos, sobre todo el estiércol de vaca ha provocado impactos ambientales importantes en las áreas rurales del cantón San Pedro de Huaca, especialmente en la localidad de Guananguicho Sur. De igual manera, la descomposición de estos residuos sin control emite gases como amoníaco y metano, que perjudican la calidad del aire y contribuyen al cambio climático. Esto pone en riesgo la salud de las comunidades locales y el equilibrio medioambiental (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Pedro de Huaca, 2023).

La comunidad de Guananguicho Sur es conocida por su fuerte actividad ganadera, lo que la hace una de las áreas más productivas en términos de estiércol bovino en el cantón. Pese a que esta actividad es económicamente importante, no existe un método eficaz para gestionar y utilizar los desechos orgánicos generados en los establos. Por lo tanto, el estiércol se amontona sin recibir un tratamiento apropiado, lo que aumenta la contaminación del suelo y de los cuerpos acuáticos aledaños y empeora las dificultades medioambientales que ya existen en el área rural.

El río Obispo, recurso hídrico fundamental para la comunidad y áreas aledañas, atraviesa el sector de Guananguicho Sur y se ha visto afectado por la descarga indirecta de residuos orgánicos mal gestionados. La presencia de

nutrientes y sustancias nocivas derivadas de estos desechos compromete la calidad del agua, afecta la biodiversidad acuática y representa un riesgo para las actividades cotidianas de los habitantes que dependen de este recurso natural.

De igual manera, la deficiente gestión de los residuos orgánicos ha contribuido a procesos de degradación del suelo, como la salinización y la pérdida de fertilidad, lo que limita su capacidad productiva y reduce el rendimiento agrícola. Esta situación provoca que extensas áreas de tierra se encuentren subutilizadas, evidenciando un aprovechamiento ineficiente del agroecosistema y afectando la sostenibilidad económica y ambiental del cantón.

El diagnóstico del componente biofísico del cantón San Pedro de Huaca señala que el uso inadecuado del suelo en áreas agrícolas y rurales ha generado conflictos ambientales, incluyendo sobreexplotación de tierras y procesos erosivos. Estas problemáticas están estrechamente relacionadas con la falta de un manejo adecuado de los residuos orgánicos provenientes de las actividades ganaderas, lo que incide en la contaminación del suelo y de los recursos hídricos, especialmente de los ríos Huaca y Obispo. En este marco, el plan de desarrollo cantonal destaca la importancia de impulsar métodos productivos sostenibles y un empleo responsable de los recursos naturales. Por lo tanto, el proyecto de evaluación de desechos orgánicos y fabricación de fertilizantes naturales en Guananguicho Sur está en consonancia con el Objetivo 15 del Desarrollo Sostenible, ya que fomenta la restauración de la fertilidad del suelo, la disminución de la degradación medioambiental y una menor dependencia de los fertilizantes químicos.

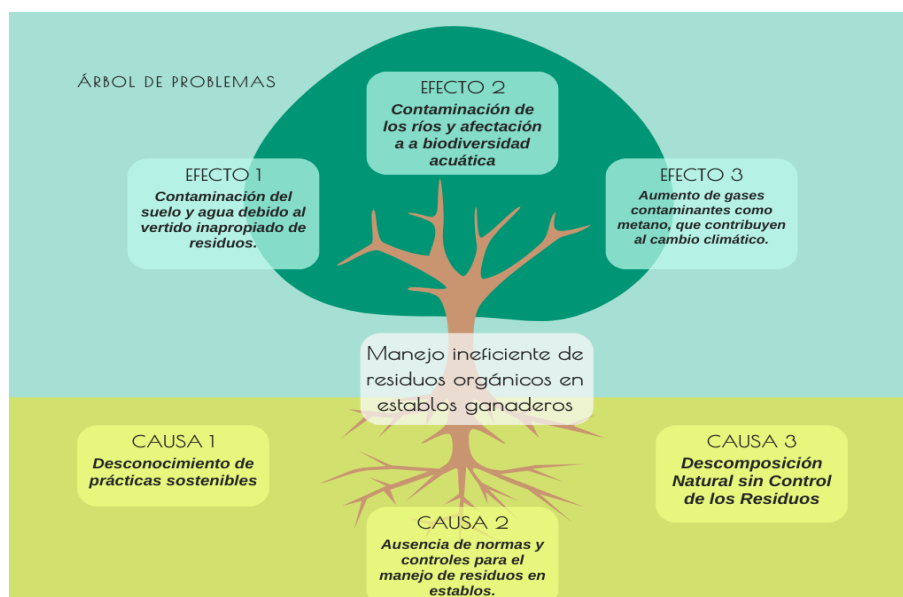
Finalmente, la aplicación de tecnologías basadas en IoT para el monitoreo de los residuos orgánicos representa una alternativa viable para optimizar su

gestión, mejorar la calidad del suelo y fortalecer la sostenibilidad ambiental en las zonas ganaderas del cantón. Estas herramientas permitirían un control más eficiente de los parámetros ambientales, reduciendo los impactos negativos asociados a la acumulación de residuos y favoreciendo un manejo más responsable de los recursos naturales (Castro et al., 2020; Song et al., 2023).

Como se muestra en la Figura 1, el árbol del problema ilustra los factores que contribuyen a la contaminación ambiental en Guananguicho Sur y sus efectos negativos en la sostenibilidad agrícola.

Figura 1.

Árbol de problema



Nota. La imagen muestra las principales consecuencias ambientales derivadas del manejo inadecuado de residuos. Fuente: Autoría

Actualmente, la comunidad carece de un sistema inteligente y tecnológico que permita monitorear de manera eficiente los residuos orgánicos generados en los establos ganaderos. No se cuenta con mecanismos para medir de forma continua y precisa parámetros críticos como la humedad, el pH, la temperatura y las emisiones

de gases, lo que dificulta la identificación de los niveles de contaminación y el estado de los residuos. La implementación de un sistema IoT para monitorear estos residuos podría ser la solución para gestionar de forma más efectiva el manejo de estiércol, reducir las emisiones nocivas y convertir estos residuos en recursos útiles, como fertilizantes naturales. Un sistema de monitoreo basado en IoT no solo permitiría mejorar la calidad del aire y el agua, sino también optimizar el uso del suelo, incrementando la fertilidad y favoreciendo la sostenibilidad ambiental en la región.

Dado que existe una considerable distancia entre los establos ganaderos en Guananguicho Sur y las residencias de los propietarios, resulta ideal implementar una tecnología de largo alcance con transmisión inalámbrica para el envío de datos. Este enfoque permitiría monitorear en tiempo real los parámetros críticos de los residuos orgánicos, como humedad, pH y emisiones de gases, sin la necesidad de estar físicamente presentes en el lugar.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema IoT para monitoreo de residuos orgánicos generados en establos de ganado bovino, evaluando sus condiciones para el uso como fertilizantes naturales, en la Comunidad de Guananguicho Sur del Cantón San Pedro de Huaca.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Describir la información bibliográfica sobre el manejo de residuos en establos de ganado bovino, enfocándose en los métodos de gestión

aplicables y en las tecnologías IoT utilizadas en sistemas de monitoreo ambiental

2. Definir los requerimientos de software y hardware necesarios para el desarrollo e implementación del sistema IoT de monitoreo, incluyendo los componentes y sensores específicos
3. Integrar un sistema IoT que permita el monitoreo en tiempo real las condiciones de los residuos orgánicos de los establos de ganado bovino
4. Evaluar la viabilidad de los residuos orgánicos como fertilizantes naturales, mediante el análisis de los datos recolectados por el sistema IoT y su impacto en la fertilidad del suelo.

1.4 Alcance.

El estudio y la creación de un sistema basado en IoT para supervisar los desechos orgánicos producidos en los establos ganaderos de Guananguicho Sur, que se encuentra en el Cantón San Pedro de Huaca, es el único objetivo de esta investigación. La tarea comprenderá la puesta en marcha de un prototipo para monitorear en tiempo real a través de sensores que calcularán variables como pH, gases (amoníaco y metano) y humedad de los desechos. Este sistema se empleará para analizar la habilidad de los desechos orgánicos de ser empleados como fertilizantes naturales. La viabilidad de los residuos para fertilizar el terreno se evaluará con base en la información adquirida a través del monitoreo. Siguiendo la

metodología en cascada, propuesta por Royce (1970), el proyecto se llevará a cabo en las siguientes fases.

En la primera fase, se realizará un análisis de la bibliografía científica relacionado con la gestión de desechos en establos para ganado bovino, en especial atención en las tecnologías del Internet de las cosas (IoT) empleadas en sistemas de control medioambiental y en los procedimientos para gestionar residuos. Los datos recopilados se utilizarán como fundamento teórico para diseñar un sistema IoT de monitoreo y analizar la factibilidad de los desechos como fertilizantes naturales. Este análisis contemplará la determinación de las prácticas óptimas para el manejo de residuos y las tecnologías más apropiadas para supervisar el estado del medio ambiente en los desechos.

En la segunda fase, se definirán los requerimientos específicos para el desarrollo e implementación del sistema IoT. Esto incluirá la selección de los componentes y sensores adecuados para el monitoreo de parámetros ambientales como la temperatura, humedad, pH, y la concentración de gases como el amoníaco y el metano en los residuos orgánicos. Además, se determinarán los requisitos de software para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos por los sensores, así como la infraestructura necesaria para la transmisión de estos datos en tiempo real. Adicionalmente, se definirán los umbrales de los sensores que permitirán determinar los rangos aceptables de los parámetros medidos. Estos umbrales serán fundamentales para la fase de evaluación de viabilidad, ya que permitirán establecer

criterios claros sobre cuándo los resultados son válidos y cumplen con los requisitos para ser considerados fertilizantes naturales.

A continuación, se detalla el funcionamiento de la arquitectura propuesta para el sistema IoT que se implementará en los establos ganaderos. Este sistema estará compuesto por diferentes capas que trabajan de manera coordinada para recolectar, procesar y presentar los datos, permitiendo una gestión eficiente de los residuos orgánicos, tal como se indica en la Figura 2.

En la capa de sensores, los sensores se colocarán en los corrales de ganado para medir indicadores como la humedad, el pH, los gases (amoníaco y metano) y la temperatura en los desechos orgánicos dentro de la capa de sensores. Estos sensores posibilitarán la vigilancia continua de las condiciones de los residuos, aportando datos fundamentales para determinar si son factibles como fertilizantes naturales. Para una gestión apropiada de los desechos, será esencial recopilar esta información en tiempo real.

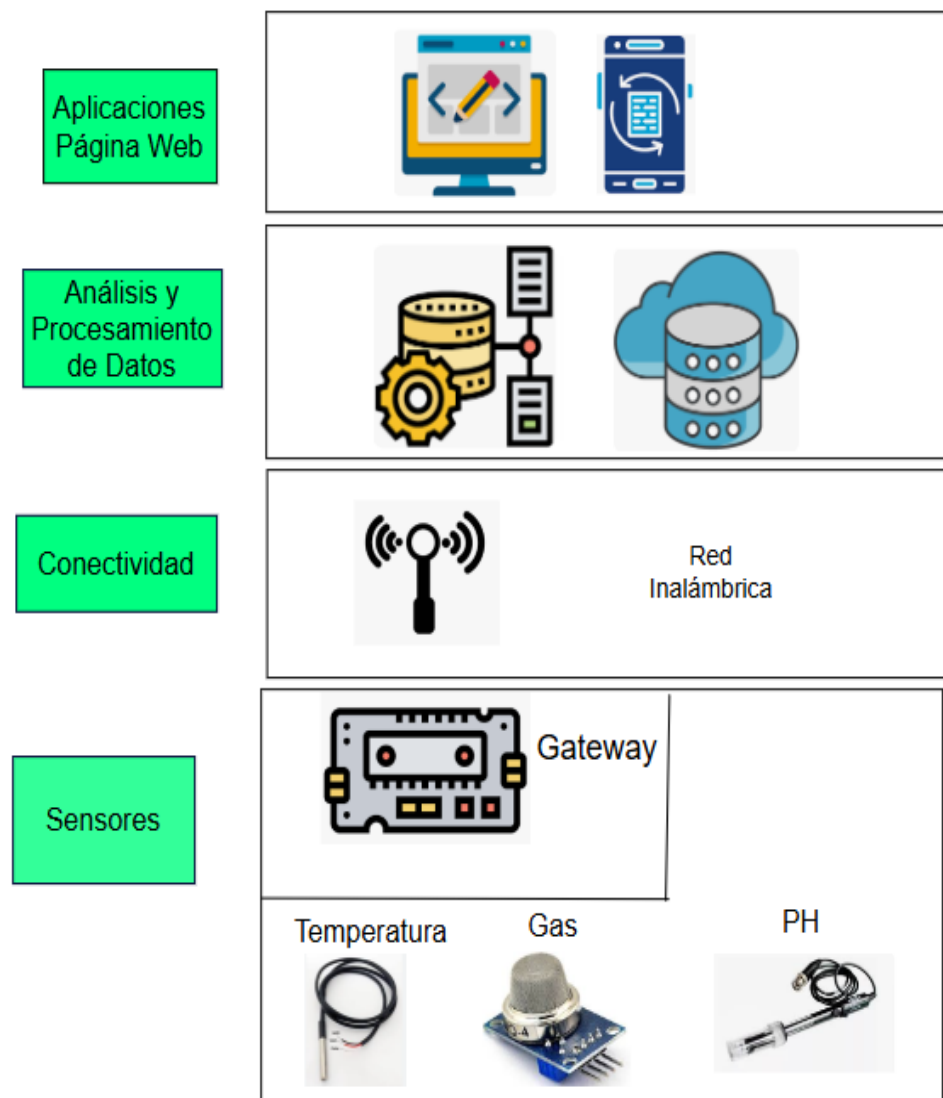
En la capa de Conectividad, los datos generados por los sensores serán transmitidos a través de una red inalámbrica, según las características del entorno y la cobertura disponible en la zona. Esta capa posibilita que los datos de los sensores sean enviados a un procesador central, el cual tiene la responsabilidad de administrar y remitir la información a la plataforma de análisis. Para asegurar que los datos fluyan de manera continua y eficiente entre los sensores y el sistema central, es esencial contar con una buena conectividad.

En la capa de procesamiento, una vez que los datos son recibidos, se procesan y analizan para determinar la viabilidad de los residuos como fertilizantes naturales. El procesamiento puede realizarse a través de una plataforma en la nube,

donde algoritmos como KNN (K-Nearest Neighbors) serán utilizados para clasificar los datos y verificar si los residuos cumplen con los parámetros adecuados para su uso agrícola. Este análisis permitirá tomar decisiones basadas en datos precisos.

Figura
Arquitectura del sistema IoT

2.



Nota. La figura ilustra el funcionamiento de las capas del sistema IoT para gestionar los residuos orgánicos, incluyendo sensores, conectividad, procesamiento y presentación de datos. Fuente: Autoría.

Finalmente, en la capa de presentación, los resultados obtenidos del procesamiento se presentarán a los usuarios, en este caso los ganaderos, a través de una aplicación que visualizará los datos en tiempo real. Esta interfaz permitirá ver las variables monitoreadas y recibir alertas; con esta herramienta los ganaderos podrán tomar decisiones informadas sobre el manejo de los residuos orgánicos.

Una vez completadas las dos fases iniciales, se procederá a la fase 3, que consiste en la implementación del sistema IoT. En esta etapa, se instalarán sensores de pH, temperatura y gases en los establos de ganado bovino de la comunidad de Guananguicho Sur para monitorear las condiciones de los residuos orgánicos. Estos sensores estarán conectados a una placa de procesamiento, la cual se integrará a una red inalámbrica para la transmisión de datos. Además, se desarrollará una aplicación que permitirá visualizar en tiempo real las variables ambientales recolectadas, proporcionando a los ganaderos información clave para la gestión eficiente de los residuos y la toma de decisiones basadas en datos. Las pruebas se realizarán en dos establos ganaderos de la comunidad de Guananguicho Sur durante un período de tiempo aproximado de tres a cuatro semanas. Este tiempo permitirá realizar la recolección de datos en condiciones reales, garantizando que el sistema esté funcionando de manera óptima y permitiendo ajustes si es necesario. Durante este período, se evaluarán las condiciones de los residuos orgánicos generados, la precisión de los sensores, la transmisión de los datos y la funcionalidad de la aplicación, con el objetivo de validar la viabilidad de los residuos como fertilizantes naturales y asegurar que el sistema proporcione datos confiables para la toma de decisiones. Durante este período, los residuos generados serán recolectados y almacenados en un estanque diseñado específicamente para este fin, donde se

llevarán a cabo mediciones detalladas de pH, temperatura y gases. Este enfoque permitirá evaluar las condiciones de los residuos orgánicos en un ambiente controlado, validando su viabilidad como fertilizantes naturales y asegurando que el sistema proporcione datos confiables para la toma de decisiones.

En la siguiente fase se analizarán los datos recolectados por el sistema IoT para evaluar la viabilidad de los residuos orgánicos como fertilizantes naturales. Se llevará a cabo un análisis de la calidad de los residuos, tomando en cuenta factores como la descomposición y el contenido de nutrientes esenciales para la fertilidad del suelo. Los resultados obtenidos permitirán determinar el impacto de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad del suelo y en el aumento de la productividad agrícola de la zona. Además, se implementará un algoritmo KNN (K-Nearest Neighbors) para procesar los datos de los sensores y evaluar de manera más precisa la validez de los resultados obtenidos. El KNN ayudará a clasificar los datos de acuerdo con patrones históricos y de referencia, y determinará si los parámetros medidos se encuentran dentro de los límites establecidos para ser considerados como fertilizantes naturales. Este algoritmo facilitará la toma de decisiones al permitir una evaluación más rápida y precisa de la viabilidad de los residuos.

El mantenimiento del sistema IoT será fundamental para garantizar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo, especialmente debido a las condiciones ambientales en las que se encuentran los sensores, como la humedad, el polvo y otros factores que pueden afectar su precisión. Este mantenimiento incluirá tareas periódicas de limpieza y calibración. Mensualmente, se realizará una

limpieza cuidadosa de los sensores y demás componentes del sistema, utilizando herramientas y productos adecuados para evitar daños o desajustes.

1.5 Justificación.

Este proyecto se enmarca principalmente en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12: Producción y Consumo Responsables, que busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. La implementación de un sistema de monitoreo IoT para la gestión eficiente de los residuos orgánicos generados en los establos ganaderos del Cantón San Pedro de Huaca busca optimizar el aprovechamiento de estos residuos como fertilizantes naturales, reduciendo la dependencia de agroquímicos y promoviendo una agricultura más sostenible y menos (Naciones Unidas, 2018).

El Cantón San Pedro de Huaca, según datos del SIGTIERRAS-MAGAP 2015, tiene una significativa extensión de su territorio destinada a cultivos y pastos, pero enfrenta problemas relacionados con el uso excesivo de agroquímicos. Esto no solo afecta la calidad de los suelos y el agua, sino que también incrementa los costos de producción, haciendo la agricultura menos competitiva y dañina para el medio ambiente. Con el objetivo de reducir estos impactos, este proyecto propone una solución tecnológica innovadora, mediante el uso de IoT, para gestionar los residuos orgánicos de manera eficiente, transformándolos en recursos útiles como fertilizantes naturales.

La gestión adecuada de estos residuos no solo reducirá la contaminación del suelo y el agua, sino que también promoverá un modelo de producción más responsable y sostenible. Además, la utilización de tecnología avanzada para monitorear los parámetros clave de los residuos (como pH, gases y humedad)

permitirá a los productores realizar un control más preciso de la calidad de los fertilizantes, contribuyendo al ciclo de producción agrícola sin depender de sustancias químicas dañinas. Este enfoque no solo optimiza la gestión de los residuos, sino que mejora la calidad de los productos agropecuarios, como la leche, generando una producción más saludable y amigable con el medio ambiente (Linares, 2014).

El impacto económico de esta solución será significativo, ya que los productores podrán reducir sus costos al disminuir el uso de agroquímicos y al mismo tiempo aumentar la rentabilidad mediante la comercialización de productos agrícolas que sean percibidos como más sostenibles y de mayor calidad. Asimismo, este proyecto ayudará a fortalecer la resiliencia ambiental de la región, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático al reducir las emisiones de gases como el metano y el amoníaco, que son producidos durante el manejo inadecuado de los residuos orgánicos.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En esta sección se desarrolla la fundamentación teórica del presente proyecto, en la cual se recopila y analiza información relevante sobre la contaminación ambiental, residuos sólidos, abono orgánico, y la implementación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de residuos orgánicos. Además, se aborda el uso de algoritmos como K-Nearest Neighbors (KNN) para la clasificación y evaluación de datos ambientales. Este marco teórico establece los conceptos fundamentales y antecedentes necesarios para comprender el contexto y sustentar el desarrollo del proyecto.

2.1 Contaminación Ambiental

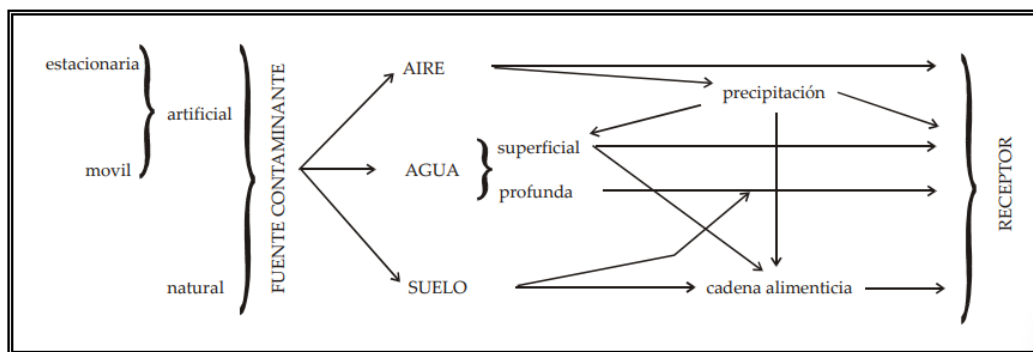
“La contaminación ambiental se define como la introducción de sustancias o energías en el medio ambiente que alteran sus condiciones normales, afectando negativamente a los seres vivos y los ecosistemas.” (Labourdette, 2023).

Los contaminantes son liberados por diversas fuentes de emisión, las cuales pueden ser de origen natural o artificial. En el caso de las fuentes artificiales, estas se dividen en estacionarias o fijas, como las industrias, y móviles, como el tráfico vehicular. Los contaminantes liberados directamente desde estas fuentes se denominan contaminantes primarios, los cuales se emiten a una tasa específica conocida como nivel de emisión, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo (Araujo, 2010).

En la Figura 3, se muestra un esquema representativo de la contaminación ambiental, donde se ilustran las diferentes fuentes de emisión y los posibles receptores del impacto ambiental.

Figura 3

Contaminación Ambiental



Nota. Esquema general del proceso de Contaminación Tomada de (Dolores, 2011)

2.1.1 Clasificación de los contaminantes.

En esta sección se aborda la importancia de identificar y clasificar los diferentes tipos de contaminantes que afectan al medio ambiente. Esta clasificación proporciona una visión general sobre su impacto y relevancia en los ecosistemas (Flagelo et al., 2020).

2.1.1.1 Contaminantes no degradables

Son sustancias que no se descomponen de manera natural o lo hacen extremadamente lento, acumulándose en el medio ambiente. Ejemplos incluyen metales pesados como el mercurio y el plomo, y compuestos sintéticos como los clorofluorocarbonos (CFC). Estos contaminantes tienen un impacto negativo severo en los ecosistemas debido a su acumulación y toxicidad prolongada. En el

caso de los metales pesados, pueden incorporarse en las cadenas alimenticias, afectando tanto a la fauna como a la salud humana (Villasante et al., 2019).

2.1.1.2 Contaminantes biodegradables

Son sustancias que pueden ser descompuestas por microorganismos u otros procesos biológicos. Ejemplos comunes incluyen residuos orgánicos y aguas residuales. Sin embargo, cuando se generan en grandes cantidades, pueden exceder la capacidad de autodepuración del ecosistema. Por ejemplo, en los cuerpos de agua, los altos niveles de materia orgánica pueden generar hipoxia y eutrofización, afectando la vida acuática(Villasante et al., 2019).

2.1.2 Tipología de Contaminación

Esta sección explora las distintas formas de contaminación presentes en el entorno, proporcionando un marco general para comprender sus características y cómo afectan a diferentes aspectos del medio ambiente.

2.1.2.1 Contaminación hídrica

La contaminación del agua se produce por la introducción de sustancias químicas, biológicas o físicas que alteran su calidad. Entre las principales fuentes se encuentran los vertidos industriales, desechos domésticos y escorrentías agrícolas cargadas de fertilizantes y pesticidas. Además, actividades como la minería pueden liberar metales pesados al agua, lo que representa un grave riesgo para los ecosistemas y la salud humana (Delgadillo, 2019)

Esta contaminación afecta tanto las aguas superficiales como subterráneas, y puede tener consecuencias irreversibles si no se toman medidas de mitigación. Por ejemplo, el exceso de nutrientes en los cuerpos de agua conduce a la proliferación de algas nocivas, un proceso conocido como eutrofización.

2.1.2.2 Contaminación atmosférica

La contaminación del aire es causada por la emisión de gases y partículas a la atmósfera, provenientes principalmente de actividades humanas como la industria, el transporte y la quema de combustibles fósiles. Los principales contaminantes atmosféricos incluyen el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre y las partículas suspendidas. Estos compuestos no solo afectan la calidad del aire, sino que también contribuyen a fenómenos globales como el cambio climático y la destrucción de la capa de ozono. Además, la exposición prolongada a contaminantes del aire puede causar enfermedades respiratorias y cardiovasculares, lo que subraya la importancia de controlar las emisiones (Villasante et al., 2019).

2.1.2.3 Contaminación del suelo

La contaminación del suelo ocurre por el uso y disposición inadecuada de residuos sólidos, productos químicos y materiales tóxicos, como metales pesados o pesticidas. Esto altera su fertilidad, afecta a la flora y fauna, y puede llegar a contaminar aguas subterráneas. Además, el suelo contaminado puede convertirse en una fuente secundaria de contaminación para otros medios, como el aire y el agua.

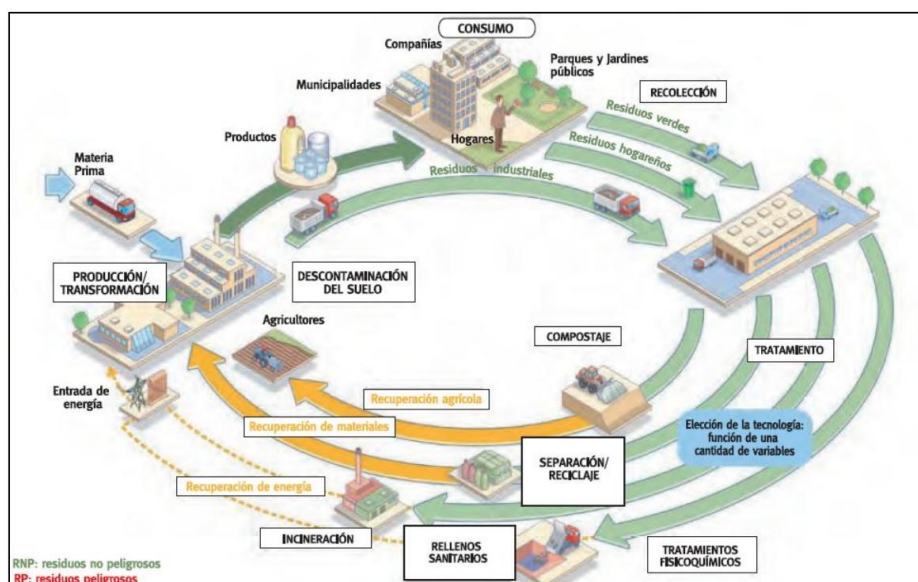
La interrelación entre los distintos tipos de contaminación resalta la necesidad de un enfoque integral para su prevención y mitigación. Una gestión adecuada de los recursos y la implementación de políticas ambientales sostenibles son esenciales para proteger el medio ambiente y garantizar la calidad de vida de las futuras generaciones (Arellana, 2005).

2.2 Residuos Sólidos

Los residuos sólidos son materiales desechados después de haber sido utilizados o producidos en diversos procesos. Su manejo adecuado es fundamental para prevenir impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana. Además, su correcta gestión está relacionada con el avance hacia una economía circular, donde los recursos se utilizan de manera eficiente y sostenible (Ojeda, 2018).

El vínculo entre el cambio climático y la gestión de residuos sólidos destaca un cambio de paradigma que actualmente se observa tanto a nivel global como regional. La gestión de los residuos sólidos se concibe ahora como parte de un ciclo de materiales racional y sostenible, como se muestra en la Figura 4, donde se representa el proceso de gestión de los recursos sólidos desde su producción hasta su recolección y tratamiento.

Figura 4.
Gestión de los recursos sólidos



Nota. La gestión de los residuos sólidos como integrante de un ciclo de materiales racional y sustentable. Tomada de (Toro et al., 2018)

Este enfoque no solo genera beneficios ambientales generales, sino que también contribuye a mitigar el cambio climático al reducir el uso de materias primas vírgenes y promover la sustitución de combustibles fósiles.

2.2.1 Clasificación de los Residuos de acuerdo con su composición

Los residuos orgánicos son aquellos de origen biológico que pueden descomponerse de manera natural. Ejemplos incluyen restos de alimentos, jardinería y subproductos ganaderos como estiércol y purines. Estos residuos tienen un alto potencial para ser reciclados mediante procesos como el compostaje y la producción de biogás. El compostaje, por ejemplo, es un proceso que permite transformar residuos orgánicos en abono de alta calidad, mejorando la estructura del suelo y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos (Burt, 2012).

En las comunidades rurales, el manejo del estiércol mediante biodigestores no solo promueve la generación de biogás, sino que también reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, los residuos de jardinería, como hojas y ramas, pueden utilizarse como abono o cobertura natural para el suelo, lo que ayuda a conservar la humedad, mejorar su fertilidad y controlar el crecimiento de malezas.

2.2.1.1 Residuos Inorgánicos

Estos residuos están compuestos por materiales no biodegradables, como plásticos, metales, vidrio y papel tratado. Aunque su descomposición puede tomar siglos, muchos de ellos son reciclables, lo que permite su reincorporación en cadenas productivas. Por ejemplo, los envases de plástico PET y el aluminio tienen un alto valor de reciclaje. En 2021, solo el 9% de los plásticos producidos

globalmente fueron reciclados, lo que subraya la necesidad de fortalecer programas de reciclaje(Garcia & Vidal, 2021).

El reciclaje de residuos inorgánicos reduce la presión sobre los vertederos y disminuye la demanda de recursos naturales. Por ejemplo, el reciclaje de aluminio consume solo el 5% de la energía requerida para producir aluminio nuevo. Además, los desechos electrónicos representan una fuente importante de materiales valiosos como cobre y oro, cuyo reciclaje es fundamental para reducir la minería y sus impactos ambientales(Samaniego et al., 2017).

2.2.1.2 Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos contienen sustancias químicas o biológicas que representan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Ejemplos incluyen baterías, aceites usados, productos químicos y desechos médicos. Su manejo requiere protocolos estrictos, incluyendo almacenamiento, transporte y disposición final adecuados para evitar contaminación.

En muchos países, la legislación exige que estos residuos sean tratados en instalaciones especializadas, como incineradoras o plantas de tratamiento. Además, se fomenta la reutilización o neutralización de ciertos componentes cuando sea posible. Las baterías, por ejemplo, contienen metales pesados como plomo y cadmio, que pueden recuperarse para fabricar nuevas baterías, reduciendo la extracción de minerales y previniendo la contaminación del suelo y el agua(Fernández, 2019).

Los desechos médicos, particularmente durante emergencias sanitarias como pandemias, requieren sistemas de gestión eficientes para evitar la propagación de enfermedades. Las tecnologías avanzadas, como la esterilización

por microondas y la incineración a alta temperatura, son esenciales para garantizar su eliminación segura.

La gestión sostenible de los residuos sólidos implica un enfoque integral que incluya educación, innovación tecnológica y políticas gubernamentales efectivas. Este enfoque no solo reduce los impactos ambientales, sino que también genera oportunidades económicas en sectores como el reciclaje y la energía renovable (Beltramini et al., 2023).

2.3 Abono Orgánico

El uso de abonos orgánicos se ha consolidado como una práctica fundamental en la agricultura sostenible, debido a sus múltiples beneficios para la estructura, fertilidad y vida del suelo. A diferencia de los fertilizantes químicos, estos abonos se obtienen a partir de materia orgánica de origen natural, como estiércol, restos de cosechas, residuos de cocina y otros subproductos biológicos, lo que los convierte en una alternativa amigable con el medio ambiente. Además, los abonos orgánicos son esenciales para mantener el equilibrio ecológico, reducir la dependencia de insumos externos y mejorar la calidad de los alimentos producidos (Toro et al., 2018).

El compostaje es un proceso esencial en la producción de abonos orgánicos, ya que aprovecha los residuos orgánicos para generar un fertilizante natural de alta calidad. A continuación, se muestra en la Figura 5 cómo se organiza un compost de manera óptima para maximizar su efectividad. En la base, se colocan restos de cocina y estiércol, materiales ricos en nitrógeno, que son esenciales para iniciar el proceso de descomposición. Por encima de estos, se aplica una capa de tierra que

actúa como un estabilizador y ayuda a controlar olores, además de proporcionar microorganismos beneficiosos.

Figura 5.

Estructura de un compostaje



Nota. Representación de la estructura en capas de un compostaje eficiente, donde se utilizan materiales como paja, tierra, estiércol y restos de cocina para facilitar la descomposición y promover la sostenibilidad. Tomada de (Toro et al., 2018)

2.3.1 Propiedades de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos presentan diversas propiedades que influyen en su efectividad y utilidad en el mejoramiento del suelo y el crecimiento de las plantas. Estas propiedades abarcan aspectos físicos, químicos y biológicos, los cuales determinan su comportamiento y beneficios en los sistemas agrícolas y ambientales (Castillo, 2017).

2.3.1.1 Propiedades Físicas

El uso de abonos orgánicos mejora significativamente la estructura del suelo, aumentando su porosidad y capacidad de retención de agua. Estos abonos también favorecen la aireación y permeabilidad del suelo, facilitando el desarrollo radicular de las plantas. Su color oscuro permite una mayor absorción de radiación

solar, elevando la temperatura del suelo y estimulando la actividad biológica(Sosa et al., 2015).

2.3.1.2 Propiedades Químicas

Desde el punto de vista químico, los abonos orgánicos aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo, lo que mejora la retención y disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, ayudan a estabilizar el pH del suelo, mitigando problemas de acidez o alcalinidad que podrían dificultar el crecimiento de las plantas. A medida que estos materiales se descomponen, liberan nutrientes de manera gradual, garantizando un suministro constante y equilibrado para los cultivos(Picado, 2010).

2.3.1.3 Propiedades Biológicas

Los abonos orgánicos fomentan una actividad biológica intensa en el suelo, incrementando las poblaciones de microorganismos benéficos como bacterias, hongos y lombrices. Estos organismos son esenciales para la descomposición de la materia orgánica y la mineralización de nutrientes, además de contribuir al control natural de patógenos del suelo. También se generan sustancias como enzimas y hormonas de crecimiento que estimulan el desarrollo de las plantas(Garro, 2019).

2.3.2 Clasificación de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se dividen en dos categorías principales: abonos no procesados y abonos procesados, según el grado de transformación que experimentan durante su producción(Mosquera, 2010).

2.3.2.1 Abonos no procesados

Estos abonos se utilizan en su estado natural sin requerir tratamientos específicos. Incluyen estiércol fresco, residuos de cosechas y restos vegetales

incorporados directamente al suelo. Aunque su acción es más lenta comparada con los abonos procesados, aportan una gran cantidad de materia orgánica y mejoran la actividad biológica del suelo(Castillo, 2017).

2.3.2.2 Abonos procesados

Los abonos procesados, como el compost, el bocashi y la lombricomposta, son el resultado de procesos controlados de descomposición y fermentación de materiales orgánicos. Estos procesos mejoran la calidad del abono, permitiendo una liberación más rápida y eficiente de nutrientes. Por ejemplo, el compost es ampliamente utilizado debido a su capacidad para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo(Sosa et al., 2015).

El bocashi, un abono fermentado de origen japonés se caracteriza por su rápida producción y su alto contenido de microorganismos beneficiosos. La lombricomposta, por su parte, es producida mediante la acción de lombrices que transforman la materia orgánica en humus de alta calidad, ideal para cultivos sensibles.

En conclusión, los abonos orgánicos son una herramienta clave para la agricultura sostenible, mejorando la calidad del suelo y promoviendo un manejo eficiente de los recursos. Su uso adecuado permite no solo incrementar la productividad de los cultivos, sino también preservar el medio ambiente y garantizar una producción de alimentos segura y saludable para las futuras generaciones(Adelso & Navarro, 2010).

2.4 Internet de las Cosas

El Internet de las Cosas es una tecnología que permite la interconexión de dispositivos físicos a través de redes, facilitando la recopilación, el intercambio y el procesamiento de datos. Estos dispositivos, también conocidos como "cosas inteligentes", cuentan con sensores, actuadores y software que les permiten interactuar de manera autónoma, generando valor en sectores como la salud, la agricultura, la industria y las ciudades inteligentes(Abed, 2016).

2.4.1 Definición

El IoT se define como un ecosistema donde los dispositivos conectados recopilan, procesan y comparten información a través de la red. Estos dispositivos pueden ser desde objetos cotidianos, como termostatos y electrodomésticos, hasta sensores especializados en entornos industriales. Según el informe de Ali Abed (2016), el IoT se caracteriza por su capacidad para habilitar la comunicación y el control remotos mediante el uso de Internet Protocol (IP) y protocolos de comunicación seguros, Por ejemplo, un sistema doméstico puede monitorear y ajustar la temperatura ambiente utilizando sensores conectados.

2.4.2 Arquitectura IoT

La arquitectura del IoT se estructura en varias capas, cada una desempeñando funciones específicas dentro del ecosistema(Unión Europea, 2021).

Estas capas son:

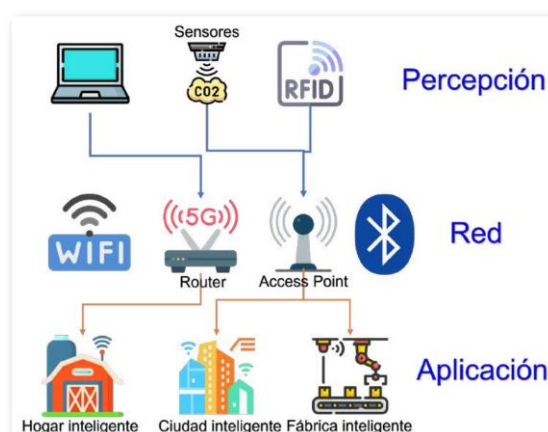
- **Capa de percepción:** Incluye los sensores y actuadores responsables de recopilar datos del entorno y realizar acciones en función de estos.

- **Capa de red:** Facilita la transmisión de datos a través de diversas tecnologías de comunicación como Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee y redes LPWAN.
- **Capa de procesamiento:** Maneja el análisis y almacenamiento de datos mediante servicios en la nube o computación en el borde (edge computing).
- **Capa de aplicación:** Proporciona servicios orientados al usuario final, como control remoto, análisis de datos y visualización en tiempo real.

Esta arquitectura modular y escalable es fundamental para adaptar el IoT a distintos contextos y necesidades.

En la figura 6 se representa la arquitectura del Internet de las Cosas (IoT), estructurada en tres capas principales: percepción, red y aplicación. En la descripción teórica se suele incluir una cuarta capa, la capa de procesamiento, en esta representación gráfica se ha integrado dentro de la capa de aplicación, dado que el procesamiento de datos muchas veces se realiza en la misma infraestructura que ofrece los servicios finales al usuario.

Figura 6..
Arquitectura IoT



Nota. Arquitectura IoT, un modelo adaptado en tres capas. Tomada de (Rivera et al., 2019)

2.4.3 Capa WSN:

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son un componente clave del IoT, permitiendo la monitorización y recopilación de datos en tiempo real desde el entorno. Estas redes están compuestas por nodos que integran sensores, unidades de procesamiento y sistemas de comunicación (Salazar & Silvestre, 2018). Las principales características de las WSN incluyen un bajo consumo energético, escalabilidad para incluir miles de nodos, capacidad de autoorganización y operación en entornos hostiles.

Las aplicaciones de las WSN abarcan desde la gestión de recursos en ciudades inteligentes hasta el control industrial y la agricultura de precisión (Abed, 2016).

Su función principal es la de recolectar datos mediante sensores distribuidos y transmitirlos hacia niveles superiores para su análisis y procesamiento. Esta capa se caracteriza por su capacidad para operar de forma autónoma, adaptarse a cambios en el entorno y garantizar una cobertura amplia y eficiente

2.4.4 Componentes

El Internet de las Cosas (IoT) se basa en una serie de componentes interconectados que colaboran para asegurar su operatividad y optimizar su eficiencia. Estos componentes incluyen:

- **Sensores:** Capturan datos del entorno, como temperatura, humedad y movimiento, permitiendo el monitoreo en tiempo real. Son esenciales en aplicaciones como la automatización, la salud y la agricultura.

- **Actuadores:** Ejecutan acciones basadas en los datos procesados, como encender luces o abrir válvulas. Permiten la automatización de procesos y la optimización de recursos en distintos entornos.
- **Gateways:** Actúan como intermediarios entre los dispositivos IoT y las redes principales, facilitando la transmisión eficiente de datos y asegurando una conectividad estable.
- **Plataformas de gestión:** Infraestructuras en la nube que almacenan, procesan y analizan datos, permitiendo su visualización en tiempo real y facilitando la toma de decisiones.
- **Protocolos de comunicación:** Estándares como MQTT, CoAP y HTTP que garantizan la interoperabilidad entre dispositivos, asegurando un intercambio eficiente y seguro de datos.

Estos componentes permiten la implementación de soluciones IoT en diversos sectores, optimizando recursos y mejorando la calidad de vida (Bhat et al., 2007).

2.5 Aplicaciones de IoT en la Gestión de Residuos Orgánicos

El Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado la forma en que se gestiona la recolección y el tratamiento de residuos orgánicos. Mediante el uso de sensores, plataformas de análisis de datos y redes de comunicación, es posible optimizar cada etapa del proceso, desde la recolección hasta la transformación en recursos valiosos. Estas aplicaciones no solo reducen costos operativos, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental y a la transición hacia una economía circular (Aranda et al., 2021).

2.5.1 Impacto ambiental

La implementación de soluciones basadas en IoT en la gestión de residuos orgánicos tiene un impacto significativo en la reducción de efectos negativos al medio ambiente(Samaniego et al., 2017).

Entre los beneficios principales se incluyen:

- **Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero:** Los sensores instalados en los contenedores de residuos orgánicos monitorean parámetros como la temperatura y la humedad, lo que permite controlar los procesos de descomposición y minimizar la emisión de metano, un gas altamente contaminante(Beltramini et al., 2023).
- **Optimización de rutas de recolección:** El IoT permite planificar rutas de recolección dinámicas basadas en datos en tiempo real, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ asociadas al transporte(Beltramini et al., 2023).
- **Prevención de contaminación del suelo y el agua:** Los sistemas de monitoreo detectan derrames o filtraciones de lixiviados provenientes de residuos orgánicos, evitando la contaminación de recursos naturales.

Estas aplicaciones tecnológicas también fomentan la educación ambiental, al permitir que comunidades enteras participen activamente en la gestión eficiente de los residuos mediante plataformas digitales y aplicaciones móviles(Beltramini et al., 2023).

2.5.2 Transformación de Residuos en Recursos

El IoT también facilita la transformación de residuos orgánicos en recursos valiosos, como compost, biogás y biofertilizantes. Los sensores y plataformas

inteligentes monitorean y optimizan las condiciones necesarias para los procesos de reciclaje y aprovechamiento, permitiendo los siguientes resultados:

- **Producción de compost:** Los sistemas IoT aseguran el control de factores clave como la aireación y la temperatura en los procesos de compostaje, resultando en la generación de fertilizantes naturales de alta calidad en menos tiempo(Burt, 2012).
- **Generación de biogás:** Los sensores monitorizan la cantidad y calidad de la materia orgánica en los biodigestores, maximizando la producción de energía renovable mientras minimizan desechos(Fernández, 2019).
- **Producción de biofertilizantes:** Plataformas basadas en IoT permiten ajustar las condiciones químicas de los residuos para generar biofertilizantes ricos en nutrientes, promoviendo la reutilización sostenible de los recursos.

Además, el seguimiento en tiempo real de los procesos garantiza una mayor eficiencia y transparencia, permitiendo a las autoridades locales y empresas evaluar el impacto de sus programas de reciclaje y promover la economía circular.

En conclusión, las aplicaciones del IoT en la gestión de residuos orgánicos no solo representan una solución eficiente para los problemas ambientales, sino que también ofrecen oportunidades económicas y sociales al convertir desechos en recursos valiosos. La integración de tecnologías inteligentes en este ámbito es fundamental para avanzar hacia un futuro más sostenible y equitativo(Burt, 2012) .

A continuación, la Figura 7 representa de manera general el proceso mediante el cual se realiza el aprovechamiento de los recursos provenientes de los

desechos del ganado bovino. En ella se ilustra cómo los residuos orgánicos, como el estiércol de las vacas, se mezclan con agua y se introducen en un biodigestor. Este sistema convierte los desechos en un abono orgánico, que puede ser utilizado para enriquecer los suelos, promoviendo la fertilidad y contribuyendo a la sostenibilidad agrícola.

Figura 7

Proceso de Aprovechamiento de Residuos del Ganado Bovino para la Producción de Abono Orgánico



Nota. Los residuos orgánicos del ganado bovino a través de biodigestores transforman el estiércol en abono orgánico para mejorar la fertilidad del suelo. Tomado de (Agraria.pe, 2019).

2.6 Aplicaciones de IoT en la Ganadería

El Internet de las Cosas (IoT) ha transformado significativamente la industria ganadera al ofrecer herramientas que optimizan la monitorización, la gestión y la productividad de los recursos. Estas soluciones tecnológicas integran sensores, redes y plataformas de análisis de datos, permitiendo mejorar la eficiencia, reducir costos y garantizar el bienestar animal. Las aplicaciones de IoT en este sector se centran en cuatro áreas clave: la monitorización de la salud animal,

la gestión de alimentación y producción, el control de entorno en establos, y la geolocalización y seguridad del ganado(Bhaskaran et al., 2024)

2.6.1 IoT para la Monitorización de la Salud Animal

La monitorización de la salud animal mediante IoT se realiza a través de sensores portátiles y sistemas de análisis en tiempo real que recopilan datos fisiológicos clave, como la frecuencia cardíaca, la temperatura corporal y los patrones de movimiento. Estos dispositivos permiten detectar enfermedades en sus etapas iniciales, facilitando intervenciones rápidas que mejoran el bienestar animal y reducen pérdidas productivas. Por ejemplo, sensores como el Zephyr BioHarness detectan cambios en el comportamiento del ganado que podrían indicar problemas de salud.

Además, la integración de tecnologías como Narrow Band IoT (NB-IoT) mejora la conectividad en zonas rurales, permitiendo la transmisión de datos a largas distancias con bajo consumo energético. Los datos recopilados son procesados mediante plataformas en la nube, lo que permite un análisis predictivo para identificar patrones y prevenir enfermedades antes de que se manifiesten(Antonio et al., 2023).

2.6.2 Gestión de Alimentación y Producción

La alimentación y la producción son áreas críticas en la ganadería que se benefician enormemente de las aplicaciones de IoT. Los sistemas de alimentación inteligentes utilizan sensores para monitorear el consumo de alimentos y ajustar las raciones según las necesidades nutricionales de cada animal. Esto no solo mejora la

salud y el rendimiento de los animales, sino que también optimiza el uso de recursos, reduciendo desperdicios.

Por ejemplo, robots de alimentación automáticos pueden proporcionar alimentos en el momento adecuado y con las cantidades exactas necesarias, lo que resulta en un aumento de la eficiencia productiva. Además, el uso de sistemas IoT en la gestión de la producción de leche permite controlar la calidad y cantidad del producto, asegurando que se cumplan los estándares requeridos por el mercado(Akbar et al., 2020).

2.6.3 Control de Entorno en Establos

El IoT también permite monitorear y controlar las condiciones ambientales en los establos, asegurando un entorno óptimo para los animales. Sensores de temperatura, humedad y calidad del aire proporcionan datos en tiempo real que ayudan a mantener condiciones adecuadas para la salud y el confort del ganado.

Los sistemas automáticos pueden ajustar la ventilación, la calefacción y la iluminación en función de los datos recopilados, previniendo problemas como el estrés térmico. Esto no solo mejora el bienestar animal, sino que también contribuye a un aumento en la productividad y la calidad de los productos ganaderos.

2.6.4 Geolocalización y Seguridad del Ganado

La geolocalización del ganado es fundamental para garantizar su seguridad, especialmente en sistemas de producción extensivos. Los dispositivos GPS integrados en collares inteligentes permiten rastrear en tiempo real la ubicación de los animales, reduciendo riesgos de pérdida o robo(Antonio et al., 2023).

Estos sistemas también pueden enviar alertas automáticas cuando un animal se encuentra fuera de los límites establecidos o muestra patrones de movimiento

inusuales. Además, la combinación de datos de localización con información de salud y comportamiento proporciona una visión integral del estado del ganado, facilitando decisiones más informadas por parte de los ganaderos(Bhaskaran et al., 2024)

2.7 Algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN)

El algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) es una técnica de aprendizaje supervisado ampliamente utilizada tanto para tareas de clasificación como de regresión. Su simplicidad y eficacia lo convierten en una herramienta popular en el ámbito de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. El KNN se basa en la idea de que objetos similares tienden a estar cerca unos de otros en un espacio n-dimensional(Alnowaiser et al., 2024)l.

2.7.1 Definición del Algoritmo KNN

El KNN clasifica nuevos puntos de datos asignándolos a la clase mayoritaria de sus K vecinos más cercanos en el espacio de características. Para determinar la proximidad, el algoritmo utiliza métricas de distancia como la distancia euclidiana, Manhattan o Minkowski(Zhang, 2016).

Su funcionamiento se puede resumir en los siguientes pasos:

- Representación de los datos: Cada punto se representa en un espacio n-dimensional basado en sus características.
- Cálculo de distancias: Se calcula la distancia entre el nuevo punto y todos los puntos del conjunto de datos.
- Selección de vecinos: Se seleccionan los K puntos más cercanos.

- Clasificación o regresión: El nuevo punto se asigna a la clase predominante entre sus vecinos o se predice un valor promedio en el caso de regresión.

Su simplicidad radica en que no requiere un entrenamiento previo complejo, lo que lo clasifica como un método de "aprendizaje perezoso".

2.7.2 Aplicaciones de KNN en IoT

El KNN ha encontrado aplicaciones significativas en el Internet de las Cosas (IoT) debido a su capacidad para manejar datos de alta dimensionalidad y realizar predicciones en tiempo real. A continuación, se describen dos aplicaciones clave:

2.7.2.1 Clasificación de Datos Ambientales

En el ámbito del IoT, el KNN se utiliza para clasificar datos ambientales recopilados por sensores, como temperatura, humedad y calidad del aire. Por ejemplo, en sistemas de monitoreo de contaminación, el KNN ayuda a identificar patrones en los niveles de gases contaminantes (CO₂, NO_x) y a categorizar áreas en función de su calidad del aire. Con sensores IoT permite realizar predicciones precisas en escenarios con datos faltantes mediante la estimación de valores basados en patrones existentes (Boateng et al., 2020).

2.7.2.2 Evaluación de Viabilidad de Residuos Orgánicos

El KNN desempeña un papel clave en la gestión de residuos orgánicos al ayudar a evaluar su viabilidad como recursos renovables. Este algoritmo utiliza datos sobre la composición química, como el contenido de carbono, nitrógeno y fósforo, así como variables ambientales como humedad y temperatura, para clasificar los residuos en categorías específicas.

De acuerdo con los rangos de los valores, el algoritmo realiza una comparación con estos para brindar un promedio y un resultado final. La Tabla 1 muestra los valores típicos de la composición química de distintos tipos de estiércol, que sirven como base para esta evaluación.

Tabla 1.
Valores de la composición química de diferentes tipos de estiércol.

	Estiércol Vacuno	Gallinaza	Estiércol Porcino	Estiércol ovino
Nitrógeno	2-8	5-8	3-5	3-5
Fósforo	0.2-1	1-2	0.5-1.0	0.4-0.8
Potasio	1-3	1-2	1-2	2-3
Magnesio	1.0-1.5	2-3	0.08	0.2
Sodio	1-3	1-2	0.05	0.05
Sales Solubles	6-15	2-5	1-2	1-2

Nota. Se observa variación significativa entre los diferentes tipos de estiércol. Adaptado de (García et al., 2014)

Por ejemplo, puede identificar qué tipos de residuos son más adecuados para convertirse en compost o cuáles tienen mayor potencial para la generación de biogás mediante biodigestores. Además, el KNN facilita la predicción de resultados en función de patrones previamente observados, lo que permite tomar decisiones informadas sobre el tratamiento óptimo de los residuos y maximizar su aprovechamiento sostenible. Así, este enfoque no solo mejora la eficiencia de los procesos, sino que también contribuye a reducir el impacto ambiental asociado al manejo de desechos orgánicos.

2.7.3 Ventajas y Limitaciones del Algoritmo KNN

El algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) es una herramienta ampliamente utilizada en sistemas de Internet de las Cosas (IoT) gracias a sus características particulares, pero también presenta desafíos que es importante considerar (Zhang, 2016).

A continuación, se amplían tanto sus ventajas como sus limitaciones en este contexto.

2.7.3.1 Ventajas

- **Simplicidad:** El KNN es intuitivo y fácil de implementar, ya que su lógica se basa en encontrar los vecinos más cercanos dentro de un espacio de datos. Esto lo hace ideal para aplicaciones rápidas o entornos con recursos limitados en el IoT.
- **Versatilidad:** Puede utilizarse tanto para problemas de clasificación como de regresión. Por ejemplo, en IoT, se puede emplear para clasificar tipos de residuos orgánicos o predecir valores de calidad del aire en función de datos históricos.
- **Eficiencia en conjuntos de datos pequeños:** En sistemas IoT que generan datos a pequeña escala (como sensores en un área específica), el KNN es muy preciso, ya que puede aprovechar bien los patrones existentes en los datos representativos.
- **Adaptabilidad a múltiples dimensiones:** El KNN trabaja con datos de varias dimensiones simultáneamente, lo cual es crucial en IoT, donde los sensores

recopilan información diversa (como temperatura, humedad, gases contaminantes, etc.).

2.7.3.2 Limitaciones

El algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) es una técnica de aprendizaje automático popular y fácil de entender, utilizada en una variedad de aplicaciones. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el KNN también presenta ciertas limitaciones, especialmente en el contexto de sistemas IoT con grandes volúmenes de datos y recursos computacionales limitados (Ayala & Plata, 2022).

A continuación, se detallan algunas de las principales limitaciones del KNN en este ámbito.

- **Costo computacional:** Uno de los mayores inconvenientes del KNN es su dependencia de la cantidad de datos. En escenarios IoT con un gran volumen de datos en tiempo real, calcular la distancia entre cada nuevo punto y los existentes puede ser extremadamente costoso, lo que afecta el rendimiento del sistema.
- **Sensibilidad al ruido:** El algoritmo puede verse afectado por valores atípicos o datos imprecisos, algo común en sistemas IoT debido a fallos o interferencias en los sensores. Esto puede llevar a clasificaciones o predicciones incorrectas.
- **Determinación del parámetro K:** Elegir el valor óptimo de K (el número de vecinos considerados) es crítico. Un valor muy pequeño puede hacer que el modelo sea demasiado sensible al ruido, mientras que un valor muy alto puede promediar demasiados puntos, disminuyendo la precisión.

- Necesidad de preprocesamiento: En sistemas IoT, los datos suelen requerir un preprocesamiento extenso para eliminar valores faltantes, normalizar rangos y filtrar ruido, ya que el KNN es muy sensible a estas variaciones

En resumen, si bien el KNN puede ser una herramienta útil en ciertos escenarios de IoT, es crucial ser consciente de sus limitaciones en cuanto a costo computacional, sensibilidad al ruido, determinación del parámetro K y necesidad de preprocesamiento. Al comprender estas limitaciones, se pueden tomar decisiones informadas sobre si el KNN es el algoritmo adecuado para una aplicación IoT específica y, en caso afirmativo, cómo mitigar sus posibles inconvenientes.

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA PROPUESTA

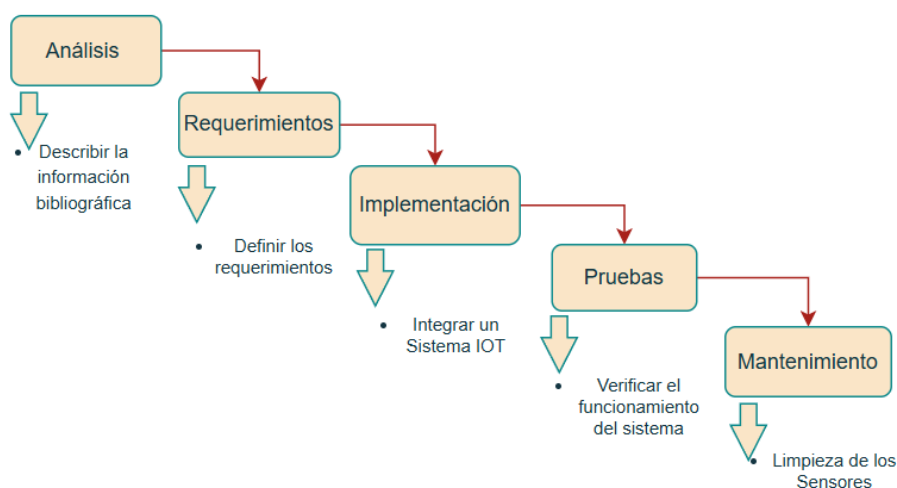
En este capítulo se detalla el proceso de diseño y construcción del sistema IoT de monitoreo, siguiendo las fases de la metodología basada en el "Modelo en Cascada". Este modelo propone un enfoque secuencial que permite estructurar y definir de manera precisa los requerimientos en cada etapa del proyecto.

3.1 Metodología

En este proyecto, se adopta la metodología de desarrollo en cascada, una estrategia secuencial que permite estructurar el proceso de creación de software a través de fases bien definidas: análisis, diseño, implementación, pruebas y mantenimiento. Esta metodología facilita una planificación ordenada, donde cada etapa debe completarse antes de pasar a la siguiente, lo que asegura un control riguroso del avance y una documentación clara de cada fase (Senarath, 2021).

La Figura 8 ilustra este enfoque, representando visualmente el flujo de actividades que se desarrollan en cada fase del proyecto.

Figura 8.
Metodología en Cascada



Nota: La figura muestra las fases de la metodología en cascada aplicada al desarrollo del sistema IoT. Tomado de: (Senarath, 2021).

La metodología en cascada aplicada en este proyecto se ajusta de forma precisa al desarrollo del sistema propuesto, ya que permite una ejecución estructurada y progresiva, y se organiza de la siguiente manera:

- **Análisis:** Esta etapa se centra en la recopilación y descripción de la información bibliográfica relacionada con la gestión de residuos en establos de ganado bovino y las tecnologías IoT aplicadas al monitoreo ambiental.
- **Diseño:** En esta fase se definen los requerimientos técnicos del sistema, incluyendo tanto el hardware como el software.
- **Implementación:** Aquí se realiza la integración física y lógica del sistema IoT, permitiendo el monitoreo de los parámetros de los residuos orgánicos.
- **Pruebas:** Se llevan a cabo evaluaciones del sistema implementado para verificar su correcto funcionamiento.
- **Mantenimiento:** Finalmente, se ejecutan actividades destinadas a preservar el funcionamiento continuo del sistema, como la limpieza de sensores.

3.2 Análisis

En esta fase se amplía el trabajo iniciado en el capítulo anterior, enfocándose en el análisis de la situación actual. El propósito no es solo entender la solución propuesta, sino también definir con claridad el alcance del proyecto y los objetivos que se buscan alcanzar. Esto permite establecer una base sólida que guíe el desarrollo eficiente de las etapas posteriores.

3.2.1 Situación Actual

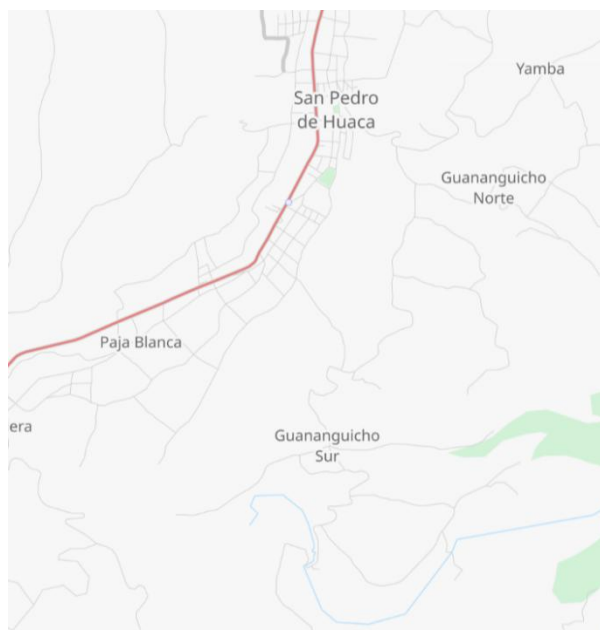
La comunidad de Guananguicho Sur forma parte del cantón San Pedro de Huaca, en la provincia del Carchi, Ecuador. Este sector se caracteriza por un relieve

volcánico colinado medio y alto, con pendientes que oscilan entre 25% y 70%, cimas redondeadas y cobertura vegetal de tipo herbácea, arbustiva y arbórea.

Un aspecto geográficamente relevante es que el río Obispo atraviesa este sector, siendo una fuente hídrica fundamental para las actividades agrícolas, pecuarias y el consumo humano. Como se indica en la Figura 9, el cauce del río recorre la comunidad de Guananguicho Sur, evidenciando su cercanía con zonas de uso agropecuario intensivo. Sin embargo, su curso ha sido objeto de creciente preocupación ambiental debido a la contaminación por residuos orgánicos, especialmente excretas y desechos generados en establos ganaderos, y al uso indiscriminado de agroquímicos. Estas prácticas, comunes en zonas cercanas a los páramos, afectan directamente la calidad del agua y generan riesgos para la salud de los habitantes que dependen de este recurso.

Figura 9.

Ubicación Geográfica de Guananguicho Sur



Nota. Delimitación de Guananguicho Sur y recorrido del río Obispo en su zona rural. Tomado de: OpenStreetMap

3.2.2 Principal Actividad Económica

La actividad económica predominante en la comunidad de Guananguicho Sur y sus alrededores es la ganadería, desarrollada principalmente en sistemas familiares o de pequeña escala, orientada a la producción de leche y carne bovina. Esta actividad representa el sustento económico de la mayoría de los hogares rurales del sector, superando en importancia a la agricultura en términos de ocupación y generación de ingresos. Aunque también se cultivan productos como maíz, papa y fréjol, estos suelen tener un papel complementario dentro de las fincas ganaderas. La fuerte dependencia del territorio hacia la ganadería implica un uso intensivo de recursos naturales, como el suelo y el agua, lo cual está directamente relacionado con la problemática ambiental que enfrenta la zona, particularmente por la generación de residuos orgánicos provenientes de los establos.

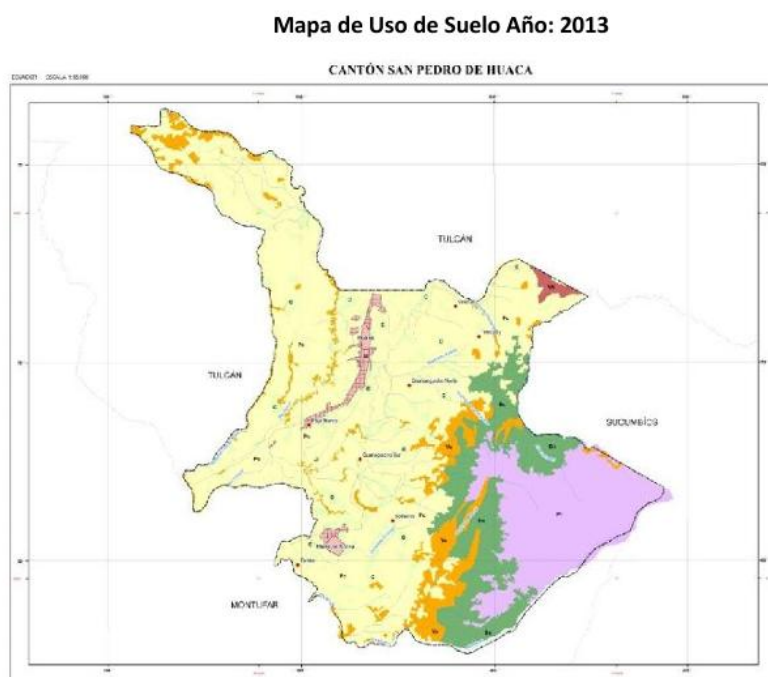
La ganadería constituye la principal actividad económica del cantón San Pedro de Huaca, y específicamente de comunidades rurales como Guananguicho Sur, donde predomina la producción de leche. Según el III Censo Nacional Agropecuario, se registran 393 Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs) dedicadas al ganado vacuno, con un total de 4.352 cabezas. Esta cifra representa una parte significativa de la dinámica productiva del cantón, donde además se identifican 324 UPAs dedicadas a la cría de cuyes y otras actividades pecuarias complementarias. La producción de leche representa el 24,1 % del total cantonal, y el perfil predominante es el de pequeños productores, que constituyen el 3,6 % del total provincial, con predios de hasta 5 hectáreas y una producción promedio de 10,1 litros diarios por vaca. (Gobierno Autónomo Descentralizado “San Pedro de Huaca,” 2023)

3.2.3 Análisis del uso de los suelos

El análisis multitemporal del uso del suelo entre los años 1990 y 2013 refleja una transformación significativa en la economía territorial del cantón San Pedro de Huaca. En la Figura 10, es posible apreciar que la mayoría de suelo del cantón San Pedro de Huaca es destinado para los cultivos, es especial para la actividad ganadera

Figura 10.

Mapa de uso de suelo del cantón San Pedro de Huaca



Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (EX-CLIRSEN), 2013

SÍMBOLO	CÓDIGO	CATEGORÍA	ha
	Pc	Pasto cultivado	4453,31
	Pr	Páramo	1143,02
	Bn	Bosque natural	883,72
	Va	Vegetación Arbolesca	648,78
	C	Cultivo	474,27
	U	Centro Poblado	124,11
	Vh	Vegetación Herbácea	40,9

Nota. Predomina el pasto cultivado (color lila), asociado a la ganadería, seguido por páramos, bosque natural y zonas agrícolas en menor proporción. Tomado de: Instituto Espacial Ecuatoriano (EX-CLIRSEN), 2013.

En 1990, cerca del 43 % del territorio estaba destinado a cultivos; sin embargo, para 2013, esta cifra se redujo drásticamente al 6,1 %, evidenciando un cambio de perfil productivo. En contraste, la superficie dedicada a pasto cultivado

para la actividad ganadera creció del 20,58 % al 57,36 %, posicionando a la ganadería como la principal actividad económica de la zona. Este cambio también ha tenido implicaciones ambientales, como la reducción de bosque natural y el avance de la frontera agrícola.

Además, en la Figura 11 se puede apreciar donde está ubicado exactamente el establo ganadero, en una de las propiedades de las familias de la comunidad de Guananguicho Sur.

Figura 11.

Área del terreno de aplicación



Nota: Se selecciona el sector en el cual está ubicado el establo ganadero que permitirá implementación del sistema. Tomado de: Google Earth

3.3 Requerimientos

En esta etapa se establecen los requerimientos específicos que deberá cumplir el sistema propuesto para la mejora y filtrado de audio, considerando tanto

los componentes de hardware como las herramientas de software necesarias. El proceso se basa en los lineamientos de la norma ISO/IEC/IEEE 29148:2018, lo que permite estructurar de forma clara los objetivos funcionales del prototipo. Asimismo, se identifican los usuarios beneficiarios principalmente pequeños productores ganaderos y se definen las funcionalidades clave que permitirán optimizar la recolección y análisis de señales acústicas en entornos rurales, sentando así las bases para un desarrollo eficiente del sistema.

3.3.1 Propósito del sistema

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar e implementar un sistema IoT para el monitoreo de residuos orgánicos generados en establos de ganado bovino de la comunidad de Guananguicho Sur, en el cantón San Pedro de Huaca. A través de la integración de sensores ambientales, el sistema medirá parámetros clave como el pH, la humedad, la temperatura y la emisión, con el fin de evaluar la viabilidad de dichos residuos para su uso como fertilizantes naturales. Además, los usuarios contarán con una aplicación móvil mediante la cual podrán visualizar en tiempo real los valores registrados por el sistema. Esto les permitirá identificar si las condiciones medidas son adecuadas o no para el aprovechamiento de los residuos como fertilizantes, facilitando la toma de decisiones en el manejo agropecuario. Esta solución tecnológica busca mejorar la gestión de residuos ganaderos, reducir los impactos ambientales y promover prácticas agrícolas sostenibles.

3.3.2 Variables críticas de monitoreo en residuos bovinos

Para garantizar un análisis eficiente y ambientalmente responsable de los residuos generados por el ganado bovino, el sistema debe contemplar el monitoreo

de ciertas variables críticas que influyen directamente en la calidad del proceso y en la toma de decisiones técnicas. Entre estas variables se encuentran:

- pH: El nivel de acidez o alcalinidad del residuo bovino es un indicador clave del estado del proceso de descomposición. Valores de pH fuera del rango óptimo pueden afectar la actividad microbiana necesaria para la digestión anaeróbica, dificultando la producción de biogás o aumentando la generación de lixiviados contaminantes(Henning et al., 2009).
- Humedad: El contenido de agua en los residuos determina la fluidez y la capacidad del material para ser procesado. Una humedad adecuada facilita la actividad biológica y la eficiencia en procesos como la biodigestión, mientras que niveles extremos pueden inhibir la fermentación o favorecer la proliferación de microorganismos patógenos(Ghanney et al., 2021a).
- Temperatura: Este parámetro afecta directamente la velocidad de descomposición de la materia orgánica. En particular, los procesos de digestión anaeróbica dependen de rangos de temperatura específicos (mesofílico o termofílico) para mantener la actividad de las bacterias involucradas. Fluctuaciones térmicas pueden alterar la estabilidad del sistema(Rotz & Chianese, 2009).
- Gases: Durante la descomposición de residuos bovinos se liberan gases como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3) y otros compuestos. El monitoreo de estas emisiones es esencial tanto para evaluar la eficiencia del proceso de biodigestión como para controlar el impacto ambiental y posibles riesgos sanitarios(Arabhosseini & Hassan-Beygi, 2015).

3.3.2.1 Umbrales óptimos de variables críticas.

La eficacia en la gestión de residuos de ganado bovino depende del mantenimiento de ciertos parámetros dentro de rangos específicos que favorecen la descomposición eficiente y minimizan el impacto ambiental. A continuación, se detallan los umbrales óptimos para cada variable crítica:

- pH: Un pH inicial en el rango de 6.6 a 7.4 es común en compostajes de estiércol bovino. Durante el proceso, el pH puede aumentar hasta valores entre 8.0 y 8.6, lo que indica una adecuada actividad microbiana y descomposición de la materia orgánica(Prost et al., 2022).
 - Humedad: El contenido de humedad óptimo para el compostaje se sitúa entre el 55% y el 65%. Niveles dentro de este rango favorecen la actividad microbiana y la descomposición eficiente de la materia orgánica(Prost et al., 2022)
- Temperatura: Durante el compostaje, alcanzar temperaturas superiores a 50 °C es esencial para la higienización del material y la eliminación de patógenos. Idealmente, la temperatura debería mantenerse entre 55 °C y 65 °C durante la fase termofílica(Ghanney et al., 2021b).
- Emisión de gases: La gestión adecuada del compostaje puede minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero como metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (N₂O). Prácticas como la aireación controlada y el mantenimiento de los parámetros mencionados contribuyen a reducir estas emisiones(Nordahl et al., 2023)

Mantener estas variables dentro de los umbrales mencionados es fundamental para optimizar el proceso de compostaje de residuos bovinos, mejorar

la calidad del compost resultante y minimizar el impacto ambiental asociado. Una síntesis de estos umbrales óptimos y su justificación se presenta en la Tabla 2

Tabla 2.
Tabla de los umbrales de los valores de los datos de los sensores.

Variable	Umbral Óptimo	Justificación
pH	6.5-8.5	Favorece la actividad microbiana durante la descomposición de residuos.
Humedad	55% – 65%	Nivel ideal para mantener el equilibrio entre aireación y actividad biológica.
Temperatura	55% – 65%	Rango ideal para eliminar patógenos y favorecer la etapa termofílica del compostaje.
Emisión de Gases	55% – 70% (Metano); 30% – 45% (Dióxido de Carbono)	Se logra mediante buena aireación y control de humedad/temperatura para reducir gases nocivos

Nota: En la tabla anterior se muestran los valores de los umbrales de las variables analizadas en los desechos orgánicos del ganado bovino, los cuales son referenciales y se utilizarán para entrenar el modelo KNN.

3.3.3 Determinación de Stakeholders

Los stakeholders, o partes interesadas, son todas aquellas personas, organizaciones o grupos que tienen un interés directo o indirecto en el diseño, implementación y funcionamiento del sistema propuesto. En el caso de este proyecto, los beneficiarios directos son los productores ganaderos de la comunidad de Guananguicho Sur, quienes utilizarán el sistema para monitorear parámetros ambientales de los residuos generados en sus establos. A través de una aplicación,

podrán visualizar valores como pH, humedad y concentración de gases, lo que les permitirá identificar si dichos residuos son aptos para ser utilizados como fertilizantes. De forma complementaria, instituciones locales relacionadas con el desarrollo agrícola y ambiental también forman parte de los actores interesados, al poder utilizar los datos recolectados como insumo para el fomento de prácticas sostenibles en el manejo de residuos orgánicos.

Tabla 3 se presenta un listado de los stakeholders identificados, quienes desempeñan un papel clave en la toma de decisiones a lo largo del diseño y construcción del prototipo, abarcando los aspectos electrónicos, mecánicos y de reconocimiento.

Tabla 3

Stakeholders del proyecto

No	Denominación	Rol
1	Habitantes de la comunidad de Guananguicho Sur que sean propietarios de establos ganaderos.	Usuarios directos del proyecto
2	MSc. Carlos Vásquez	Director del trabajo de titulación
3	MSc. Luis Suárez	Asesor del trabajo de titulación
4	Srta. Soraya Imbaquingo	Autor del trabajo de titulación

Nota. Elaborado por el autor

3.3.4 Nomenclatura de los requerimientos

Para definir estos requerimientos, se emplea la normativa establecida en el estándar ISO/IEC/IEEE:2018, detallada en la Tabla 3. A partir de este marco, se determinan los requerimientos de las partes interesadas, los requisitos del sistema y

los aspectos de arquitectura necesarios para el desarrollo del sistema IoT de monitoreo.

Tabla 4

Nomenclatura de los requerimientos

Abreviatura	Descripción
StRS	Especificación de requerimientos de stakeholders
SyRS	Especificación de requerimientos del sistema
SRSR	Especificación de requerimientos de arquitectura

Nota. Adaptado de (ISO/IEC/IEEE, 2018)

El estándar establece un mecanismo para asignar prioridades a los diferentes requerimientos, tomando en cuenta criterios como la relevancia para el usuario, el desempeño del sistema y los riesgos asociados al diseño e implementación del proyecto.

En la Tabla 5 se especifica la prioridad asignada a cada requerimiento del sistema.

Tabla 5

Prioridad de los Requerimientos del sistema.

Prioridad	Descripción
Alta	Se trata de un requisito esencial que debe ser incorporado en el desarrollo del sistema, ya que su omisión podría comprometer su funcionalidad.
Media	La ausencia de este requisito podría influir en la decisión final del sistema, aunque puede ser descartado en situaciones excepcionales o de fuerza mayor.
Baja	No se prevé un impacto significativo en la decisión final del sistema si este requisito no es incluido.

Nota. Adaptado de (ISO/IEC/IEEE, 2018)

3.3.5 Requerimientos de Stakeholders

La norma ISO/IEC/IEEE 29148:2018 establece que el objetivo principal del proceso de definición de necesidades y requisitos es identificar y establecer los requerimientos de las partes interesadas para un sistema, de manera que este pueda ofrecer las capacidades necesarias para satisfacer tanto a los usuarios como a otros actores relevantes, dentro de un entorno previamente definido.

La obtención de requisitos y necesidades es una actividad de naturaleza iterativa, en la cual se pueden emplear diferentes métodos para su identificación, tales como:

- Talleres estructurados.
- Entrevistas, cuestionarios
- Observación del entorno
- Revisión de documentación técnica
- Análisis de mercado o evaluación de sistemas similares
- Desarrollo de prototipos

En el caso de este proyecto, se ha optado por utilizar los cuestionarios como técnica principal, aplicados de manera directa a las partes interesadas, con el propósito de establecer los requerimientos de los stakeholders relacionados con el sistema de monitoreo de residuos orgánicos ganaderos.

3.3.5.1 Encuesta de Requerimientos

Al aplicar encuestas, es fundamental considerar el número de productores a quienes se dirigirán, en especial aquellos que desarrollan de forma continua actividades ganaderas en la comunidad de Guananguicho Sur. El propósito de esta recolección de datos es identificar las necesidades y expectativas relacionadas con

el manejo de residuos orgánicos, así como los parámetros que consideran relevantes como el pH, la humedad y los gases emitidos para evaluar su posible aprovechamiento como fertilizante.

Se consideró inicialmente el número total de familias en el sector de estudio, esta información fue obtenida mediante una entrevista directa con el presidente del barrio, quien indicó que existen 41 familias en total. Se valida esta información en el Anexo 1

Con el fin de identificar cuántas de estas familias poseen establos y ganado bovino, se aplicó una encuesta a la totalidad de las familias, utilizando un formulario digital elaborado con Google Forms, difundido a través de enlace directo en el Grupo de WhatsApp de la Comunidad (ver Anexo 2).

A partir de los resultados obtenidos, se determinó que 17 familias cuentan con ganado y generan estiércol, por lo que este valor se considera como el tamaño real de la población ($N = 17$) para fines del estudio.

La encuesta dirigida a los usuarios de la comunidad (ver Anexo 3) fue aplicada a través de la herramienta digital Google Forms. El formulario fue compartido mediante el grupo comunitario, garantizando así el acceso de todos los residentes al cuestionario.

A partir de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas (Anexo 4) a los actores directamente involucrados, como familias ganaderas de la comunidad de Guananguicho Sur, se identificaron los requisitos operativos y de los usuarios, los cuales se detallan en la Tabla 6. Esta tabla resume de forma clara las necesidades y expectativas de los participantes, proporcionando una visión general de los

requerimientos detectados en el contexto del manejo de residuos ganaderos, clasificados según su nivel de prioridad, que puede ser alta, media o baja.

Tabla 6

Requerimientos de stakeholders

No	StSR Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Operacionales				
StRS1	El sistema debe tener conexión a Internet para el envío de datos.	✓		
StRS2	El prototipo debe ser implementado cerca del establo ganadero.	✓		
StRS5	El sistema debe ser fácil de instalar y mantener		✓	
StRS6	El sistema debe ser resistente a condiciones climáticas adversas		✓	
StRS5	El sistema debe estar integrado a una plataforma de monitoreo de residuos	✓		
StRS6	Las placas electrónicas deben estar debidamente cubiertos y protegidos para resistir condiciones climáticas adversas.	✓		
Requerimientos de Usuario				
StRS7	La aplicación debe ser lo más intuitiva posible para el usuario	✓		
StRS8	La aplicación debe generar alertas sobre el estado de los residuos orgánicos	✓		
StRS9	El sistema debe permitir la visualización de información sobre los residuos orgánicos	✓		

- | | | |
|---------------|---|---|
| StRS10 | Los usuarios deben poder recibir notificaciones a través de una aplicación móvil cada determinado tiempo. | ✓ |
| StRS11 | El sistema debe operar de manera continua, con alertas automáticas para los usuarios. | ✓ |

Nota: En la tabla se muestran los requerimientos operacionales y de usuario, los cuales fueron obtenidos a partir de la recolección de datos mediante formularios. Fuente: Elaborado por el autor.

Los requerimientos mostrados en la Tabla 6 incluyen las necesidades expresadas por las familias ganaderas y los actores clave durante las entrevistas y encuestas realizadas. Esto con el objetivo de obtener una visión completa sobre el sistema, su entorno de operación y su interacción tanto con los usuarios como con los encargados del manejo de residuos ganaderos.

3.3.6 Requerimientos del Sistema

Las especificaciones del sistema constituyen un conjunto de criterios que detallan las funcionalidades y características que este debe incorporar para satisfacer las necesidades y expectativas del usuario final. Así como determinar la frecuencia con la que recibirán notificaciones Dichas especificaciones incluyen aspectos relacionados con su operatividad, rendimiento, interfaces e infraestructura física. La identificación y definición de estos requisitos debe involucrar a todos los actores clave del proyecto, garantizando así que el sistema cumpla con los objetivos y parámetros establecidos. En base a la información recopilada se establece una frecuencia de 30 minutos, considerando que las horas de mayor actividad en los establos ganaderos son las horas de la mañana entre las 5:00am y 7:00am, y en la tarde desde las 14:00pm hasta las 16:00 pm.

También deben considerarse los requerimientos de conectividad y acceso a internet, ya que estos permiten el envío de datos. De acuerdo con las encuestas

realizadas en la mayoría de los establos ganaderos, se determinó que es necesario adecuar la infraestructura del lugar para mejorar la conectividad, debido a que el acceso a internet suele encontrarse alejado del establo. La mayoría de las personas dispone de internet en sus viviendas, pero no en el establo ganadero, a pesar de que este se encuentra cercano a la casa.

En la Tabla 7 se presentan los requerimientos del sistema.

Tabla 7
Requerimientos del sistema

SyRS					
Requerimientos del sistema					
No	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos de uso					
SyRS1	El usuario debe contar con conexión a Internet en el sitio donde se encuentra el sistema para la transmisión de datos.	✓			
SyRS2	El usuario debe contar con un dispositivo conectado a Internet para acceder al sistema	✓			
SyRS3	El sistema debe permitir visualizar el estado de los residuos de manera clara.	✓			
SyRS4	El sistema debe generar las alertas cuando los parámetros excedan los umbrales seguros.	✓			
SyRS5	El sistema debe estar instalado cerca del establo del ganado bovino.	✓			
Requerimientos de Performance					
SyRS6	El sistema debe almacenar los datos de manera temporal para su posterior análisis.	✓			
SyRS7	El sistema debe funcionar de manera continua, sin interrupciones.	✓			

SyRS8	Los sensores deben estar regulados y calibrados	✓
SyRS9	Alertas tempranas cuando se excedan los valores de umbrales	✓
SyRS10	El sistema debe ser capaz de manejar grandes volúmenes de datos sin comprometer su rendimiento	✓
SyRS11	El sistema debe asegurar la integridad de los datos enviados a la plataforma de monitoreo	✓

Requerimientos de estado

SySR12	El sistema debe estar en modo alerta cuando existan valores fuera del rango establecido	✓
SySR13	El sistema debe estar inactivo cuando no haya cambios en las mediciones. El sistema debe ser capaz de entrar en estado	✓
SySR14	ahorro de energía cuando no haya variación de los valores de ph, gas, temperatura y humedad.	✓

Requerimientos de interfaces

SyRS15	El sistema debe contar con una aplicación móvil para mostrar alertas y estados del residuo.	✓
SyRS16	Los sensores deben conectarse al microcontrolador mediante interfaces digitales o analógicas según corresponda.	✓
SyRS17	El sistema debe enviar datos cada minuto mediante protocolo WiFi hacia una plataforma de monitoreo.	✓
SyRS18	El sistema debe contar con una interfaz gráfica sencilla para la fácil comprensión del usuario.	✓
SyRS19	El sistema debe permitir la conexión con sensores de pH, temperatura, humedad y gas.	✓

- SyRS20** El módulo de comunicación Wi-Fi debe ser compatible con protocolos estándar como IEEE 802.11b/g/n para asegurar la conectividad. ✓

Requerimientos físicos

- SyRS21** El sistema debe ser instalado en un lugar cercano al establo para facilitar el manejo de residuos. ✓
- SyRS22** El sistema debe operar en condiciones ambientales rurales, soportando polvo y humedad. ✓
- SyRS23** El sistema debe contar con una carcasa protectora que se adapte a las condiciones climáticas y ambientales del establo, asegurando su operatividad. ✓
- SyRS24** El área del establo y las zonas de los residuos deben estar preparadas para la instalación del sistema IoT, incluyendo espacio suficiente y accesibilidad para los sensores. ✓
- SyRS25** Los sensores de pH, humedad, temperatura y gases deben ubicarse estratégicamente dentro del área del estiércol para mejorar la captura y transmisión de datos. ✓

Nota: En la tabla se muestran los requerimientos del sistema necesarios para la implementación del sistema. Fuente: Elaborado por el autor.

3.3.7 Requerimientos de Arquitectura

En los requerimientos de arquitectura se establecen los parámetros y especificaciones técnicas para los componentes de hardware, software y sistema eléctrico. También se incluye la compatibilidad entre los módulos, lenguajes de programación y la base de datos que se utilizarán en el desarrollo del proyecto. Los requerimientos de arquitectura y su prioridad se detallan en la Tabla 8

Para esto, se llevará a cabo una evaluación de los diferentes componentes a utilizar en el proyecto mediante tablas comparativas, asignando dos valores de puntuación: "2" para indicar el cumplimiento total del requisito, "1" para el cumplimiento parcial y "0" cuando el requisito no sea cumplido.

Tabla 8
Requerimientos de Arquitectura

ArRS					
Requerimientos de arquitectura					
No	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos Lógicos					
SRS1	La placa debe ser compatible con las librerías necesarias para la comunicación entre la placa y los sensores (pH, temperatura, humedad).	✓			
SRS2	El sistema debe enviar los datos a la página de monitoreo utilizando un protocolo estándar como flask.	✓			
SRS3	El sistema debe ser compatible con la arquitectura de los sensores y módulos de comunicación y con el protocolo WIFI, asegurando una integración eficiente	✓			
SRS4	El sistema debe tener la capacidad de conectar de manera eficiente a una base de datos para almacenar y consultar los datos recolectados.	✓			
SRS5	El sistema debe tener la capacidad de conectar de manera eficiente a una base de datos para almacenar y consultar los datos recolectados.	✓			
Requerimientos de Diseño					

SRSH6	El sistema debe tener la capacidad suficiente para albergar y proteger los sensores y componentes electrónicos.	✓	
SRSH 7	La placa, módulos y sensores deben ser compatibles entre sí.	✓	
SRSH 8	El sistema debe contar con un diseño modular para facilitar la instalación y el mantenimiento.	✓	
SRSH9	El sistema debe permitir la expansión o adición de sensores en el futuro sin cambios significativos.	✓	
SRSH10	El sistema debe permitir una colocación estratégica de los sensores y la placa para optimizar la captura de datos y asegurar su efectividad en el monitoreo del estiércol.	✓	
Requerimientos de Software			
SRSH11	Librerías compatibles con el sensor	✓	
SRSH12	Plataforma de desarrollo de código abierto		✓
SRSH13	Sistema operativo de uso libre compatible con la placa	✓	
SRSH14	Entorno de programación intuitivo y fácil de usar		✓
SRSH15	El entorno de visualización debe ser fácil de usar y accesible para los usuarios no técnicos.		✓
SRSH16	Compatible con el lenguaje de programación Python		✓
SRSH17	El sistema debe ser capaz de procesar y almacenar los datos generados por los sensores.	✓	

SRSH18	El sistema debe usar un protocolo de comunicación eficiente para transmitir los datos al servidor.	✓	
SRSH19	El software debe ser capaz de interactuar con plataformas como FireBase o AppInventor	✓	
Requerimiento de hardware			
SRSH20	Los sensores deben ser compatibles con la placa de desarrollo utilizada.	✓	StRS8
SRSH21	Placa de desarrollo debe contar con entradas y salidas digitales	✓	
SRSH22	Placa de desarrollo con espacio para una tarjeta de almacenamiento	✓	
SRSH23	Los sensores deben contar con un proceso de calibración para asegurar su precisión.		✓
SRSH24	Los sensores deben ser resistentes a condiciones ambientales adversas (polvo, humedad, temperatura).	✓	
SRSH25	Sensores compatibles con la placa de desarrollo utilizada	✓	
SRSH26	El sistema debe contar con una placa de desarrollo compatible con conexión Wi-Fi	✓	
SRSH27	Sensores con voltaje de operación de 5V	✓	
SRSH28	Los sensores deben ser capaces de realizar mediciones con alta precisión y enviar estos datos al sistema de manera continua.	✓	
SRSH29	El servidor debe tener la capacidad de almacenar y procesar datos de manera eficiente, utilizando una base de datos.	✓	
Requerimientos Eléctricos			
SRSH30	El sistema debe contar con una fuente de alimentación estable capaz de suministrar	✓	

	energía a la placa y a los tres sensores (pH, temperatura, humedad).	
SRSH31	El sistema debe contar con un regulador de voltaje que asegure que los sensores y módulos de transmisión reciban la cantidad correcta de energía, protegiéndolos de picos de voltaje.	✓
SRSH32	Realizar cálculos de potencia para determinar las necesidades totales de energía, para componente.	✓
SRSH33	El sistema debe tener respaldo de batería para asegurar su funcionamiento ininterrumpido en caso de cortes de energía.	✓

Nota: La tabla muestra los requerimientos de arquitectura que son necesarios para la implementación del sistema. Fuente: Elaborado por el Autor

3.3.8 Selección de Hardware

La selección de los componentes de hardware y software se realizará en función de los requisitos previamente establecidos, con el objetivo de cumplir las necesidades de las partes interesadas (STRS, SYSR, SRSH). Para esto, se llevará a cabo una evaluación de los diferentes elementos a utilizar en el proyecto mediante el uso de tablas comparativas, donde se asignarán tres valores de puntuación: "2" para indicar el cumplimiento total del requisito, "1" para cumplimiento parcial y "0" cuando no se cumpla el requerimiento.

En esta sección se elige el hardware basándose en el análisis previo de los requisitos del sistema. Los componentes disponibles en el mercado se seleccionan utilizando tablas comparativas, evaluando si cumplen con las funciones o características necesarias.

3.3.8.1 Selección de Sensores

La elección de los sensores debe centrarse en identificar aquellos que satisfagan los requerimientos previamente establecidos y que sean apropiados para medir las variables específicas del sistema o proyecto. Las variables para analizar incluyen la concentración de gases, pH, temperatura y humedad ambiental, así como la temperatura y humedad de los residuos orgánicos.

3.3.8.1.1 Sensor de Gas

En el proceso de descomposición de residuos orgánicos, se generan diferentes tipos de gases, entre los cuales destacan el metano (CH_4) y otros compuestos como el amoníaco (NH_3) y el dióxido de carbono (CO_2). Para su monitoreo, es necesario seleccionar un sensor que presente buena sensibilidad a los gases presentes en el entorno de trabajo.

En este sentido, los sensores MQ4 y MQ135 son opciones viables, ya que permiten detectar gases de interés ambiental y asociados a la actividad ganadera. A continuación, se presenta una comparación técnica entre ambos sensores con el fin de seleccionar el más adecuado para el sistema. En la Tabla 9 se detallan sus principales características.

Tabla 9
Especificaciones técnicas de los sensores de Gas

Parámetro	MQ-04	MQ-135	Figaro TGS2600	CCS811
Detecta	Metano, gas natural comprimido	Amoniaco, óxidos de nitrógeno, alcohol, benceno, CO_2	Gases inflamables (metano, propano, butano, CO)	Compuestos orgánicos volátiles (COV), CO_2 , alcohol, monóxido de carbono
Voltaje	5 V	5 V	5 V	3.3 V

Interfaz	Analógico	Analógico	Analógico	I2C
Respuesta	Rápida (<10 s)	Rápida (<30 s)	Rápida (<30 s)	Rápida (<60 s)
Concentración	300 a 10000 ppm	10 a 1000 ppm (según gas)	50 a 10000 ppm (según gas)	0 a 32768 ppb COV, 400 a 8192 ppm eCO ₂
Temperatura de operación	-10 a 50 °C	-10 a 80 °C	-10 a 50 °C	-40 a 85 °C
Potencia	Menos de 900 mW	Menos de 800 mW	Menos de 15 mW	Menos de 33 Mw.

Nota: Resumen de las especificaciones técnicas de los sensores de Gas.

En la tabla 10 se indica los requerimientos que debe cumplir los dispositivos.

Tabla 10

Comparación para la elección del sensor de Gas

Selección del sensor de Gs						
Hardware	Requerimientos					
	SyRS5	SyRS6	SyRS7	SyRS8	SRS16	Total
MQ-4	1	2	0	2	1	9
MQ-135	2	2	1	2	2	11
Figaro	2	2	1	2	0	7
TGS2600						
CCS811	1	2	1	0	1	4
Cumple totalmente 2						
Cumple parcialmente 1						
No cumple 0						
Elección: Se selecciona el sensor MQ-135 debido a que cumple con los requisitos establecidos para el sistema. Este sensor es ideal para medir la						

concentración de gases, lo que facilita una recolección y análisis precisos de la variable relacionada con la acumulación de gases. Además, su capacidad de cumplir con los requisitos de compatibilidad lo convierte en una opción confiable para el proyecto, destacándose por sus propiedades y rendimiento en condiciones específicas.

Nota: La tabla muestra la evaluación comparativa de sensores de gas según criterios clave de instalación, resistencia, funcionamiento y compatibilidad, facilitando la selección adecuada para el proyecto. Fuente: Autoría

3.3.8.1.2 Sensor de pH

El pH es uno de los parámetros más importantes para monitorear en el entorno de descomposición de residuos orgánicos, ya que afecta la estabilidad de los procesos biológicos y la liberación de gases en el ambiente. Para ello, es esencial contar con un sensor de pH que ofrezca alta precisión y resistencia a las condiciones de operación en el entorno agrícola o ganadero.

En la tabla 11 se indica las especificaciones técnicas de los sensores de pH.

Tabla 11
Especificaciones técnicas del sensor de PH

Parámetro	H-101pH electrode	Cupla Sensor pH H-101pH electrode
Rango de Medición	pH 0 - 14	pH 0 - 14
Material de la Esfera	Vidrio industrial de alta calidad	Vidrio estándar
Temperatura de Operación	-10°C a 80°C	-10°C a 60°C
Precisión	Alta precisión	Precisión moderada
Conexión	Salida analógica o digital	Salida analógica o digital
Aplicación	Industrial, agua, suelos y líquidos agrícolas	Soluciones agrícolas y monitoreo general

Nota: En la tabla se detallan los requerimientos que debe cumplir el sensor de pH, el cual será instalado en el área donde se almacenan los residuos orgánicos del ganado bovino.

Este sensor tiene la función de medir el nivel de pH en el ambiente, lo cual es crucial para evaluar el estado de los residuos y asegurar condiciones adecuadas para su descomposición. Además, el sensor debe ser capaz de resistir las condiciones adversas del entorno, como la humedad, las variaciones de temperatura y la exposición a productos orgánicos, garantizando mediciones precisas y confiables a lo largo del tiempo.

En la tabla 12 se realiza la comparación respectiva con los requerimientos directamente relacionados que me permitan seleccionar el tipo de sensor de pH a utilizar.

Tabla 12
Selección del sensor de pH

	Requerimientos					
	StRS1	SyRS6	SyR8	SyRS9	SyRS19	Total
Cupla Sensor pH H-101pH electrode	2	2	2	2	2	10
Senova pH Sensor	2	2	1	1	1	7
Cumple totalmente 2						
Cumple parcialmente 1						
No cumple 0						

Elección: Se selecciona el sensor de pH H-101pH electrode debido a su alta precisión y su capacidad para operar en condiciones ambientales difíciles. Este sensor es ideal para el entorno de trabajo de este proyecto, ya que cumple con los requisitos específicos para el sistema IoT, garantizando mediciones confiables del pH en los residuos orgánicos. Su resistencia a las condiciones adversas del entorno agrícola lo convierte en una opción adecuada para asegurar un monitoreo eficiente y preciso.

Nota: Elección del sensor de pH de acuerdo con los requerimientos establecidos anteriormente para el correcto funcionamiento del Sistema Iot

3.3.8.1.3 Sensor de Temperatura y humedad del ambiente

En la tabla se indica las especificaciones de los sensores de temperatura seleccionados, para luego elegir uno de ellos en base a los requerimientos.

Tabla 13
Especificaciones técnicas del sensor de Temperatura.

Parámetro	DHT22	LM35	DHT11
Rango de Temperatura	-40 a 80 °C	-55 a 150 °C	0 a 50 °C
Precisión	± 0.5 °C	± 0.5 °C	± 0.2 °C
Alimentación	3.3 a 6 V	4 a 30 V	3 a 5 V
Tiempo de medición	2s	70 ms	2s
Cubierta	Plástico	Plástico	Plástico
Escenarios de medición	Ambiental	Ambiental	Ambiental/Humedad
Longitud del cable	1 m (versión con cable)	No tiene	No tiene

Nota: Resumen de características técnicas de sensores de temperatura.

En la tabla 13 se hace referencia a los requerimientos que debe cumplir el sensor de temperatura, el cual estará ubicado dentro del lugar donde se almacena los desechos orgánicos del ganado bovino, el mismo que tiene que medir temperatura y humedad.

Tabla 14
Selección del sensor de temperatura

Selección del Sensor de Temperatura.								
Hardware	Requerimientos							
	StRS5	StRS6	SyRS7	SyRS8	SRS11	SRS1	SRS7	Total
DHT22	2	1	2	2	2	1	1	11
LM35	1	2	2	2	0	1	1	9
DHT11	2	2	2	2	2	1	2	13

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección: El sensor DHT11 se selecciona por su facilidad de instalación, resistencia ambiental y buena compatibilidad con el sistema, asegurando mediciones confiables en condiciones rurales.

Nota: La tabla muestra la evaluación comparativa de sensores de temperatura según criterios clave de instalación, resistencia, funcionamiento y compatibilidad, facilitando la selección adecuada para el proyecto. Fuente: Autoría.

Después de analizar las opciones disponibles, se selecciona el sensor DHT11 debido a su equilibrio entre facilidad de instalación, resistencia a condiciones climáticas adversas y capacidad para funcionar de manera continua. Además, su compatibilidad con la placa y módulos facilita la integración al sistema, asegurando mediciones confiables y precisas. Aunque otros sensores también cumplen con varios aspectos, el DHT11 ofrece la combinación más adecuada para las condiciones ambientales rurales y las exigencias del proyecto.

3.3.8.1.4 Sensor de Temperatura al contacto de alta precisión

Para seleccionar el sensor de alta precisión adecuado para medir la variable, es necesario conocer las especificaciones de dicho sensor. Esto permitirá tener un mejor entendimiento de sus características técnicas y facilitará una elección informada y adecuada para el proyecto

En la tabla 15 se indica estas especificaciones técnicas.

Tabla 15

Especificaciones técnicas de los sensores de temperatura de alta precisión

Parámetro	Pt100	TMP36
Rango de Medición	-50°C a 500°C	-40°C a 125°C
Precisión	±0.1°C a ±0.3°C	±0.1°C
Interfaz	Analógico o Digital	Analógico
Resistencia	100Ω a 0°C	100Ω a 0°C
Aplicaciones	Industrial, precisa para temperaturas extremas	General, aplicaciones con temperaturas moderadas.
Tiempo de Respuesta	1 segundo	1 segundo
Voltaje de Operación	3.3V a 5V	1.8V a 3.6V
Corriente de Consumo	1mA	2mA

Nota: Resumen de características técnicas de sensores de temperatura. Fuente: (Electronics,2023)

En la tabla 16 se indica se indica cuáles deben ser los requerimientos que debe cumplir el sensor.

Tabla 16

Elección de los sensores de temperatura para su elección.

Requerimientos					
	StRS1	SyRS6	SyR8	SyRS19	Total
Pt100	2	2	2	2	8
TMP36	2	2	1	1	6

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple

Elección: Se eligió el Pt100 debido a su alta precisión y robustez en aplicaciones industriales. Aunque el TMP36 es adecuado para temperaturas moderadas, el Pt100 es más confiable y preciso en ambientes de altas temperaturas, lo cual es crucial para las aplicaciones de monitoreo de temperatura en entornos de descomposición de residuos orgánicos. Además, el Pt100 cumple con los requisitos de precisión y confiabilidad necesarios para asegurar un monitoreo continuo y exacto en condiciones extremas.

Nota: La tabla muestra la evaluación comparativa de sensores de temperatura según criterios clave de instalación, resistencia, funcionamiento y compatibilidad, facilitando la selección adecuada para el proyecto. Fuente: Autoría.

3.3.8.1.5 Sensor de Humedad de Residuos

La humedad es un parámetro clave en el monitoreo de los residuos orgánicos, ya que influye directamente en la tasa de descomposición y en la emisión de gases como el metano. Controlar y medir la humedad adecuadamente permite optimizar el proceso de descomposición y evitar la acumulación de líquidos que puedan afectar la estabilidad de los residuos. Para este propósito, es crucial contar con un sensor de humedad que garantice alta precisión y fiabilidad en condiciones de humedad variable y ambientes agrícolas o ganaderos, asegurando así un

monitoreo eficiente de los residuos y facilitando la gestión de estos. En la tabla 17 se pueden apreciar los requerimientos técnicos de los sensores de humedad.

Tabla 17
Especificaciones técnicas de los sensores de humedad

Parámetro	Higrómetro	SHT10
Tecnología de medición	Resistiva	Capacitiva
Rango de medición de humedad	0-100% RH (humedad relativa)	0-100% RH
Precisión de medición	Variable, depende de la calibración y condiciones	±3% entre 20% y 80% RH
Salidas	Analógica y Digital	Digital (I2C)
Rango de operación de temperatura	0-50 °C	-40 a 125 °C
Consumo de Energía	Bajo, menos de 20 mA	Bajo, típicamente 0.3 mA a 0.5 mA
Voltaje de Operación	3.3V-5V	3.3V-5V

Nota: Resumen de características técnicas de sensores de temperatura. Fuente: (Electronics,2023)

A continuación, en la tabla 18 se realiza la elección del sensor en base a los requerimientos.

Tabla 18
Requerimientos de los sensores de humedad

	Requerimientos					
	SyRS6	SyRS8	SyR9	SyRS19	SyRS22	Total
Higrómetro	2	2	2	2	2	10
SHT10	2	2	2	1	1	8
Cumple totalmente 2						
Cumple parcialmente 1						
No cumple						
Elección: En base a la comparación, el higrómetro es el sensor recomendado debido a su capacidad para resistir condiciones ambientales difíciles, su facilidad						

de integración con el sistema y su bajo costo. Además, cumple con todos los requisitos necesarios para monitorear la humedad de manera efectiva dentro del entorno de descomposición de residuos orgánicos.

Nota: La tabla muestra la evaluación comparativa de sensores de humedad según criterios clave de instalación, resistencia, funcionamiento y compatibilidad, facilitando la selección adecuada para el proyecto. Fuente: Autoría.

3.3.8.2 Microcontrolador para el nodo sensor

El sistema embebido es el dispositivo encargado de recibir los datos provenientes de sensores, actuadores, módulos, entre otros. A continuación, en la Tabla 19 se detallan las especificaciones técnicas de los sistemas embebidos.

Tabla 19
Especificaciones de Microcontroladores

Parámetro	Arduino Uno	Arduino Nano	Arduino Mega 2560 Pro Mini
Microcontrolador	ATmega328	ATmega328	ATmega2560
Voltaje	5V	5V	5V
Pines de entrada/salidas digitales	14	14	54
Pines analógicos	6	8	16
Memoria Flash	32 KB Flash	32 KB Flash	256 KB Flash
Almacenamiento	EEPROM 1KB	EEPROM 1KB	EEPROM 4KB

Nota: Descripción de las principales especificaciones de los microcontroladores. Fuente: (Electronics,2023)

A continuación, en la Tabla 20, se indican las respectivas valoraciones asignadas a cada placa, para verificar su cumplimiento.

Tabla 20
Elección del Microcontrolador

Selección del Microcontrolador					
Hardware	Requerimientos				
	SRSH1	SRSH3	SRSH6	SRSH7	Total
Arduino Uno	2	2	2	1	7
Arduino Nano	2	2	2	1	7
Arduino Mega 2560 Pro Mini	2	2	2	2	8
Cumple Totalmente 2					
Cumple Parcialmente 1					
No cumple 0					

Elección: Se selecciona Arduino Mega 2560 Pro Mini por disponer de memoria y pines suficientes para las librerías de pH, temperatura y humedad; integrar nativamente módulos Wi-Fi; ofrecer un factor de forma que aloja y protege todos los sensores; y garantizar plena compatibilidad entre placa, módulos y sensores.

***Nota:** La tabla muestra la evaluación comparativa de los microcontroladores según criterios clave de instalación, resistencia, funcionamiento y compatibilidad, facilitando la selección adecuada para el proyecto. Fuente: Autoría.*

Tras analizar los requerimientos de compatibilidad con librerías para pH, temperatura y humedad; la integración eficiente con los módulos de comunicación Wi-Fi; la capacidad física para albergar y proteger todos los sensores y

componentes; y la interoperabilidad entre placa, módulos y sensores, se confirma que el Arduino Mega 2560 Pro Mini es la opción idónea.

Su amplia memoria y recursos permiten incluir sin restricciones las librerías necesarias; su mayor número de pines facilita la conexión simultánea de sensores y módulos LPWAN; su tamaño y diseño soportan alojar y proteger el conjunto de dispositivos; y su compatibilidad nativa con shields Wi-Fi garantiza una integración robusta. Por tanto, el Arduino Mega 2560 Pro Mini ofrece la solución más completa y fiable para un nodo sensor escalable y resistente.

3.3.8.3 Microprocesador para el Gateway

Para el envío de los datos a la capa de servicio es necesario un microprocesador que será el encargado de recibir los datos del Arduino Mega Pro, los datos serán enviados en formato JSON, el microcontrolador debe estar conectado a una red WIFI, a continuación, en la siguiente tabla se presenta las especificaciones de los microcontroladores que podrían satisfacer los requerimientos.

Tabla 21
Especificaciones técnicas del módulo de comunicación.

Parámetros	ESP8266	ESP32	Raspberry Pi 1 Model B Rev 2
Voltaje de alimentación	2.5 V – 3.6 V	2.3 V – 3.6 V	5 V vía microUSB o GPIO
Temperatura de Operación	–40 °C a 125 °C	–40 °C a 125 °C	0 °C a 70 °C
Frecuencia de Reloj	Hasta 160 MHz	Hasta 240 MHz (dual core)	700 MHz (single core ARM11)
RAM	< 50 kB para uso del usuario	520 kB SRAM + 8 kB RTC	512 MB SDRAM (compartida con GPU)
Memoria flash externa.	Hasta 16 MB por SPI	Hasta 16 MB SPI flash externa	microSD (hasta 32 GB o más)

Procesador	Tensilica L106 32-bit RISC	Xtensa® LX6 de 32 bits (1 o 2 núcleos)	ARM1176JZF-S (32-bit)
Pines digitales	17 GPIOs	34 GPIOs	26 GPIOs
Pines analógicos	1 ADC (10 bits)	18 ADC (12 bits) + 2 DAC (8 bits)	No tiene ADC nativo
Estándar de Comunicación	Wi-Fi 802.11 b/g/n	Wi-Fi 802.11 b/g/n + Bluetooth v4.2	Ethernet 10/100, USB

Nota: La tabla presenta una comparación de las características técnicas, resaltando las diferencias en procesamiento, memoria y conectividad, aspectos que, junto con los requisitos específicos, permitirán seleccionar el módulo de comunicación más adecuado. Fuente: (Electronics,2023)

En base a los requerimientos a continuación en la tabla 22 se realiza la elección del módulo de comunicación, basados en la compatibilidad y los protocolos de comunicación.

Tabla 22
Selección del módulo de comunicación.

Requerimientos						
	StRS1	SyRS1	SyRS17	SYrS20	SRSH13	Total
Esp8266	2	2	2	1	1	10
Esp32	2	2	2	2	2	12
Raspberry Pi1 Model B	2	2	1	2	1	9
Cumple totalmente 2						
Cumple parcialmente 1						
No cumple 0						

Elección: Con base en los requerimientos funcionales y técnicos establecidos, se concluye que el ESP32 es el módulo de comunicación más adecuado para el sistema, ya que cumple completamente con todos los criterios evaluados. Su conectividad Wi-Fi integrada, compatibilidad con protocolos eficientes y facilidad de integración con plataformas de monitoreo lo convierten en la opción más robusta y versátil frente al ESP8266 y la Raspberry Pi 1 Model B.

Nota: La tabla evalúa y compara la adecuación de distintos módulos de comunicación según criterios funcionales y técnicos, destacando al ESP32 como la opción que cumple de manera integral con los requerimientos del sistema. Fuente: Autoría.

3.3.8.4 Selección de Fuente de Alimentación

En la arquitectura propuesta, el Arduino Mega Pro Mini se integra dentro de la capa de sensores, debido a que su función principal es la adquisición, acondicionamiento y digitalización de las señales provenientes de los sensores. El módulo ESP32 WROOM se define como parte de la capa de red, ya que es el encargado exclusivo de la transmisión inalámbrica de los datos mediante WiFi hacia la capa de servicios. Esta separación funcional permite una mejor comprensión del flujo de información y facilita el análisis del consumo energético por capas del sistema IoT.

La Tabla 23 incluirá el consumo energético de la capa de Sensores, lo que facilitará hacer un cálculo detallado y seleccionar la batería más adecuada para cubrir las necesidades del sistema.

Tabla 23

Consumo energético de la capa de la Capa de Sensores (Sensores y Microcontrolador Arduino Mega Pro Mini).

Dispositivo	Consumo
Capa de Sensores	
Sensor de Gas MQ-135	150 mA
Sensor de temperatura al contacto PT100	1 mA
Cupla Sensor Ph (esfera de vidrio, H-101pH)	3 mA
Sensor de Temperatura y Humedad Ambiente (DTH11)	1 mA
Sensor de humedad para los residuos (Higrómetro)	1 mA
Arduino Mega Pro Mini	40 mA
Total	196 mA

Nota: Consumo de Energía en la Capa de Física

En la Tabla 24 se presenta el consumo energético correspondiente a la Capa de Red. De acuerdo con la arquitectura del sistema, esta capa emplea un microprocesador ESP32, el cual es responsable de la conectividad y de la transmisión de los datos hacia las capas superiores del sistema.

Tabla 24

Consumo energético de la capa de Red

Dispositivo	Consumo
ESP32 WROOM	50 mA
Total	50 mA

Nota: Consumo total de la Capa de Red

Según el amperaje necesario para alimentar el circuito, el cual es de 246mA y corresponde a los dispositivos que lo componen, se utiliza la ecuación para determinar el consumo de la batería.

El consumo total calculado del sistema corresponde a valores nominales obtenidos a partir de las hojas de datos de los dispositivos. No obstante, durante la operación real pueden presentarse picos de corriente, especialmente en el módulo de comunicación inalámbrica ESP32, así como pérdidas asociadas a los reguladores de voltaje.

Por esta razón, se aplica un factor de seguridad del 50 % en el dimensionamiento de la fuente de alimentación, con el fin de garantizar un funcionamiento estable y confiable del sistema. De esta manera, la corriente requerida se calcula como:

Cálculo de la corriente requerida para la fuente de alimentación

$$I_{fuente} = 246mA \times 1.5 = 369mA$$

Considerando un margen de seguridad del 50 %, la fuente de alimentación debe ser capaz de suministrar al menos 370 mA. Por lo tanto, el uso de una fuente de 12 V y 5 A garantiza estabilidad, permite futuras expansiones del sistema y evita caídas de tensión durante picos de consumo.

3.3.9 Selección de Software

Una vez seleccionado el hardware adecuado, el siguiente paso es la elección del software, que debe alinearse con los requisitos establecidos en la tabla de requerimientos. Es crucial que el software sea compatible con los dispositivos utilizados y que garantice una comunicación fluida entre el hardware y el entorno de programación. El software debe permitir la integración de los diferentes componentes, como los sensores y el módulo de comunicación, y ser capaz de procesar los datos de manera eficiente. Además, se deben considerar las librerías y

plataformas necesarias para asegurar un rendimiento óptimo, facilitando la visualización y el análisis de los datos en la plataforma de monitoreo.

3.3.9.1 Selección del Software para el Nodo Sensor

El microcontrolador del nodo sensor debe ser programado adecuadamente para desempeñar su función de forma eficiente. Para ello, es necesario utilizar un software que facilite la codificación y gestión del firmware de estos dispositivos. Tras una evaluación preliminar, se consideran las opciones de Python y Arduino IDE, debido a su compatibilidad con el Arduino Mega Pro Mini, y al respaldo que ofrecen sus comunidades. La comparación de sus características y funciones específicas se presenta en la Tabla 25 con el fin de elegir la alternativa más adecuada.

Tabla 25

Comparación de los requerimientos para elección del software del nodo sensor.

	Requerimientos					
	SyRS6	SyRS9	SyR16	SyRS18	SyRS20	Total
Arduino IDE	2	2	2	2	2	10
Python	2	2	2	2	1	8
Cumple totalmente 2						
Cumple parcialmente 1						
No cumple						
Elección: Arduino IDE						

Nota: La tabla muestra la puntuación para la elección de la placa de desarrollo del sistema, obteniendo como mejor opción el Arduino IDE. Fuente. Autoría propia.

Se eligió el Arduino IDE debido a su alta compatibilidad con los sensores y módulos utilizados en el sistema, así como por su facilidad de uso y rapidez en la

implementación de los componentes del hardware. El Arduino IDE es una plataforma ligera, adecuada para tareas de control de dispositivos en tiempo real, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren respuestas rápidas y manejo directo de sensores mediante pines digitales y analógicos. Además, al estar basado en un lenguaje sencillo como C++, permite una programación eficiente con bajo consumo de recursos, lo cual es perfecto para entornos como el monitoreo de residuos orgánicos, donde los recursos computacionales y energéticos son limitados.

3.3.9.2 Selección del Software del Gateway

En el nodo Gateway se incorporarán distintos dispositivos programables, por lo que será necesario utilizar software compatible con cada uno de ellos. En particular, se requerirá de herramientas específicas que contribuyan al cumplimiento del objetivo planteado en este trabajo. Para la programación del ESP32, se seleccionará el entorno Arduino IDE, ya que ha sido diseñado para trabajar con una amplia variedad de microcontroladores, incluyendo el ESP32. Su uso se justifica por la disponibilidad de librerías, la facilidad de configuración y el respaldo activo de la comunidad. Por estas razones, no se considera necesario realizar una comparación con otros entornos de desarrollo.

Sin embargo, el enfoque principal estará en mantener la compatibilidad con el ESP32 y garantizar una gestión eficiente de los datos recopilados.

3.3.9.3 Entorno de programación del Sistema IoT

Para el entrenamiento del algoritmo de clasificación K-Nearest Neighbors (KNN), es fundamental contar con herramientas de software que permitan el desarrollo, prueba y ajuste del modelo de forma eficiente. En este proyecto se

utilizará el lenguaje de programación Python, debido a su simplicidad, versatilidad y la disponibilidad de librerías especializadas en aprendizaje automático.

A continuación, en la tabla 26, se presenta una comparación entre Google Colab y Visual Studio Code, considerando los requerimientos específicos del proyecto. Esta comparación permitirá determinar cuál de los dos entornos se ajusta mejor a las necesidades del entrenamiento del algoritmo KNN, tomando en cuenta aspectos como facilidad de uso, compatibilidad con librerías de Python.

Tabla 26

Comparación de los entornos de programación para el entrenamiento del modelo KNN.

Parámetro	Google Colab	Visual Studio Code (VS Code)
Facilidad de uso	No requiere instalación; interfaz amigable para principiantes.	Requiere instalación y configuración de Python y extensiones.
Ejecución y recursos	Basado en la nube, acceso a GPU/TPU gratuito para entrenamiento.	Depende del hardware local; sin acceso directo a GPU si no se configura.
Compatibilidad de librerías	Totalmente compatible; muchas librerías ya preinstaladas.	Compatible; se deben instalar manualmente mediante pip o entorno virtual.
Gestión de archivos	Limitado a archivos cargados o desde Google Drive.	Control completo sobre archivos locales y estructuras de proyecto.
Colaboración	Permite compartir notebooks con facilidad mediante enlaces.	Requiere integración con Git o plataformas externas para trabajo colaborativo.
Entorno de ejecución	Ejecución remota (Google servers).	Ejecución local en el equipo del usuario.

Nota: Se describen las principales características y propiedades que ayudan a determinar que entorno seleccionar y de esta manera ser considerado como entorno de programación para el desarrollo del sistema.

En la tabla 25 se puede apreciar los requerimientos que se relacionan con el sistema y de los cuales se evaluará para realizar una elección del entorno de acuerdo con dichos requerimientos.

Tabla 27

Tabla de selección del software en base a los requerimientos del sistema

Software	Requerimientos						Total
	SRSH12	SRSH14	SRSH15	SRSH16	SRSH17	SRSH19	
Google Colab	1	2	2	2	1	1	10
Visual Studio Code	2	1	2	2	2	2	11

Cumple Totalmente

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección: Visual Studio Code, ya que este software cumple con todos los requerimientos del sistema y proporciona mayor confiabilidad en cuanto al resultado establecido y que pueda apreciar la persona para tomar una decisión.

Nota: En la tabla se presentan las principales diferencias entre Google Colab y Visual Studio Code en cuanto a facilidad de uso y disponibilidad de recursos para el entrenamiento de modelos KNN. Google Colab ofrece un entorno accesible sin instalación y con soporte de GPU/TPU en la nube.

3.3.9.4 Base de Datos

Para la elección de la base de datos se presenta en la Tabla 28 algunas de sus características relevantes para aportar en su selección.

Tabla 28

Comparación de bases de datos: FireBase BD, MySQL y PostgreSQL.

Parámetro	FireBase BD	MySQL	PostgreSQL
Escalabilidad	Muy fácil de escalar, especialmente en aplicaciones en la nube.	Escalable, aunque con limitaciones	Altamente escalable, ideal para manejar grandes volúmenes de datos

Rendimiento	Excelente para aplicaciones en tiempo real	Muy bueno para aplicaciones con un alto volumen	Ofrece un excelente rendimiento en consultas complejas
Facilidad de Uso	Fácil de implementar y gestionar en aplicaciones	Bien soportado, muchas herramientas disponibles	Requiere algo más de configuración
Seguridad	Proporciona autenticación y autorización integrada.	Tiene soporte para SSL/TLS y encriptación de datos.	Permite configuraciones avanzadas como la autenticación GSSAPI, LDAP y certificados SSL.
Soporte	Soporte muy activo	Recursos comunitarios, además de soporte profesional	Documentación extensa y una comunidad activa.

***Nota:** En la tabla se comparan tres sistemas de gestión de bases de datos en aspectos clave como escalabilidad, rendimiento, facilidad de uso, seguridad y soporte. FireBase BD destaca por su facilidad de implementación y escalabilidad en la nube, MySQL por su robustez y soporte comunitario, y PostgreSQL por su alto rendimiento en consultas complejas y sus avanzadas características de seguridad. Fuente: Autoría propia.*

A continuación, en la tabla 29 se indica los requerimientos que debe cumplir la base de datos.

Tabla 29

Evaluación de las bases de datos según los requerimientos del sistema.

Requerimientos						
	StRS5	SyRS19	SyRS6	SyRS10	SyRS17	Total
FireBase	2	2	2	1	2	9
MySQL	2	1	1	2	2	8
PosgreSQL	1	2	2	2	1	8

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple

Elección: Después de analizar los requerimientos del sistema y las necesidades específicas de mi proyecto, se ha determinado que Firebase es la opción más adecuada para gestionar la base de datos en el contexto del monitoreo de residuos orgánicos

Nota: Los puntajes obtenidos muestran que FireBase cumple en mayor medida con las necesidades específicas del proyecto, siendo seleccionada como la opción más adecuada para gestionar la información en el monitoreo de residuos orgánicos. Fuente: Autoría propia.

3.3.9.5 Software de Visualización

Con el fin de facilitar el acceso y la evaluación de la información recolectada por el sistema, se crearán tanto una aplicación móvil como una aplicación web. La aplicación móvil permitirá a los agricultores acceder en tiempo real a los datos, además de recibir notificaciones cuando los desechos estén en condiciones ideales para ser usados como fertilizantes. A su vez, la aplicación web proporcionará una visualización más exhaustiva, lo cual permitirá revisar el historial de datos mediante gráficos interactivos que muestran la progresión de las variables analizadas. También contará con un módulo que mostrará el funcionamiento del servidor local junto con el algoritmo KNN, el cual se encargará de organizar los datos para apoyar la toma de decisiones respecto al manejo de los desechos. La aplicación web está

orientada principalmente a la persona encargada de supervisar los datos, ya que de esta manera se podrá tener un mayor control y llevar un registro que contribuya a futuras investigaciones.

En base a los requerimientos y necesidades del prototipo, se estableció la implementación del sistema en un servidor en la nube. Para este propósito se utilizó la plataforma Render, la cual permite desplegar proyectos en un host gratuito y de disponibilidad continua. Dicha plataforma se encuentra integrada con GitHub, repositorio donde se almacenan los datos, archivos y modelos necesarios para el funcionamiento del sistema, los mismos que anteriormente eran empleados en ejecución local.

3.4 Diseño

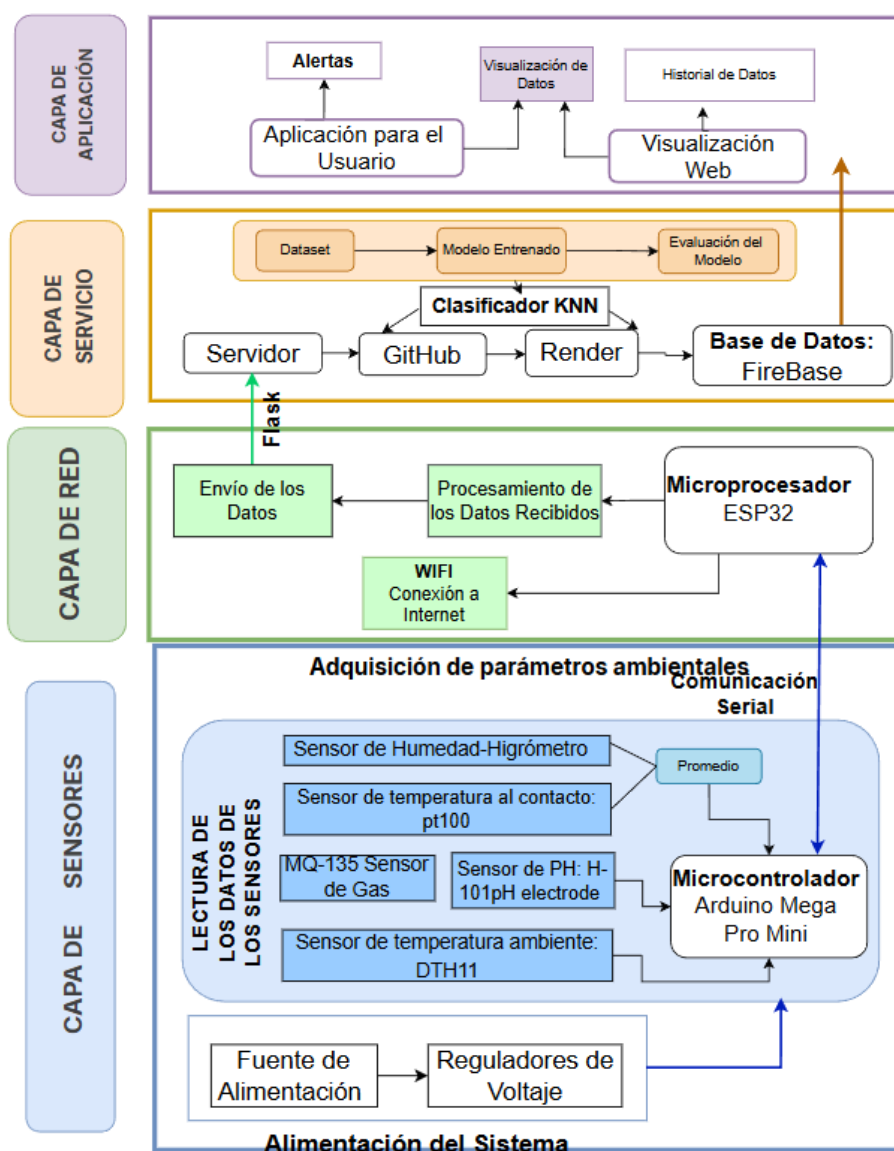
El diseño del sistema se fundamenta en una arquitectura modular que permita la integración eficiente de los componentes hardware y software. En esta fase, se especifican los módulos de adquisición, procesamiento, comunicación y visualización de datos, garantizando que cada uno cumpla con los requerimientos funcionales y operacionales establecidos.

3.4.1 Diagrama de bloques general del sistema.

En esta sección, mediante un diagrama de bloques, se muestra el diseño general del sistema, que se lo ha diseñado en base a las capas del modelo Iot.

En la figura 12, se muestra la arquitectura a modo de diagrama de bloques general; para de esta manera tener una mejor comprensión de las funciones llevadas en las 4 etapas, que se explican a continuación.

Figura 12
Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema



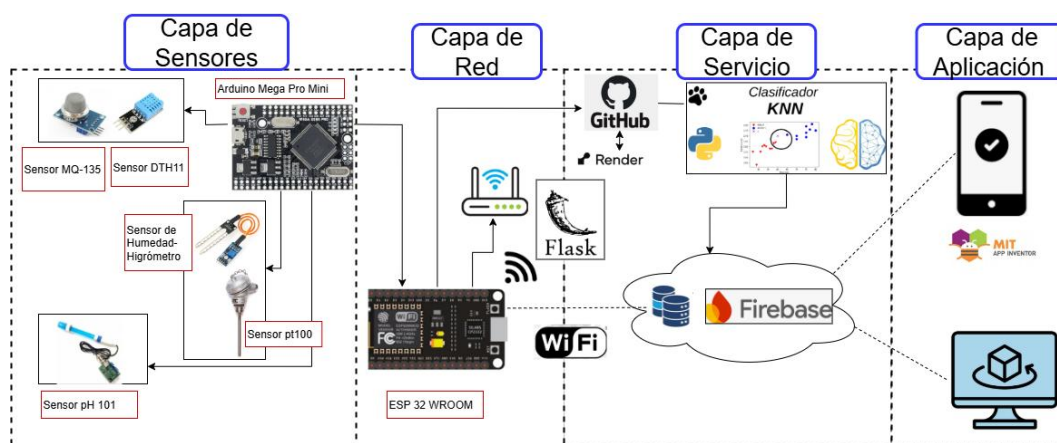
Nota: El diagrama de bloques ilustra el funcionamiento de un modelo de Internet de las Cosas (IoT), detallando sus capas, los dispositivos que lo componen y los protocolos de comunicación utilizados. El sistema se divide en varias capas principales que trabajan en conjunto para la recolección, transmisión, procesamiento y visualización de datos. Fuente: Autoría propia.

En la Figura 13 se ilustra la estructura del sistema IoT diseñado para supervisar desechos orgánicos en granjas ganaderas. Este sistema está conformado por cuatro niveles: la capa de sensores, que registra elementos como pH, temperatura, humedad y gases; la capa de red, que envía la información mediante

una red inalámbrica; la capa de servicio, donde se analizan los datos utilizando algoritmos como KNN para determinar su potencial como fertilizantes; y la capa de aplicación, que presenta los hallazgos en una interfaz útil para los ganaderos. Este sistema promueve un manejo eficiente de los desechos orgánicos y contribuye a su uso sostenible en la agricultura.

La representación gráfica de la Figura 13 ilustra con mayor detalle los aspectos previamente mencionados.

Figura 13
Arquitectura del sistema IOT



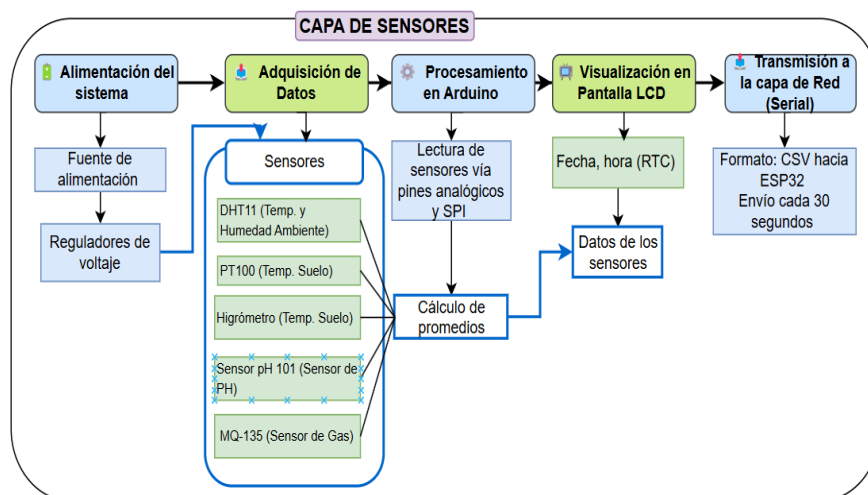
Nota: Esta imagen representa la arquitectura de un sistema IoT, ofreciendo una visualización clara de su funcionamiento. Es una herramienta clave para comprender de manera intuitiva cómo los datos fluyen desde su origen hasta el usuario final. Fuente: Autoría propia.

3.4.1.1 Diagrama de bloques de la Capa de Sensores

En esta etapa se realiza la recopilación de los datos de los sensores de humedad, humedad, gas y ph. Cabe mencionar que aquí también se incluye la alimentación del sistema y una visualización local del sistema en una pantalla LCD.

La figura muestra las etapas involucradas en la captura de datos y su preparación para ser transferidos a la siguiente capa.

Figura 14
Diagrama de bloques de los sensores del sistema IoT



Nota: En la imagen se puede apreciar un diagrama de bloques general que ayuda a comprender como esta estructura la capa de sensores del sistema IoT. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se explica que se realiza en cada bloque:

- **Alimentación del sistema:** Este bloque provee la energía estable y protegida que necesitan todos los componentes de la capa de sensores. La fuente de alimentación entrega el voltaje principal y los reguladores de voltaje lo adaptan y filtran para suministrar niveles precisos.
- **Adquisición de Datos:** Aquí se agrupan todos los sensores físicos—DHT11, PT100, higrómetro, pH-101, MQ-135—que miden temperatura, humedad, pH y concentración de gases.
- **Procesamiento en Arduino:** El microcontrolador recibe las señales de los sensores, las convierte de analógico a digital y calcula valores promedio o filtrados para estabilizar las mediciones.
- **Visualización en Pantalla LCD:** Este bloque muestra de forma inmediata, y en tiempo real, las lecturas más relevantes (fecha, hora, temperatura, humedad...) en una pequeña pantalla LCD.

- **Transmisión a la capa de Red (Serial):** Finalmente, el Arduino empaqueta cada conjunto de lecturas en formato CSV y lo envía vía UART hacia el ESP32.

A continuación, en la Figura 15 se indica como se agregaron los sensores en la programación sin embargo en el Anexo 5 se detalla el proceso de programación de los sensores, comenzando por la declaración de los pines.

Figura 15

Declaración de los pines de los sensores.

```
#define RREF 430.0
const int humedadPines[] = {A0, A1, A2, A3}; Humedad
const int numSensoresHumedad = sizeof(humedadPines) / sizeof(humedadPines[0]);
const int phPin = A5; pH
const int metanoPin = A6; Gas

#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); Temperatura y Humedad
del Ambiente

unsigned long ultimoEnvio = 0;
const unsigned long intervaloEnvio = 30000;
```

Nota: En la figura se detalla los pines a los cuales se encuentran conectados los pines de los sensores, para luego ser apreciados en el diagrama físico y considerar su conexión. Fuente: Autoría propia.

A continuación, en la Figura 16 se realiza la lectura de los sensores de humedad del suelo (higrómetros), distribuidos estratégicamente para cubrir toda el área de la fosa de prueba, que tiene una superficie de 12 m². Para garantizar una medición representativa, se utilizan 4 sensores de humedad al contacto y se calcula el promedio de sus lecturas. De igual manera, se emplean 4 sensores de temperatura tipo PT100, cuyas mediciones también se promedian para obtener un valor consolidado.

Figura 16

Lectura de los sensores de temperatura y humedad

```

if (!fault && temp > -50.0 && temp < 200.0) {
    pt100Sum += temp;
    sensoresPT100Validos++;
}
pt100Sensores[i]->clearFault();
}
float pt100Promedio = (sensoresPT100Validos > 0) ? (pt100Sum / sensoresPT100Validos) : 0;

float humedadSum = 0;
for (int i = 0; i < numSensoresHumedad; i++) {
    int valorRaw = analogRead(humedadPines[i]);
    float humedad = map(valorRaw, 0, 1023, 100, 0);
    humedadSum += humedad;
}
float humedadPromedio = humedadSum / numSensoresHumedad;

```

Promedio de los sensores de Temperatura

Promedio de los sensores de Humedad

Nota: En la figura se observa el fragmento de código donde se realizan los cálculos de los valores promedio de los sensores PT100 (temperatura) y de los sensores de humedad. Fuente: Autoría propia.

Para la recolección de datos de los demás sensores, se utiliza un sensor MQ-135 para medir la concentración de gases; este transforma la señal analógica en un valor de voltaje y posteriormente lo convierte a partes por millón (ppm), garantizando que el resultado no sea negativo. Además, se emplea un sensor de pH que convierte una lectura analógica en voltaje y la interpreta dentro de una escala calibrada de pH. Finalmente, el sensor DHT11 se encarga de medir la temperatura y la humedad del ambiente. En la Figura 17 se indica la lectura de los sensores mencionados.

Figura 17

Lectura de valores de pH, metano, temperatura y humedad del ambiente.

```

int phRaw = analogRead(phPin);
float phVoltaje = phRaw * (5.0 / 1023.0);
float phValor = 7 + ((2.5 - phVoltaje) * 3.5);

float vMetano = analogRead(metanoPin) * (5.0 / 1023.0);
float ppmMetano = (vMetano - metanoL) * metaxvolt;
ppmMetano = max(ppmMetano, 0);

float tAmbiente = dht.readTemperature();
float hAmbiente = dht.readHumidity();

```

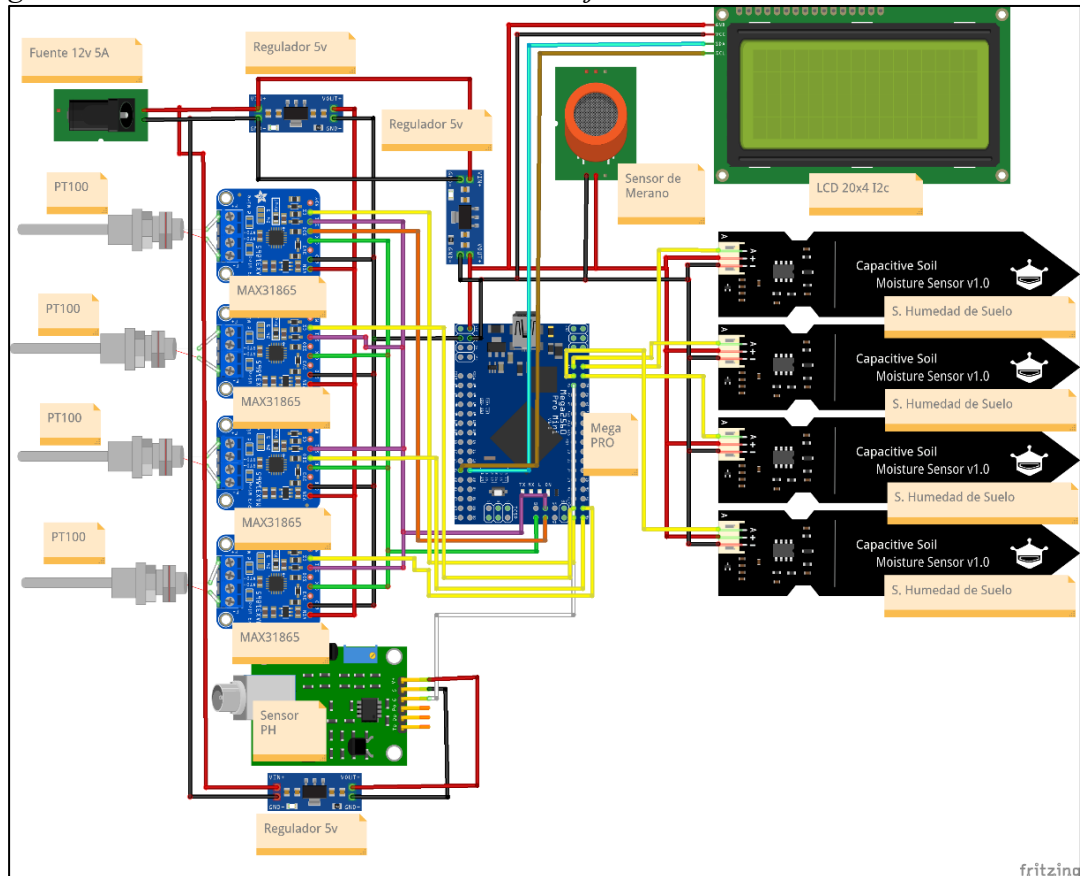
Nota: En la figura se muestra el bloque de código encargado de realizar la lectura de los sensores de pH, metano y del sensor DHT11, que proporciona los valores de temperatura y humedad ambiental. Fuente: Autoría propia.

Cabe señalar que en las imágenes presentadas anteriormente se muestran únicamente fragmentos representativos del código, con el fin de facilitar su comprensión y análisis.

A continuación, en la figura 18 se indica cómo se conectan los componentes al Arduino Mega y cómo los reguladores de voltaje distribuyen la corriente.

Figura 18

Diagrama de conexión de los sensores con la tarjeta de desarrollo.

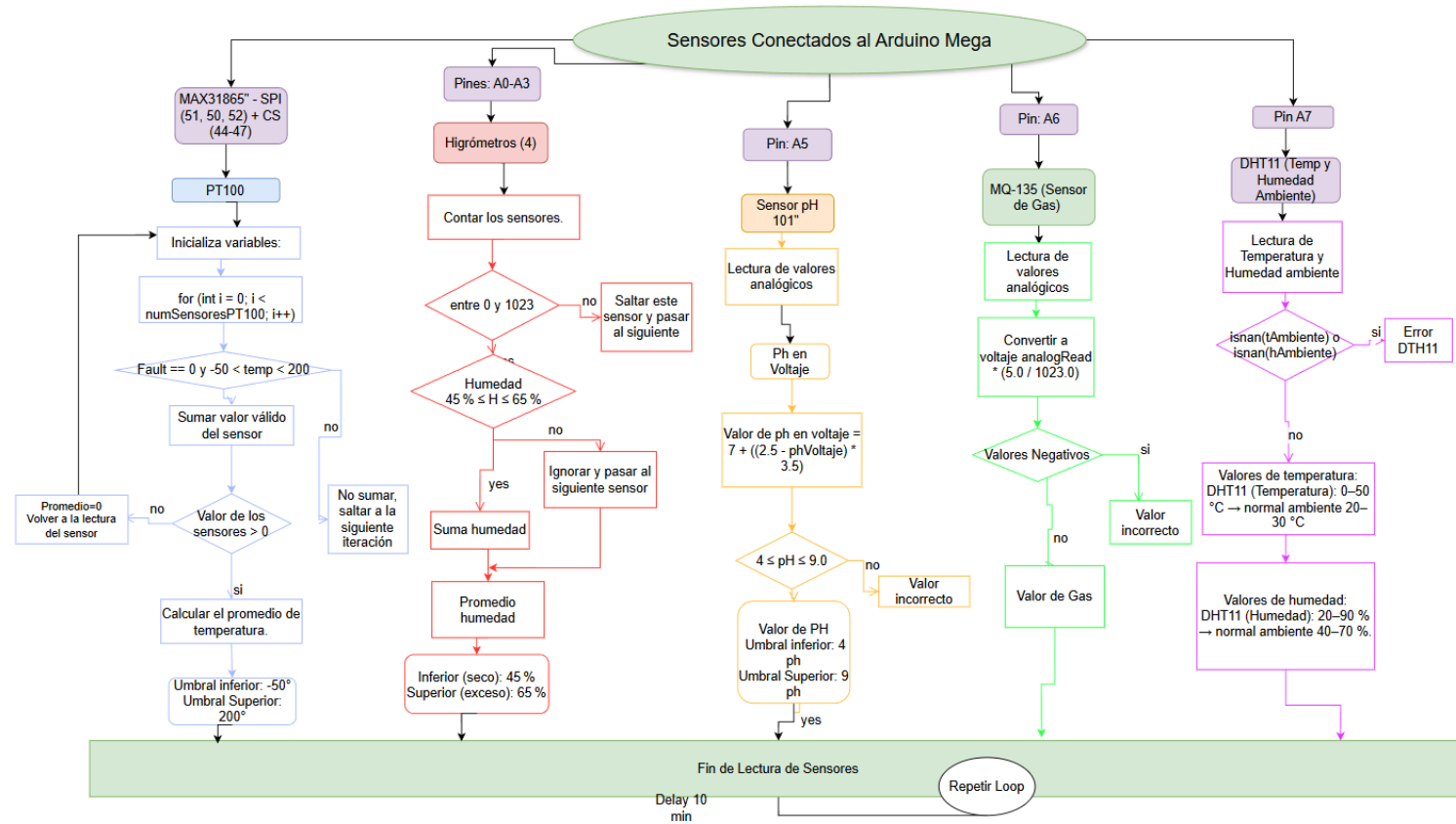


Nota: En la figura se muestra el diagrama esquemático de conexión de los diferentes sensores (PT100, pH, humedad de suelo, metano) y módulos auxiliares (reguladores, pantalla LCD) con la tarjeta Mega Pro. Fuente: Autoría propia.

Además, en la Figura 19 se presenta el diagrama que muestra el flujo de funcionamiento de los sensores y la forma en que estos se encuentran interconectados.

Figura 19

Diagrama de flujo del proceso de lectura y validación de los sensores.



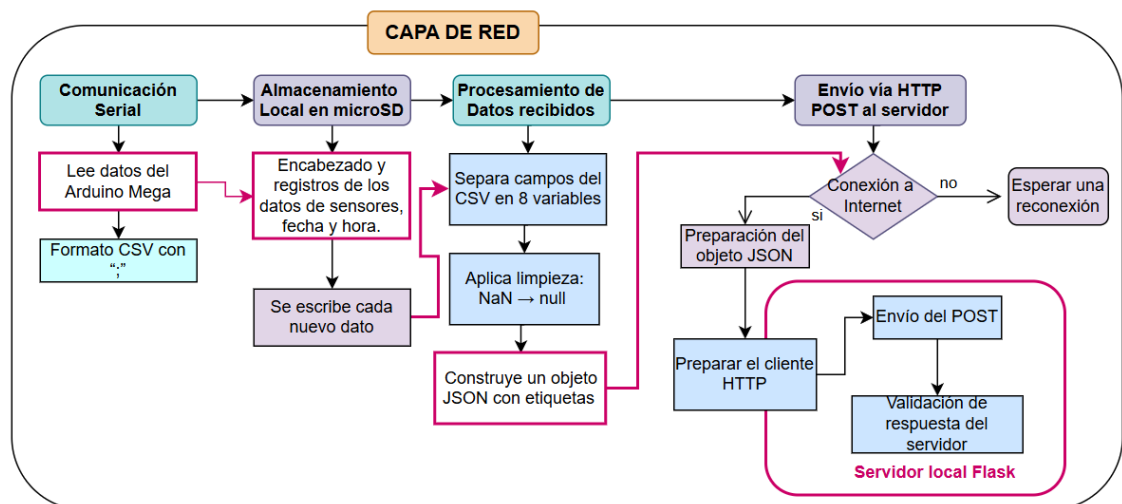
Nota: : En la figura se presenta el diagrama de flujo que describe la secuencia de lectura, verificación y cálculo de los valores obtenidos de los sensores (temperatura, humedad del suelo, pH, gas y DHT11). Fuente: Autoría

3.4.1.2 Diagrama de bloques de la Capa de Red

Una vez recopilados todos los datos de los sensores, la capa de red se encarga de recibirlos desde el Arduino a través de comunicación serial. Estos datos son primero almacenados en una tarjeta microSD como respaldo, y posteriormente procesados por el ESP32, que los organiza en ocho campos correspondientes a las variables medidas. Luego, se construye un objeto en formato JSON con esta información, listo para ser enviado. Finalmente, el ESP32, mediante una conexión a Internet y utilizando el protocolo HTTP a través de Flask, transmite los datos a un servidor local, donde serán analizados mediante el algoritmo KNN y almacenados en una base de datos. En la Figura 20 se puede apreciar el diagrama de bloques que representa la capa de Red

Figura 20

Diagrama de la capa de red y flujo de procesamiento de datos.



Nota: Proceso de la capa de red, desde la comunicación serial con el Arduino Mega hasta el envío de los datos hacia el servidor mediante el protocolo HTTP POST. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se detalla, que se realiza en cada bloque de la capa de Red:

- **Comunicación Serial:** El ESP32 recibe desde el Arduino Mega los datos de los sensores mediante comunicación serial.
- **Almacenamiento Local en microSD:** Los datos recibidos se guardan en una tarjeta microSD como respaldo. Se registra un encabezado y, posteriormente, cada lectura se almacena como un nuevo registro.
- **Procesamiento de Datos Recibidos:** El ESP32 separa los valores en ocho variables, limpia datos inválidos como “NaN” y crea un objeto JSON con etiquetas para facilitar su envío.
- **Envío vía HTTP POST al servidor:** Si hay conexión a Internet, el ESP32 prepara y envía el JSON a un servidor local mediante HTTP POST. Si no hay conexión, espera hasta poder reintentarlo.

La comunicación entre la capa de sensores y la capa de red se realiza a través de una conexión serial entre el Arduino Pro Mini y el ESP32. Una vez recibidos los datos, el ESP32 los almacena, los procesa y posteriormente los envía a la siguiente capa para su análisis.

En la figura 21 se muestra cómo se establece la comunicación serial que permite al ESP32 recibir los datos enviados desde el Arduino

Figura21

Configuración de pines y comunicación serial en el programa.

```
#define SD_CS 5
#define RXD2 16
#define TXD2 17
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
```

Nota: En la figura se observa la declaración de pines y la inicialización de los puertos de comunicación serial en el bloque `setup()`.
Fuente: Autoría propia.

Posteriormente, el ESP32 organiza los datos en un formato JSON con etiquetas específicas para cada variable medida. Una vez estructurados, estos datos son enviados a un servidor local a través de una solicitud HTTP POST, utilizando el protocolo Flask como intermediario en la capa de servicio.

En la figura 22 se indica la como se establece la conexión con el servidor, sin embargo, el anexo 6 se puede apreciar el código completo que ayuda a realizar el envío completo d ellos datos desde el Esp a la plataforma de monitoreo

Figura 22

Código de envío de datos mediante protocolo HTTP POST.

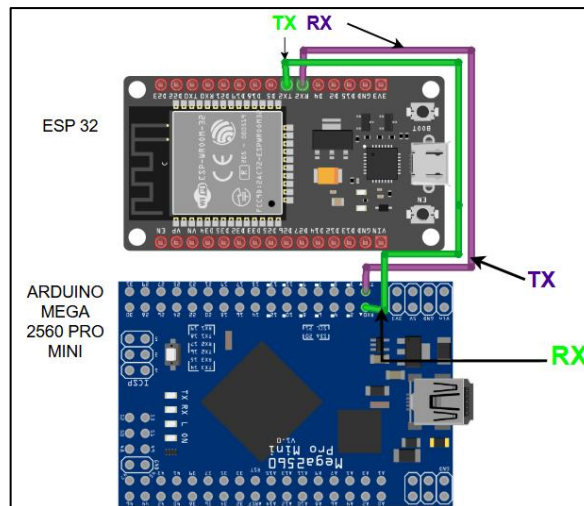
```
HTTPClient http;
http.begin(serverUrl);
http.addHeader("Content-Type", "application/json");

int code = http.POST(json);
if (code > 0) {
  String respuesta = http.getString();
  Serial.println("Servidor respondió: " + respuesta);
} else {
  Serial.printf("Error al enviar HTTP POST: %d\n", code);
  Serial.println("JSON enviado:\n" + json);
}
http.end();
else {
  Serial.println("Formato no válido");
```

Nota: Fragmento de código encargado de establecer la comunicación entre el ESP32 y el servidor a través del protocolo HTTP POST. Fuente: Autoría propia.

En la figura 23 se muestra la comunicación serial, indicando los pines conectados entre el ESP32 y el Arduino para la transmisión y recepción.

Figura 23
Diagrama de Conexión UART para Gateway ESP32 - Arduino Mega Pro Mini

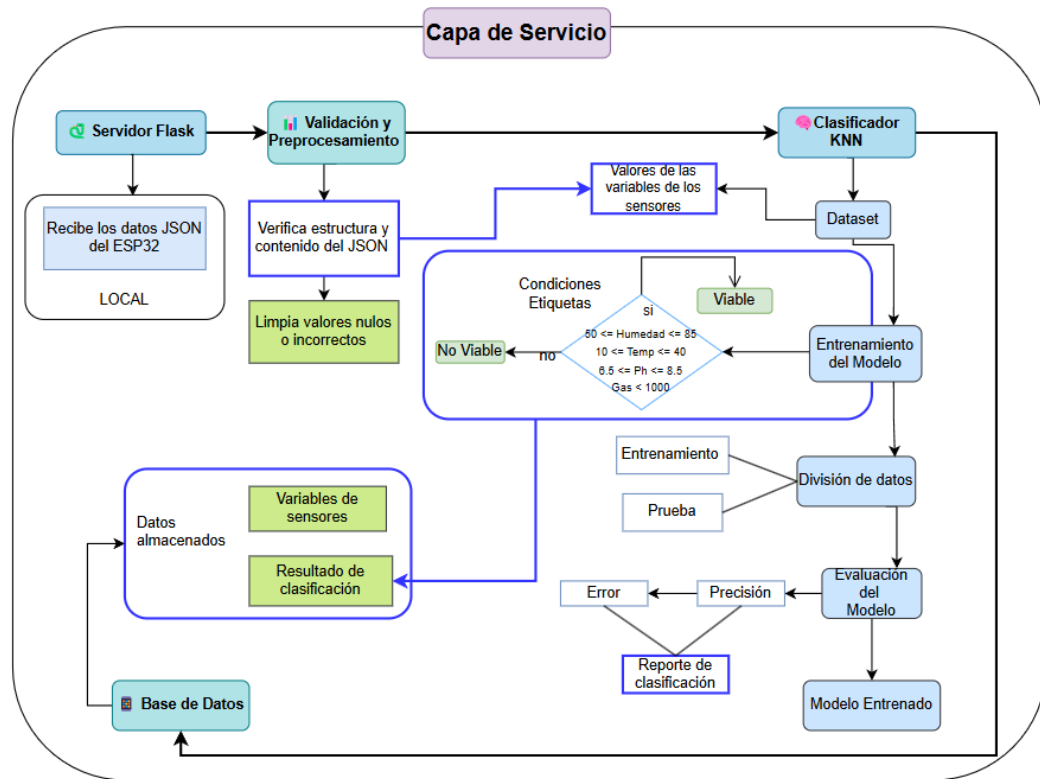


Nota: Se muestra la interconexión de los pines de transmisión (TX) y recepción (RX) entre ambos microcontroladores. Fuente: Autoría propia

3.4.1.3 Diagrama de bloques de la Capa de Servicio

En la Figura 24 se presenta la capa de servicio, la cual recibe los datos provenientes de la capa de red mediante el servidor Flask. En esta capa se realiza el procesamiento, etiquetado y entrenamiento del dataset, así como la clasificación de los datos. Esta clasificación permite enviar la información a la siguiente capa, la capa de aplicación, donde los datos son visualizados por el usuario final y utilizados para la generación de alertas.

Figura 24
Diagrama de la capa de servicio y clasificación con KNN.



Nota: La figura muestra el proceso en la capa de servicio, desde la recepción y validación de los datos del ESP32 hasta su clasificación con el modelo KNN. Se incluyen las etapas de preprocesamiento, entrenamiento, evaluación y almacenamiento de resultados en la base de datos. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se explica brevemente cómo funciona cada bloque del diagrama representado en la Figura 24

- **Servidor Flask:** Componente responsable de recibir los datos generados por el ESP32 en formato JSON. Opera de manera local, permitiendo la comunicación inicial entre el dispositivo IoT y el sistema.
- **Validación de Preprocesamiento:** Etapa encargada de verificar la estructura y el contenido de los datos recibidos, asegurando que estén completos y correctamente formateados. También se realiza la limpieza de valores nulos o inconsistentes.

- **Clasificador KNN:** Se aplica un conjunto de reglas sobre las variables de sensores (pH, humedad, temperatura, gas) para determinar si un registro se etiqueta como "Viable" o "No Viable". Estas etiquetas se utilizan en el proceso de entrenamiento del modelo.
- **Base de Datos:** Almacena los datos originales provenientes de los sensores junto con los resultados de clasificación. Esto permite registrar el historial de mediciones y facilita su análisis posterior.

En la figura 25 se indica las condiciones que se establecen en el código:

Figura 25

Código de clasificación del nivel de viabilidad

```

if 6.5 <= ph <= 8.5:
    criterios_viables += 1
if 50 <= humedad <= 85:
    criterios_viables += 1
if 10 <= temp <= 40:
    criterios_viables += 1
if gas < 1000:
    criterios_viables += 1

if criterios_viables == 4:
    return "Muy Viable"
elif criterios_viables == 3:
    return "Viable"
elif criterios_viables == 2:
    return "Poco Viable"
else:
    return "No Viable"

```

Nota: En el código se definen condiciones adicionales para evaluar la viabilidad del entorno en distintos niveles: "Muy Viable", "Viable", "Poco Viable" o "No Viable", considerando los parámetros de pH, humedad, temperatura y concentración de gases. Fuente: Autoría Propia.

Para entrenar el modelo se hizo uso del lenguaje de Python, se utilizó un enfoque basado en reglas para etiquetar los datos según su viabilidad, considerando valores óptimos de ciertas variables ambientales. A cada fila del dataset se le asignó la etiqueta "Viable" si cumplía con las siguientes condiciones:

- pH entre 6.5 y 8.5
- Humedad entre 50% y 85%
- Temperatura entre 10 °C y 40 °C
- Nivel de gas menor a 1000 unidades

El modelo fue entrenado con el algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) utilizando un valor de $k=7$ inicialmente. Este valor representa el número de vecinos más cercanos considerados para la clasificación de un nuevo dato.

En el anexo 7 se indica como está programado la parte del algoritmo, la validación se realizó utilizando el conjunto de prueba. Se calculó la precisión del modelo, así como el error de clasificación. Además, se generó un reporte de clasificación con métricas como la precisión, recall y F1-score para cada clase. En la Figura 26 se explica un valor máximo de k , mismo que permitirá evaluar la precisión del modelo.

Figura 26

Evaluación del mejor valor de k en el algoritmo KNN

```

modelo = KNeighborsClassifier(n_neighbors=k, weights='distance')
modelo.fit(X_tr_s, y_tr)
y_pred = modelo.predict(X_te_s)

scores.append(accuracy_score(y_te, y_pred))

promedio = sum(scores) / len(scores)
if promedio > mejor_score:
    mejor_score = promedio
    mejor_k = k
return entrenar(mejor_k)

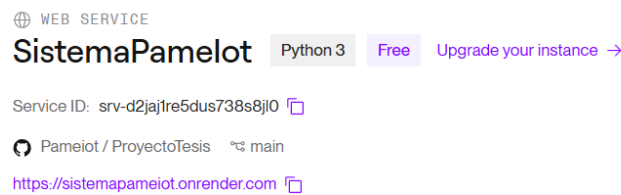
```

Nota: En el fragmento de código se prueba iterativamente el rendimiento del modelo K-Nearest Neighbors (KNN) con distintos valores de k . Se calcula la precisión (accuracy) y se selecciona el valor de k que arroje el mejor desempeño promedio en las predicciones. Fuente: Autoría Propia

Para desarrollar la aplicación web se realizó 4 archivos con extensión .html (index.html, gráfica.html, kn.html, entrenamiento.html), en estos archivos se encuentra en diseño de la aplicación web, en la que se diseña los 4 botones principales. Para acceder a la interfaz de la aplicación, la plataforma Render permite abrirla desde cualquier lugar con conexión a internet. Para ello, únicamente es necesario disponer del enlace correspondiente al servicio desplegado.

Figura 27

Despliegue del sistema IoT en la plataforma Render



Nota: Se muestra la interfaz de la plataforma Render donde fue implementado el sistema como servicio web y es accesible públicamente a través del dominio generado por Render. Fuente: Autoría Propia.

En la figura 28 es posible observar los datos que se recolectan, con la fecha y hora.

Figura 28

Interfaz de visualización de datos en tiempo real del sistema IoT

FECHA	HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD	GAS	PH	T.AMBIENTE	H.AMBIENTE
2025-09-15	06:55	20.51	70.44	97.12	6.95	18.37	59.19
2025-09-15	06:50	22.67	65.86	58.13	7.04	19.1	68.68
2025-09-15	06:49	18.0	91.2	108.43	6.07	16.64	62.54
2025-09-15	06:48	18.0	72.7	15.54	5.39	16.03	50.82
2025-09-15	06:44	18.93	83.84	77.65	8.17	15.38	70.63
2025-09-15	06:43	39.03	70.18	130.97	6.96	16.93	59.72
2025-09-15	06:42	28.73	81.89	95.49	6.32	9.73	58.27
2025-09-15	06:41	19.85	76.5	94.17	6.76	8.5	70.14
2025-09-15	06:40	20.75	85.07	124.96	6.54	12.75	51.35
2025-09-15	06:39	26.77	87.46	93.01	6.78	9.97	62.22

Nota: La imagen muestra la sección de monitoreo del sistema IoT, donde se registran y visualizan en tiempo real las variables ambientales obtenidas: temperatura, humedad, gas metano (ppm), pH, y temperatura ambiente. Fuente: Autoría Propia.

Además, en la sección de visualización gráfica, es posible observar cómo se representan los datos en tiempo real, permitiendo al usuario llevar un registro continuo de las nuevas mediciones. En la Figura 29 se puede apreciar las gráficas en modo historial de todos los datos recolectados.

Figura 29
Visualización gráfica del historial de variables ambientales

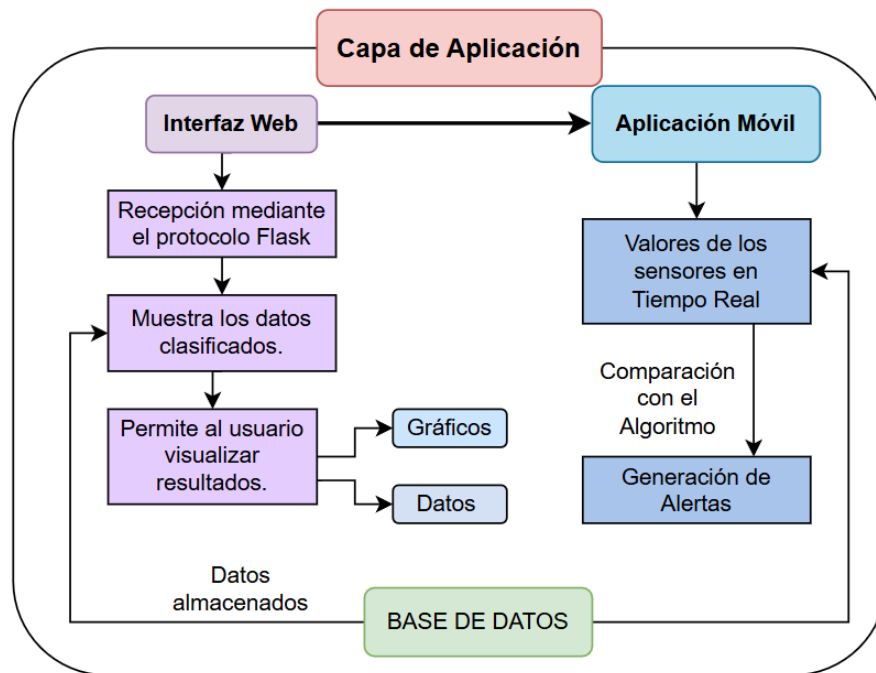


Nota: La imagen presenta el módulo de visualización gráfica del sistema IoT, donde se muestran en modo histórico las variaciones de temperatura y humedad ambiental, temperatura de la fosa y humedad del suelo. Fuente: Autoría propia.

3.4.1.4 Diagrama de bloques de la Capa de Aplicación

En la capa de aplicación, el usuario puede visualizar los datos de los sensores relacionados con el estado del estiércol del ganado bovino mediante gráficos, lo que facilita una comprensión más clara de la información. Además, tiene la opción de consultar los datos almacenados previamente. Un aspecto clave de esta capa es el sistema de alertas, que notifica al usuario sobre la viabilidad de los desechos orgánicos, permitiendo una gestión más eficiente y oportuna.

Figura 30
Diagrama funcional de la capa de aplicación del sistema IoT



Nota: Se observan dos vías principales: la interfaz web, que recibe y presenta los datos al usuario mediante gráficos y tablas, y la aplicación móvil, que monitorea en tiempo real los valores de los sensores, los compara con un algoritmo de clasificación y genera alertas. Fuente: Autoría propia.

En la figura se puede apreciar subbloques que se explican a continuación:

- **Interfaz Web:** Este es el punto de acceso principal para el usuario, donde se visualizan todos los datos procesados y clasificados. La interfaz se desarrolla utilizando tecnologías web (HTML, CSS y JavaScript) y se comunica con el servidor Flask para obtener los datos de los sensores y las alertas. Su propósito es proporcionar una experiencia amigable y accesible.
- **Aplicación Móvil:** Permite al usuario acceder a los datos desde su dispositivo móvil y recibir alertas en tiempo real. La aplicación móvil también se conecta

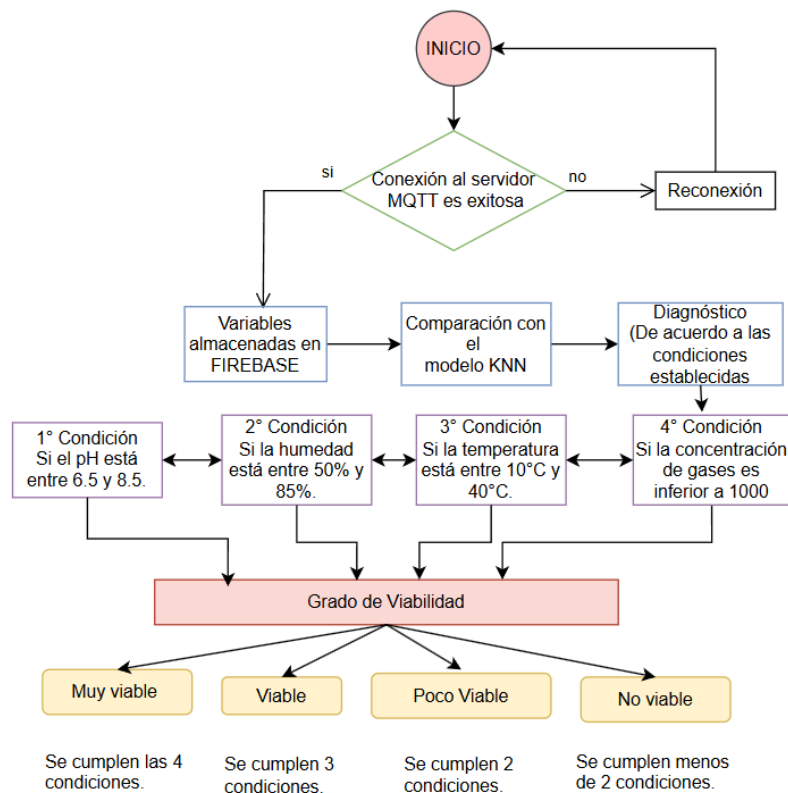
al servidor Flask para obtener los datos de los sensores y las alertas generadas por el sistema

- **Base de Datos:** La base de datos almacena los datos históricos de los sensores junto con sus respectivas etiquetas (viabilidad). Esto permite almacenar la información para futuras consultas, análisis y visualización en la interfaz web. Además, al tener estos datos guardados, es posible realizar análisis a largo plazo sobre las condiciones de los desechos orgánicos.

En la figura 31 se muestra el flujo de los datos a través de la aplicación, detallando cómo se procesan para ser presentados en la interfaz móvil.

Figura 31

Diagrama de flujo del proceso de clasificación de viabilidad.



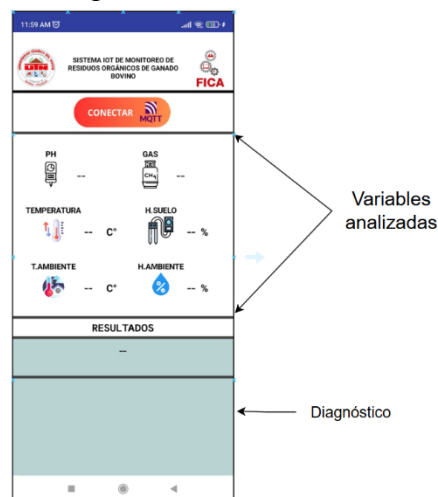
Nota: La figura muestra el proceso lógico del sistema para determinar el grado de viabilidad de los residuos orgánicos. Según la cantidad de condiciones cumplidas, se clasifica el entorno como “Muy viable”, “Viable”, “Poco viable” o “No viable”. Fuente: Autoría Propia.

Además, se explican los posibles diagnósticos que se pueden obtener al realizar las pruebas, los cuales están determinados por el cumplimiento de las condiciones preestablecidas, como el pH, la humedad, la temperatura y la concentración de gases.

Para el desarrollo de la aplicación móvil se utilizó la herramienta App Inventor, la cual permite programar mediante bloques visuales. A través de esta plataforma, se logró establecer la conexión con la base de datos Firebase, donde se almacenan las variables previamente mencionadas. Estas incluyen: temperatura y humedad ambiental, temperatura de precisión, humedad en la fosa en contacto con los desechos, concentración de gases y pH. En el anexo 8 se puede apreciar los bloques de la aplicación desarrollada.

Figura 32

Interfaz de la aplicación móvil para visualización de variables y diagnóstico



Nota: Se presenta la interfaz gráfica de la aplicación móvil del sistema IoT, donde se muestran las variables analizadas (pH, gas metano, temperatura, humedad del suelo y del ambiente). Fuente: Autoría Propia

Además, en la aplicación se deben identificar las variables que permiten definir las condiciones para generar el diagnóstico. Es decir, según las comparaciones realizadas con el modelo, se extraen los resultados y se presentan en la interfaz de la aplicación.

Durante la fase de mantenimiento del sistema IoT, posterior a las pruebas de funcionamiento, se llevaron a cabo actividades orientadas a garantizar la estabilidad del sistema y la confiabilidad de las mediciones obtenidas, considerando las condiciones ambientales presentes en los establos ganaderos, tales como humedad, polvo y acumulación de residuos orgánicos.

El mantenimiento ejecutado consistió principalmente en la limpieza de los sensores y componentes del sistema, debido a que estos se encontraban expuestos directamente al estiércol bovino y a condiciones ambientales adversas. La limpieza se realizó de forma manual, utilizando materiales adecuados que no afectaron la integridad ni el funcionamiento de los sensores, permitiendo eliminar restos de suciedad que podían alterar las mediciones.

Figura 33

Sensor de Humedad al contacto



Nota: Se indica que el sensor se encuentra en mejores condiciones para que la toma de datos continúe con precisión

Adicionalmente, se realizó la verificación de los sensores, especialmente aquellos encargados de medir pH, temperatura, humedad y gases. Esta calibración se efectuó comparando los valores obtenidos por los sensores con valores de referencia.

En la Figura 34 se puede apreciar cómo se encuentra finalmente el sensor de PH luego del proceso de limpieza.

Figura 34

Limpieza del Sensor de PH



Nota: Imagen del sensor de Ph, el cual se encuentra recubierto de tuvo pvc, para garantizar que no se afecte la cupla, una parte delicada del sensor

A continuación, se indica la figura del señor de Temperatura al contacto, luego de haber realizado al limpieza y mantenimiento.

Figura 35
Limpieza del sensor PT100 (Sensor de temperatura)



Nota: En la imagen se aprecia como después del proceso de mantenimiento y limpieza el sensor se encuentra en mejores condiciones.

De esta manera los sensores se encuentran en mejores condiciones, lo que permite que los valores de las variables se mantengan dentro del rango establecido y no generes alteraciones en los resultados.

CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo, se presentan las pruebas de funcionamiento global del sistema de monitoreo de las condiciones de los desechos orgánicos del estiércol de ganado bovino. Estas pruebas se realizaron con el objetivo de evaluar la efectividad del sistema en el monitoreo y análisis de variables clave como la temperatura, humedad y concentración de gases, que afectan las condiciones del estiércol.

4.1 Casos de Pruebas

Se presentan los diferentes casos de prueba considerados indispensables para validar el funcionamiento final del sistema.

4.1.1 Test Eléctrico

Test Eléctrico

Descripción

Pruebas eléctricas del Sistema con la activación de los microcontroladores del sistema y los sensores.

Prerrequisitos:

1. Adquisición de la Fuente de Voltaje para la alimentación de todo el circuito
2. Adquisición de reguladores de voltaje para la alimentación de cada microcontrolador y sus sensores, en función del voltaje y la corriente requeridos.

Pasos:

- ✓ Verificación de conexión de la fuente de Voltaje
-

-
- ✓ Verificación de las conexiones de los reguladores de voltaje para cada microcontrolador.
 - ✓ Verificación del encendido del circuito electrónico.
 - ✓ Verificación de la activación de los sensores.

Resultado esperado

Mediante la fuente regulable de voltaje y los reguladores, activar el circuito electrónico.

Resultado Obtenido

Las pruebas eléctricas del sistema se inician mediante la activación del circuito IoT. El valor de voltaje requerido para su correcto funcionamiento es de 12–15 V. Este valor se verifica con el uso de un multímetro, realizando la medición en el pin de salida de voltaje. En la Figura 33 se muestra el valor de voltaje registrado en la salida del adaptador de poder del sistema IoT.

Figura 36

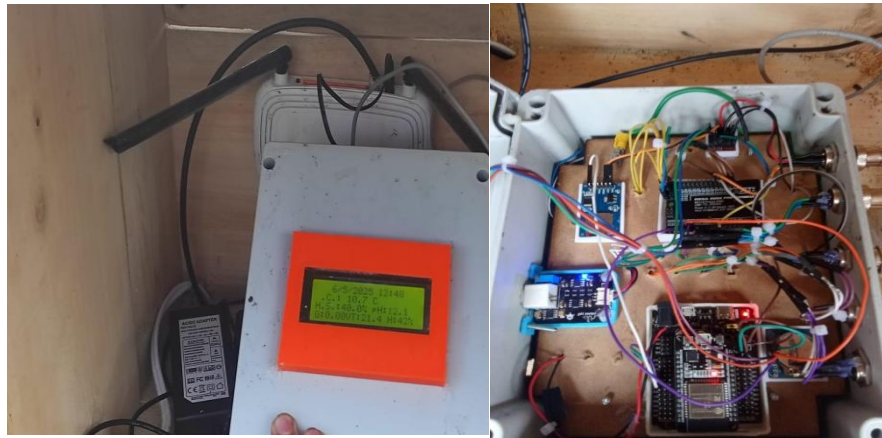
Medición de la salida de la fuente de Poder



Fuente: Elaborado por el autor.

El indicador de la activación del Sistema IoT se puede verificar que en la pantalla Lcd, se indica la fecha y la hora, además de los valores de los sensores que se encuentran en ese instante. En la Figura 34 se puede apreciar que el sistema se encuentra conectado y con datos de Fecha, Hora y valores de los sensores que forman parte del circuito.

Figura 37
Valores en la Pantalla LCD, conexiones internas del Circuito



Fuente: Elaborado por el Autor

Además, existen indicadores de encendido de los microcontroladores como se puede apreciar en la imagen anterior, así también es posible verificar el inicio correcto del sistema,

4.1.2 Test de Hardware

Test de Hardware

Descripción

Pruebas de dispositivos electrónicos utilizados para el desarrollo del Sistema

Prerrequisitos:

3. Adquisición de los microcontroladores y sensores
-

-
4. Revisión de los puertos USB 3.0 de los microcontroladores, para la comunicación de datos.
 5. Estudio de las conexiones y calibración de los sensores.
 6. Instalación del Sistema IoT en un lugar seguro.

Pasos:

- ✓ Verificación de la conexión de los microcontroladores.
- ✓ Verificación de la conexión de los pines de los sensores.
- ✓ Verificación de funcionamiento de los sensores.

Resultado esperado

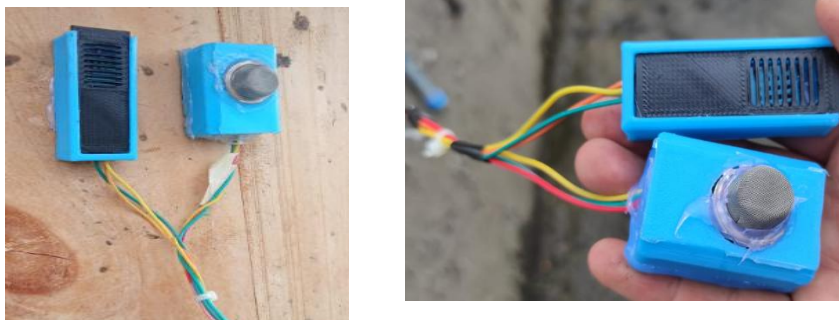
El sistema debe ser capaz de activar los señores que se encuentran conectados al microcontrolador, para luego sus valores ser enviados al microprocesador, para posteriormente ser enviados a la capa de Red.

Resultado Obtenidos

Inicialmente se debe verificar que los sensores se encuentren correctamente instalados en el ambiente correcto, para que los valores sean los precisos para el posterior análisis. Como se puede apreciar a continuación.

Para la implementación de los sensores de temperatura, humedad ambiental y gas, se instalaron en una ubicación cercana a la fosa de residuos orgánicos. Esto permite obtener valores representativos de gas y temperatura correspondientes a este sector. Es importante destacar que los sensores están adecuadamente recubiertos, garantizando así su protección frente a las condiciones climáticas y evitando posibles inconvenientes en su funcionamiento.

Figura 38
Instalación del sensor de Gas, humedad y temperatura ambiente.



Fuente: Elaborado por el Autor

Para la implementación del sensor de pH, es fundamental tener en cuenta ciertas precauciones. El sensor debe ubicarse a una altura adecuada, asegurándose de que únicamente la parte del sensor destinada a evaluar el pH entre en contacto con la sustancia. Además, para garantizar su seguridad y buen funcionamiento, el sensor está protegido por un recubrimiento dentro de un tubo de PVC, lo cual previene que factores externos, como lodo, agua u otras sustancias, interfieran en su desempeño.

Figura 39
Instalación del sensor de PH



Fuente: Elaborado por el Autor

Para la integración de los sensores de temperatura al contacto (PT100) con los desechos orgánicos, se implementaron de manera que se encuentren protegidos dentro de un tubo de PVC, con el fin de evitar posibles daños por las condiciones climáticas. Se priorizó que los sensores estén en contacto directo con los desechos orgánicos, garantizando así mediciones precisas y confiables.

Figura 40
Instalación de los sensores de temperatura al contacto



Fuente: Elaborado por el autor

Como parte del monitoreo de los desechos orgánicos, se emplean sensores de humedad que deben estar adecuadamente protegidos para garantizar su durabilidad y precisión en las mediciones. Para evitar daños causados por factores externos, es esencial que estos sensores cuenten con un recubrimiento de tubo PVC. Este material ofrece una barrera contra impactos y condiciones adversas. Además, la correcta ubicación de los sensores alrededor de la fosa es fundamental para obtener lecturas precisas de los niveles de humedad en el entorno. Los sensores deben estar cuidadosamente posicionados para que puedan tomar mediciones adecuadas y representativas de los valores de humedad del área monitoreada.

En la figura se puede evidencia como están recubiertos, para luego ser colocados en el área de instalación

Figura 41
Instalación de los sensores de humedad



Fuente: Elaborado por el autor.

Este sensor, al estar recubierto con un tubo PVC, puede ser instalado dentro de la fosa donde se almacenan los desechos orgánicos, lo que le permite tomar las mediciones necesarias. En la figura se puede observar el espacio específico donde se encuentra ubicado, garantizando así su correcta función en el monitoreo de los niveles de humedad.

Figura 42:
Ubicación de los sensores de humedad dentro de la fosa para el monitoreo de los desechos orgánicos.



Fuente: Elaborado por autor

Para verificar que la conexión y calibración de los sensores que se encuentran conectados al microcontrolador es posible verificar mediante la visualización de los valores en la pantalla LCD, como se indica en la Figura 40

Figura 43
Valores de los sensores en la Pantalla LCD



Fuente: Elaborado por el Autor

Además, es posible verificar que los datos se están enviando desde el microcontrolador el Arduino Pro Mini, al ESP32, en la Figura 41 se puede verificar que los datos son enviados exitosamente.

Figura 44
Datos de los sensores enviados desde el Arduino Mega Pro Mini

```

157 | Serial.println("Datos enviados al ESP32");
158 | }
159 |
160 | delay(1000);
161 | }
162 |

```

Output Serial Monitor ×

Message (Enter to send message to 'Arduino Mega or Mega 2560' on 'COM3')

Datos enviados al ESP32
 Datos enviados al ESP32

Fuente: Elaborado por autor

4.1.3 Test de Software, Lógico

Test de Software, Lógico

Descripción

Pruebas funcionales del software y visualización de datos para la implementación del sistema.

Prerrequisitos:

1. Análisis de requerimientos del sistema.
2. Estudio del entorno de programación Visual Studio Code
3. Estudio y desarrollo de la aplicación Web para la visualización del funcionamiento del sistema.
4. Estudio del Algoritmo KNN para ser aplicado en las pruebas

Pasos:

- ✓ Visualización de adquisición de datos en el Arduino MEGA Pro Mini y sus sensores.
- ✓ Visualización del procesamiento de información
- ✓ Visualización de tratamiento de información
- ✓ Visualización de generación de Alertas

Resultado esperado

El sistema deberá transmitir los datos obtenidos por los sensores desde la capa física hacia la capa de red. Posteriormente, la capa de red, representada por el microcontrolador ESP32, será la encargada de enviar esta información a un hosting para su procesamiento y tratamiento. De forma simultánea, los datos se registrarán en la base de datos previamente definida (Firebase). Una vez almacenados, los valores serán comparados mediante un algoritmo entrenado

para clasificar los resultados en diferentes categorías de viabilidad: muy viable, viable, poco viable y no viable. Este proceso permitirá al agricultor tomar decisiones informadas. Finalmente, la aplicación mostrará de manera visual los valores capturados por los sensores

Fuente: Elaborado por el autor

En la capa de Red, el microcontrolador ESP32 recibe los datos del Arduino Mega. Luego, el ESP32 se conecta a una red Wi-Fi y, utilizando la dirección de red del servidor, envía los datos a la siguiente capa, que es la capa de servicio. En la figura, se puede observar cómo los datos de los sensores son enviados, recordando que estos datos se transmiten mediante el protocolo Flask.

Figura 45
Comunicación de Red



```
10 const char* ssid = "TP-Link_B680";
11 const char* password = "Soraya123";
12 const char* serverUrl = "http://192.168.1.103:5000/datos";
13
14 unsigned long tiempoAEnvio = 0;
15 const unsigned long tiempoDeEnvio = 60000;
```

Output Serial Monitor X

Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM11')

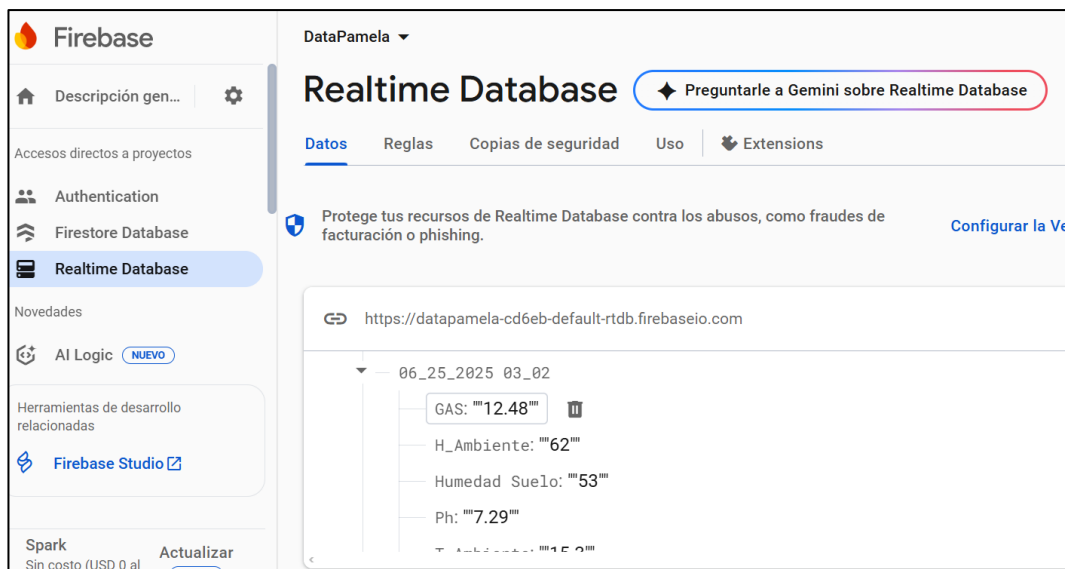
📡 Dato recibido: 12/7/2025;15:48;27.60;61.00;591.00;6.60;14.40;70.00
Servidor respondió: {"mensaje":"Datos recibidos correctamente","status":"ok"}

📡 Dato recibido: 12/7/2025;15:48;29.50;62.20;510.00;6.60;14.40;69.00
Servidor respondió: {"mensaje":"Datos recibidos correctamente","status":"ok"}

Fuente: Elaborado por autor

De esta manera también se puede visualizar que los datos se encuentran correctamente registrados en una base de datos, como se puede indicar en la Figura 46, los datos se encuentran enviándose diariamente.

Figura 46
Registro de los valores en la base de datos



Fuente: Elaborado por el Autor

Además, es indispensable verificar la conexión a internet y garantizar que esta se mantenga activa para evitar la pérdida de datos. En la Figura 43 se muestra cómo, mediante la programación del ESP32, se establece dicha conexión, lo que permite que el dispositivo envíe la información al servidor de la aplicación web a través del protocolo Flask

Figura 47
Conexión al punto de acceso desde el ESP32

```

10 const char* ssid = "TP-Link_B680";
11 const char* password = "Soraya123";
12 const char* serverUrl = "http://192.168.1.103:5000/datos";
13
14 unsigned long tiempoAEnvio = 0;
15 const unsigned long tiempoDeEnvio = 60000;

```

Output Serial Monitor X

Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM11')

Dato recibido: 12/7/2025;15:48;27.60;61.00;591.00;6.60;14.40;70.00
Servidor respondió: {"mensaje":"Datos recibidos correctamente","status":"ok"}

Dato recibido: 12/7/2025;15:48;29.50;62.20;510.00;6.60;14.40;69.00
Servidor respondió: {"mensaje":"Datos recibidos correctamente","status":"ok"}

Fuente: Elaborado por el Autor

4.1.4 Test de Diseño

Test de Diseño

Descripción

Prueba de la capacidad del diseño físico para albergar y proteger los sensores y los componentes electrónicos de las condiciones ambientales extremas (humedad, lodo) del estiércol.

Prerrequisitos:

1. Diseño y construcción del cerramiento o carcasa.
2. Recubrimientos protectores instalados en los sensores.

Pasos:

- ✓ Inspección visual de la carcasa de la electrónica. ü Verificación del sellado y protección de los sensores que entran en contacto con los desechos (pH, PT100, humedad).

Resultado esperado

El diseño debe aislar completamente la electrónica y proteger la parte sensible de los sensores del contacto directo con el ambiente corrosivo.

Resultado Obtenido

El uso de tubos de PVC y sellos de protección demostró ser adecuado para el ambiente. La electrónica de control se mantuvo seca y los sensores inmersos (pH, temperatura, humedad) están protegidos, validando el requerimiento de protección.

En las siguientes figuras se puede apreciar como los sensores se encuentran con la protección necesaria

Figura 48
Sistema instalado en el establo ganadero.



Fuente: Autoría Propia

Figura 49
Sensores instalados con protección de tubo PVC



Fuente: Autoría Propia

Requerimientos del Sistema

4.1.5 Test de Interfaces y Uso

Test de Interfaces y Uso

Descripción

Prueba de la funcionalidad del sistema, validando el acceso remoto, la sencillez de la interfaz gráfica y la funcionalidad de la aplicación móvil.

Prerrequisitos:

1. Aplicación web y móvil operativas.
2. Sistema enviando datos.
3. Conexión a Internet estable.

Pasos:

- ✓ Acceder a la interfaz web y móvil desde un dispositivo remoto.
- ✓ Evaluar la visualización de los datos de viabilidad.
- ✓ Realizar una inspección de usabilidad de la interfaz.

Resultado esperado

La interfaz debe ser clara e intuitiva, El acceso remoto (web/móvil) debe ser funcional.

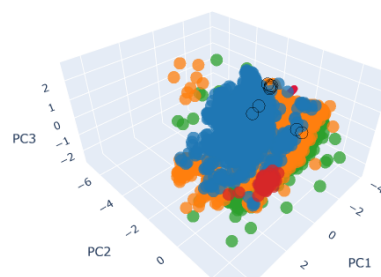
Resultados Obtenidos

Se confirmó el acceso remoto exitoso desde dispositivos móviles. La interfaz demostró ser clara y sencilla, usando indicadores visuales para el estado de los residuos, cumpliendo con los requerimientos de usabilidad.

Figura 50
Aplicación Web para el usuario



Resultado de Predicción



Fuente: Autoría Propia

En la figura 50 se puede apreciar la interfaz de la aplicación de monitoreo, que se presenta para el usuario.

Figura 51
Aplicación móvil para el usuario



Fuente: Autoría Propia

4.1.6 Test de Requerimientos Físicos

Test de Requerimientos Físicos

Descripción

Pruebas de inspección *del* sitio para verificar la resistencia de la carcasa a las condiciones rurales (polvo/humedad), la ubicación estratégica cerca del establo, y la correcta instalación de los sensores.

Prerrequisitos:

1. Sistema ensamblado y operando en el sitio de prueba.
2. La fosa de residuos preparada para la instalación.

Pasos:

- ✓ Inspeccionar la ubicación del sistema respecto al establo
- ✓ Inspeccionar la carcasa tras exposición a intemperie (humedad/polvo).
- ✓ Verificar la correcta inmersión o colocación estratégica de todos los sensores.

Resultado esperado

El sistema debe estar ubicado cerca del establo. La carcasa debe mantener la electrónica seca. Los sensores deben estar ubicados estratégicamente para mediciones representativas.

Resultado Obtenido

Mediante inspección, se confirmó la ubicación estratégica del sistema. La carcasa protectora mantuvo la electrónica aislada de la humedad y el polvo. Se validó la correcta inmersión y colocación de todos los sensores en el estiércol.

4.1.7 Test de Performance y Lógica de Estado

Test de Performance y Lógica de Estado

Descripción

Pruebas de funcionamiento continuo, validación de la calibración, la integridad de los datos.

Prerrequisitos:

1. Sistema operativo y base de datos activa.
2. Umbrales de alerta y lógica de ahorro configurados.
3. Sensores calibrados

Pasos:

- ✓ Ejecutar el sistema por X días sin interrupción
- ✓ Comparar valores leídos en la fuente con los registrados en la nube.
- ✓ Simular un valor fuera del umbral para activar el Modo Alerta

Resultado esperado

El sistema debe demostrar funcionamiento continuo y estable. Los datos registrados deben ser íntegros.

Resultado Esperado

Se validó la fiabilidad operativa del sistema al confirmar su funcionamiento continuo y estable durante el período de monitoreo de X días. Respecto a la calidad del dato, se demostró su integridad, verificando la coincidencia exacta entre los valores capturados en el microcontrolador y los registrados en la plataforma.

Requerimientos de Stakeholders

4.1.8 Test de Requerimientos Operacionales

Test de Requerimientos Operacionales

Descripción

Pruebas de usabilidad y cumplimiento de condiciones operativas esenciales: resistencia y protección ambiental, conectividad para envío de datos, intuitividad de la aplicación y generación continua de alertas al usuario.

Prerrequisitos:

1. El sistema debe haber aprobado las pruebas de estabilidad
2. La aplicación móvil debe estar funcional.
3. El sistema debe estar instalado en su sitio final.

Pasos:

- ✓ Inspeccionar la ubicación cerca del establo.
- ✓ Evaluar la facilidad de instalación y protección contra condiciones adversas.
- ✓ Realizar una prueba de usuario para evaluar la intuitividad
- ✓ Forzar una alerta y verificar la notificación en la aplicación móvil
- ✓ Confirmar la operación continua y el envío de datos con alertas.

Resultado esperado

El sistema debe ser resistente, estar en el lugar adecuado, ser fácil de mantener y proveer al usuario una interfaz intuitiva con alertas.

Pruebas de procesamiento de la información

Las pruebas de procesamiento de información tienen como objetivo verificar la correcta obtención de los valores de los sensores tanto en la aplicación web como en la aplicación móvil. Dichos valores deben encontrarse dentro de los rangos definidos en la fase de diseño, lo que permite establecer condiciones y, en función de ellas, determinar un resultado. Este resultado se clasifica en cuatro categorías: muy viable, viable, poco viable y no viable. En la Tabla 28 se presenta la clasificación junto con los rangos establecidos

Tabla 30

Rango de los valores de acuerdo con la clasificación.

Grado de Viabilidad	Descripción	Condiciones	Rangos de Referencia
Muy Viable	Todas las condiciones se cumplen	4 de 4	pH: 6.5 – 8.5 Humedad: 50% – 85% Temperatura: 10°C – 40°C Gases: < 1000 ppm
Viable	Se cumplen tres condiciones	3 de 4	Al menos 3 parámetros dentro de los rangos establecidos
Poco Viable	Se cumplen dos condiciones	2 de 4	Solo 2 parámetros dentro de los rangos establecidos
No Viable	Se cumple una o ninguna condición	< 2 de 4	Menos de 2 parámetros dentro de los rangos establecidos

Nota: Tabla de resumen de los valores críticos y condiciones asignados para los casos. Fuente: Elaborado por el Autor

A partir de la determinación de los rangos en los que deben encontrarse los valores, se realizan pruebas de verificación que permiten establecer el nivel de viabilidad de los residuos orgánicos. De esta manera, se garantiza un análisis confiable. En la figura correspondiente se observa cómo los datos se registran con una frecuencia de un minuto, reflejándose de forma directa en el sistema.

Figura 52
Valores de los sensores del Sistema IoT

DATOS GRAFICA RESULTADOS ENTRENAMIENTO							
FECHA	HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD	GAS	PH	T.AMBIENTE	H.AMBIENTE
12/7/2025	15:33	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.1	69.0
12/7/2025	15:32	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.4	69.0
12/7/2025	15:32	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.4	69.0
12/7/2025	15:31	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.4	68.0
12/7/2025	15:31	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.4	68.0
12/7/2025	15:30	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.4	67.0
12/7/2025	15:30	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.4	67.0
12/7/2025	15:29	47.0	35.0	1200.0	5.8	14.8	68.0
12/7/2025	15:28	27.0	67.1	443.0	6.6	14.8	71.0
12/7/2025	15:28	28.1	62.1	436.0	6.6	14.8	71.0

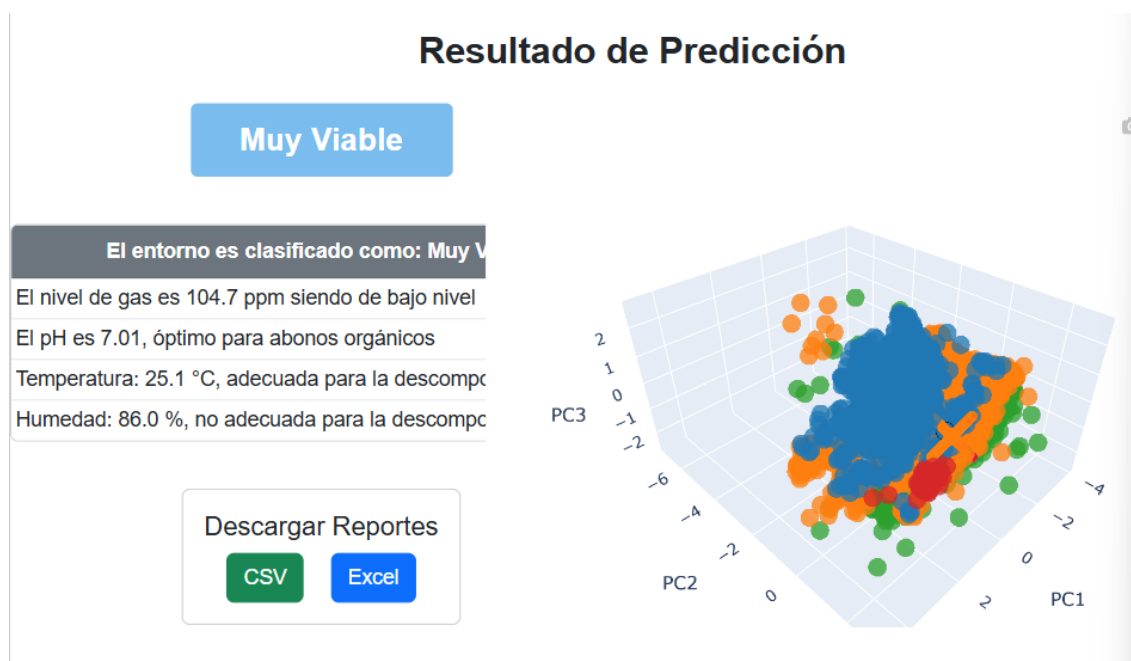
Nota: Valores recolectados durante un periodo determinado de tiempo garantizando el funcionamiento continuo. Fuente: Elaborado por el Autor

A continuación, se presentan las imágenes correspondientes a los cuatro escenarios de prueba definidos para evaluar la viabilidad de los residuos orgánicos. Cada imagen ilustra el estado del sistema según la clasificación establecida: muy viable, viable, poco viable y no viable. Estas representaciones permiten visualizar de manera comparativa los diferentes resultados obtenidos en función del cumplimiento de las condiciones previamente determinadas.

Caso 1

En la figura 53 se observa el resultado correspondiente a la aplicación del caso Muy viable. Para alcanzar este resultado, las variables analizadas deben cumplir con las cuatro condiciones previamente establecidas, lo que permite clasificarlo dentro de esta categoría. Asimismo, se presenta una gráfica tridimensional que facilita la visualización de la distribución de los datos y su comportamiento en el espacio en cada caso.

Figura 53
Caso 1: Muy viable



Fuente: Elaborado por el Autor

En la figura 54 se muestra el resultado correspondiente a la aplicación del caso Viable. Este nivel se alcanza cuando las variables analizadas cumplen únicamente tres de las cuatro condiciones previamente establecidas, lo que permite clasificarlo dentro de esta categoría.

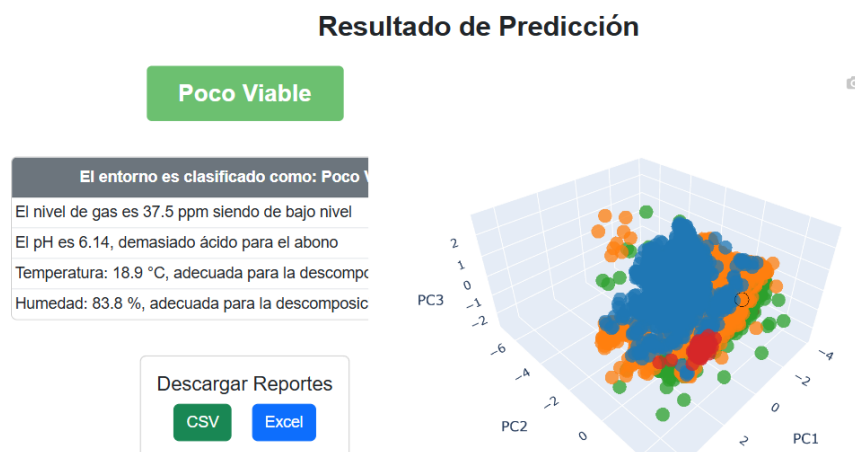
Figura 54
Caso 2: *Viable*



Fuente: Elaborado por el Autor

En la figura 55 se observa el resultado correspondiente a la aplicación del caso Poco viable. Este nivel se alcanza cuando las variables analizadas cumplen únicamente dos de las cuatro condiciones establecidas, lo que refleja limitaciones importantes en la viabilidad del entorno.

Figura 55
Caso 3: *Poco Viable*



Fuente: Elaborado por el Autor

4.1.9 Evaluación de la fertilidad del suelo

A partir del análisis de los datos recolectados por el sistema IoT y de las observaciones realizadas durante el período de pruebas, se evaluó la viabilidad de los residuos orgánicos generados en los establos ganaderos como fertilizantes naturales. Los parámetros monitoreados, tales como pH, humedad, temperatura y emisiones de gases, se mantuvieron dentro de rangos adecuados para su aprovechamiento agrícola, lo que permitió la producción y aplicación de biol en parcelas seleccionadas.

Como resultado, se evidenció una mejora en las condiciones del suelo donde se aplicó el fertilizante orgánico, reflejada en un mayor vigor del pasto, una coloración más intensa y un crecimiento más rápido en comparación con áreas donde no se realizó la aplicación del biol. Estas diferencias indican un incremento en la fertilidad del suelo, atribuible al uso de los residuos orgánicos tratados y monitoreados mediante el sistema IoT. En consecuencia, se demuestra que los residuos orgánicos evaluados son viables como fertilizantes naturales, cumpliendo con el objetivo planteado y contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles.

Con el fin de evidenciar el impacto del uso del biol obtenido a partir de los residuos orgánicos monitoreados por el sistema IoT, se realizó una comparación visual entre áreas donde se aplicó el fertilizante natural y áreas donde no se realizó dicha aplicación. Esta comparación permitió identificar diferencias en el desarrollo y vigor del pasto, asociadas a la mejora de la fertilidad del suelo.

Figura 56
Comparación del desarrollo del pasto con y sin aplicación de biol



Nota. Comparación visual entre el área con aplicación de biol (derecha) y el área sin aplicación de fertilizante orgánico (izquierda). Fuente: Autoría.

Como se observa en la Figura 57, el pasto en el área donde se aplicó biol presenta un mayor desarrollo vegetativo, evidenciado por una mayor densidad, coloración verde más intensa y crecimiento más uniforme.

Figura 57
Pasto luego de ser aplicado el biol



Nota: En la figura se puede apreciar como el pasto tiene un mejor color y uniformidad luego de ser aplicado el bio lo que evidencia la fertilidad del suelo.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La revisión de la literatura científica confirmó la viabilidad y pertinencia de implementar tecnologías IoT para el manejo responsable de residuos en el sector ganadero. Este análisis sirvió como base teórica sólida, permitiendo la identificación de los parámetros a identificar en el proceso como son: temperatura, humedad y PH; y las tecnologías más adecuadas para el diseño del sistema de monitoreo.

Se definieron exitosamente los requerimientos de hardware y software, estableciendo una arquitectura IoT. La selección de los sensores fue precisa para medir las variables críticas en los residuos orgánicos. Además, se establecieron los umbrales de referencia de los parámetros monitoreados, fundamentales para la fase de evaluación, ya que permitieron determinar el momento en que los residuos cumplen con los criterios de calidad para ser considerados fertilizantes naturales.

Se logró la implementación exitosa del prototipo de sistema IoT en el establo ganadero de la comunidad de Guananguicho Sur. Durante el período de pruebas de tres a cuatro semanas, se validó la integración funcional de los sensores y la placa de procesamiento con la red inalámbrica, así como la funcionalidad de la aplicación para la visualización de datos en tiempo real.

El análisis de los datos recolectados por el sistema IoT, complementado con el procesamiento del algoritmo KNN, confirmó la viabilidad de los residuos orgánicos monitoreados como fertilizantes naturales. La clasificación de los parámetros medidos dentro de los umbrales establecidos demuestra que los residuos alcanzan la calidad adecuada para su uso agrícola.

Recomendaciones

Es fundamental implementar un programa de mantenimiento periódico para la limpieza y calibración de los sensores. Las condiciones ambientales extremas del estanque pueden afectar la precisión de las mediciones. Se recomienda utilizar los estándares de referencia para la calibración mensual, asegurando que los datos sigan siendo fiables para la evaluación de la viabilidad del fertilizante.

La correcta implementación del sistema IoT requiere la adecuación de la infraestructura física y de conectividad en los establos ganaderos. Específicamente, se debe garantizar la disponibilidad de una fuente de alimentación eléctrica cercana para energizar los componentes de *hardware* y un punto de acceso a Internet que permita la conexión a la red. Esta conectividad es esencial para asegurar la transmisión continua de los datos y su posterior almacenamiento en la plataforma de servicios en la nube

Se sugiere la expansión del sistema de monitoreo a más establos del Cantón San Pedro de Huaca. Esto permitiría la recolección de un big data de residuos orgánicos, facilitando un análisis comparativo regional y la implementación de políticas de gestión de residuos a una escala mayor, maximizando el impacto económico y ambiental positivo.

Bibliografía

Abed, A. A. (2016). Internet of Things (IoT): Architecture and design. En *Al-Sadiq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Techniques Science and Applications (AIC-MITCSA 2016)* (pp. 327–329). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/AIC-MITCSA.2016.7759958>

Adelso, E., & Navarro, E. (2010). *Manual de elaboración de abonos orgánicos sólidos tipo compost*.

Akbar, M. O., Khan, M. S. S., Ali, M. J., Hussain, A., Qaiser, G., Pasha, M., Pasha, U., Missen, M. S., & Akhtar, N. (2020). IoT for development of smart dairy farming. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–10.

<https://doi.org/10.1155/2020/4242805>

Alnowaiser, K., Alarfaj, A. A., Alabdulqader, E. A., Umer, M., Cascone, L., & Alankar, B. (2024). IoT-based smart framework to predict air quality in congested traffic areas using SV-CNN ensemble and KNN imputation model. *Computers & Electrical Engineering*, 118, 109311.

<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109311>

Antonio, E., Rodríguez, P., Casasnovas, R. M., & Monzó Sánchez, C. (2023). *Análisis de sistemas IoT en entornos agrícolas*.

Arabhosseini, A., & Hassan-Beygi, R. (2015). Thermal properties of dairy cattle manure. *International Agrophysics*.

Aranda, M. D., Beltramini, P. I., Cano, J. E., Villagrán, L. D., Moreno, J. P., Gallina, S. H., Ariel, O., & Conegliano, H. (2021). *IoT aplicado a la ganadería extensiva*.

Arellana, J. (2005). *Ingeniería sanitaria: contaminación*.

Ayala, N., & Plata, A. (2022). *Detección de anomalías físicas en redes IoT empleando técnicas de machine learning*.

Beltramini, P., Lazarte, I., Aranda, M. D., Cano, J. E., Villagrán, L. D., Conegliano, O. A. H., & Gallina, S. H. (2023). *IoT aplicado a la ganadería de precisión*.

Bhaskaran, H. S., Gordon, M., & Neethirajan, S. (2024). Development of a cloud-based IoT system for livestock health monitoring using AWS and Python. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100524.

<https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100524>

Boateng, E. Y., Otoo, J., & Abaye, D. A. (2020). Basic tenets of classification algorithms: K-nearest neighbor, support vector machine, random forest and neural network. *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 8(4), 341–357. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2020.84020>

Burt, P. (2012). *Gestión integral de residuos sólidos (GIRS)*. CARE.

Castillo, B. (2017). *Manual de abono orgánico*.

Delgadillo, R. (2019). *Desarrollo de una red de sensores para el monitoreo de parámetros físico-químicos en ambiente web en invernaderos*.

Dolores, M. (2011). *Medio ambiente y contaminación: principios básicos*.

Fernández, M. (2019). *Residuos orgánicos en una explotación de vacuno*.

Flagelo, S., Denmon, D. E., Esther, D., & Rojas, A. (2020). *La contaminación ambiental*. Moglia Ediciones.

García, A., & Vidal, J. (2021). *Abonos orgánicos y producción orgánica*. ICO-BO.

García, C., Jaime, G., & Herrán, A. F. (2014). *Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales*.

Garro, J. (2019). *El suelo y los abonos orgánicos*.

Ghanney, P., Qiu, H., Anning, D. K., Yang, H., Wang, Y., & Kugbe, J. X. (2021). Moisture-induced pattern of gases and physicochemical indices in corn straw and cow manure composting. *Applied Sciences*, *11*(18), 8493.

<https://doi.org/10.3390/app11188493>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Pedro de Huaca. (2023). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón San Pedro de Huaca*.

Henning, S., Pierre, G., Tom, W., Vincent, C., Mauricio, R., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. FAO.

ISO/IEC/IEEE. (2018). *Ingeniería de sistemas y software: procesos del ciclo de vida—ingeniería de requisitos*.

Mosquera, B. (2010). *Abonos orgánicos: protegen el suelo y garantizan alimentación sana*.

Nordahl, S. L., Preble, C. V., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2023). Greenhouse gas and air pollutant emissions from composting. *Environmental Science & Technology*, *57*(6), 2235–2247. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>

Picado, J. (2010). *Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos*. CEDECO.

Prost, K., Schäfer, Y., Kim, D. G., Yimer, F., Tadesse, M., Gebrehiwot, M., & Brüggemann, N. (2022). Nutrient dynamics during composting of human

- excreta, cattle manure, and organic waste affected by biochar. *Journal of Environmental Quality*, 51(1), 19–32. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20312>
- Rivera, J., Ramiro, B., & Lopera, A. (2019). *Internet de las cosas*.
- Rotz, C. A., & Chianese, D. S. (2009). *The dairy greenhouse gas model: Reference manual (Version 1.2)*.
- Salazar, J., & Silvestre, S. (2018). *Internet de las cosas*.
- Samaniego, J., Galindo, L. M., & Mostacedo, S. J. (2017). *La gestión y manejo de residuos sólidos y sus propuestas regulatorias e impositivas*.
- Senarath, U. S. (2021). *Waterfall methodology, prototyping and agile development*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17918.72001>
- Sosa, E., Fortis, M., Vázquez, A., Cirilo, A., & Salazar, J. (2015). *Abonos orgánicos y plasticultura*.
- Toro, E. R., Szantó, M., Pacheco, F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2018). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*.
- Unión Europea. (2021). *Estado del arte y tendencias del IoT e IoE*.
- Villasante, J., Ies, C., & Meruelo, J. (2019). *Tipos de contaminación, sus fuentes y efectos en el estuario de la bahía de Santoña*.
- Zhang, Z. (2016). Introduction to machine learning: K-nearest neighbors. *Annals of Translational Medicine*, 4(11), 218. <https://doi.org/10.21037/atm.2016.03.37>

Anexos

Anexo 1: Encuesta dirigida al presidente de la Comunidad de Guananguicho Sur.

La siguiente encuesta tiene como finalidad determinar el número de habitantes de la comunidad de Guananguicho Sur, así como identificar a aquellos que son propietarios de terrenos o fincas ganaderas dedicadas a la crianza de ganado bovino y que, como resultado de esta actividad, generan residuos orgánicos.

[Ver resultados](#)

Encuestado

1 Anónimo

00:20
Tiempo para completar

1. Ingrese su nombre y apellido *

Hugo Pantoja

2. ¿Cuál es el número de Familias que habitan en la Comunidad de Guananguicho Sur? *

41

Anexo 2. Encuesta dirigida a las familias de la Comunidad de Guananguicho Sur, para identificar cuantas de ellas son propietarias de ganado Bovino y tienen un establo ganadero.

Esta encuesta tiene como finalidad identificar el número de propietarios de ganado bovino y de establos ganaderos, con el objetivo de analizar sus necesidades y, a partir de esta información, definir de manera adecuada los requerimientos del sistema.

1 ¿Usted es propietario de ganado Bovino y de establos Ganaderos?

- a. Si
- b. No

Numero de Familias propietarios de Ganado Bovino y de establos Ganaderos

1. ¿Usted es habitante de la Comunidad de Guananguicho Sur? *

- SI
- NO

2. ¿Usted es propietario de ganado Bovino y de establos Ganaderos? *

- SI
- NO

Anexo 3. Encuesta a Familias Ganaderas de la Comunidad Guananguicho Sur.

- **Sección 1: Requerimientos del sistema (técnicos y operacionales)**

1. ¿Cuenta con acceso a Internet en el lugar donde están los establos?

- Sí, siempre
- A veces
- No
- No estoy seguro

2. ¿Le parece adecuado que el dispositivo se coloque cerca del lugar donde está el estiércol?

- Sí, es lo mejor

- Sí, pero con protección
- Preferiría que esté más lejos
- No tengo opinión

3. ¿Qué tan importante es para usted que el sistema sea fácil de instalar y mantener?

- Muy importante
- Algo importante
- Poco importante
- No me importa

4. ¿Cree que el sistema debe resistir lluvia, polvo y otras condiciones del clima?

- Sí, debe soportar todo
- Solo lluvia o humedad
- No me preocupa
- No sé

5. ¿Le gustaría que los datos del sistema se puedan ver desde una aplicación o plataforma?

- Sí, desde mi celular
- Sí, desde una computadora
- No necesito ver los datos
- No entiendo para qué

6. ¿Cree que las partes electrónicas deben estar bien protegidas del clima?

- Sí, totalmente protegidas

- Un poco protegidas es suficiente
- No es necesario
- No sé

• **Sección 2: Requerimientos del usuario (facilidad de uso y alertas)**

7. ¿Preferiría que la aplicación sea fácil de usar, aunque no tenga experiencia en tecnología?

- Sí, debe ser muy sencilla
- No me importa si es complicada
- Alguien más la usará por mí
- No usaría una aplicación

8. ¿Le gustaría recibir alertas cuando el estiércol esté en mal estado (muy seco, con gas, etc.)?

- Sí, muy útil
- Solo si es grave
- No necesito alertas
- No sé

9. ¿Le interesa ver en su celular o en una pantalla el estado del estiércol (temperatura, humedad, etc.)?

- Sí, todo el tiempo
- Solo cuando algo esté mal
- No necesito ver eso
- No tengo celular

10. ¿Desea recibir notificaciones en su celular cuando algo no esté bien con los residuos?

- Sí, mensaje o notificación
- Solo una alarma sonora en el lugar
- No necesito notificaciones
- No sé

11. ¿Qué tan importante es que el sistema funcione solo y no necesite que lo revise o reinicie?

- Muy importante
- Algo importante
- No me importa revisarlo
- No sé

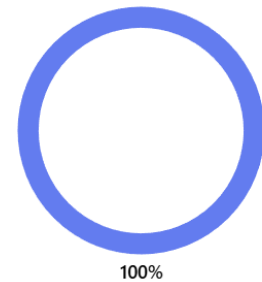
Anexo 4 Resultado de la encuesta a las Familias Ganaderas

Pregunta 1. De acuerdo con los resultados obtenidos en la primera pregunta de la encuesta, el 100% de los participantes indicó que sí posee ganado bovino. Esto confirma que la muestra seleccionada fue correctamente delimitada, ya que previamente se identificó que 14 familias contaban con ganado y eran las indicadas para participar en el estudio. El resultado valida que todas las respuestas provienen de familias directamente involucradas en la generación de residuos ganaderos, lo que respalda la representatividad de los datos obtenidos.

1. ¿Posee ganado bovino actualmente?

(0 punto)

● SI	14
● NO	0

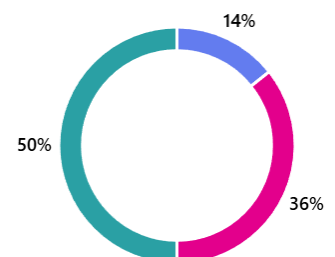


Pregunta 2: Los resultados de la segunda pregunta permiten conocer la escala de producción ganadera de las familias encuestadas. El 50% de los participantes indicó tener más de 10 cabezas de ganado, mientras que el 36% posee entre 6 y 10, y solo un 14% cuenta con 1 a 5 animales.

Este resultado evidencia que una parte considerable de las familias desarrolla una actividad ganadera de mediana a gran escala, lo cual implica una mayor generación de residuos y, por tanto, mayor potencial de aprovechamiento para prácticas como el compostaje o la producción de biol.

2. ¿Cuántas cabezas de ganado tiene aproximadamente? (0 punto)

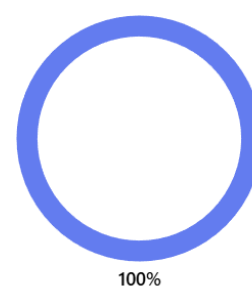
● 1-5	2
● 6-10	5
● Mas de 10	7



Pregunta 3: Los resultados de esta pregunta muestran que todas las personas encuestadas tienen un lugar adecuado para guardar o cuidar a su ganado. Esto es importante porque indica que las familias ya tienen cierta organización en su trabajo ganadero, lo cual ayuda mucho para recoger el estiércol y poder aprovecharlo de una mejor manera.

3. ¿Cuenta con un establo o infraestructura para alojar al ganado? (0 punto)

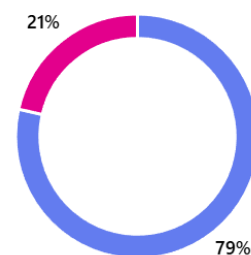
● SI	14
● NO	0



Pregunta 4: Los resultados muestran que la mayoría de las familias encuestadas (11 de 14) realizan la limpieza del establo de manera diaria. Este hábito no solo ayuda a mantener un ambiente más saludable para los animales, sino que también es muy útil para proyectos que buscan aprovechar el estiércol como recurso. Al limpiarse con frecuencia, el residuo se encuentra en mejores condiciones para ser recogido y utilizado como fertilizante natural o insumo para biol, evitando su descomposición en el lugar y reduciendo el desperdicio.

4. ¿Con qué frecuencia realiza la limpieza del establo? (0 punto)

● Diaria	11
● Semanal	3

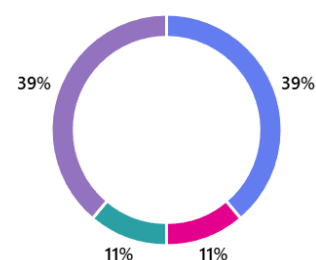


Pregunta 5: Los resultados muestran que el 39% de las personas encuestadas deja el estiércol tirado en el terreno, y otro 39% lo deja que se vaya al río, lo cual es preocupante porque eso puede contaminar la tierra y el agua. En cambio, solo un 11% lo recoge y lo bota, y otro **11% ya lo está usando como abono.

Esto quiere decir que la mayoría todavía no maneja bien estos residuos, pero también se nota que hay oportunidad de mejorar. El hecho de que algunas personas ya lo estén usando como abono demuestra que sí hay interés en cambiar, y con una buena explicación o ayuda, más familias podrían empezar a aprovechar el estiércol como fertilizante para sus terrenos.

5. ¿Qué hace actualmente con el estiércol del ganado? (0 punto)

● a) Lo deja en el terreno	7
● b) Lo recoge y desecha	2
● c) Lo utiliza como abono	2
● d) Lo deja que se vaya al río	7

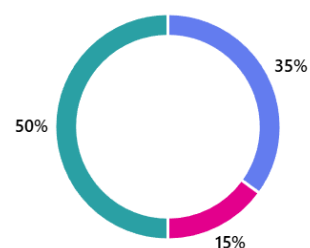


Pregunta 6: De acuerdo con los resultados, en esta pregunta, el 50% de las personas representa aquellas que tiene problemas con la contaminación del agua y el suelo en consecuencia del estiércol del ganado bovino. Mientras que el 35% dijo que tienen malos olores, y el 15% restante menciona que existe la presencia de moscas y roedores. Nadie respondió que no ha tenido problemas.

Se podría decir que los residuos del ganado si están causando molestias e inconvenientes en la comunidad; y que se debería buscar la manera de aprovechar el estiércol y evitar que siga afectando el ambiente y la salud de las personas.

6. ¿Ha tenido problemas relacionados con los residuos del ganado? (0 punto)

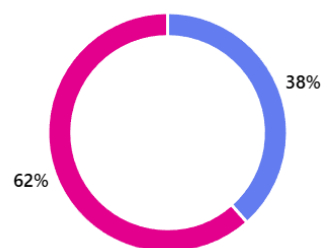
● a) Malos olores	7
● b) Moscas o roedores	3
● c) Contaminación del agua o suelo	10
● d) Ninguno	0



Pregunta 7: La gráfica muestra que un 62% de las personas encuestadas conoce alguna técnica para aprovechar el estiércol, como el compostaje o el uso de biodigestores. Este dato sugiere que una mayoría de los encuestados ya está familiarizada con métodos para aprovechar este tipo de residuos. Sin embargo, el 38% restante no tiene conocimiento sobre estas técnicas, lo cual indica una oportunidad para educar a esta población sobre los beneficios y las posibilidades de gestionar los residuos de manera más sostenible.

7. ¿Conoce alguna técnica para aprovechar el estiércol (ej. compostaje o biodigestores)? (0 punto)

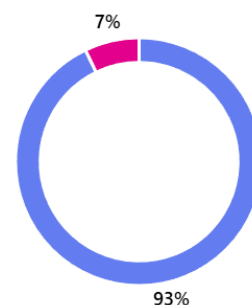
● SI 5
● NO 8



Pregunta 8: La gráfica muestra que el 93% de las personas encuestadas ha escuchado sobre la producción de biol a partir de estiércol, lo que indica que la mayoría está familiarizada con esta práctica. Solo el 7% no tiene conocimiento sobre este proceso. Esto sugiere que, aunque la técnica es bastante conocida, aún hay un pequeño grupo de personas que no está al tanto de sus beneficios y aplicaciones.

8. ¿Ha escuchado hablar sobre la producción de biol a partir de estiércol? (0 punto)

● SI 13
● NO 1

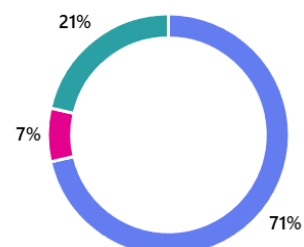


Pregunta 9: La gráfica muestra que el 71% de las personas encuestadas estaría dispuesta a participar en una iniciativa para mejorar el uso de los residuos ganaderos. Además, el 21% indicó que tal vez participaría, mientras que solo el 7% no estaría dispuesto a involucrarse en este tipo de iniciativas. Este resultado sugiere que hay un alto interés y disposición entre la mayoría de los encuestados

para participar en proyectos que busquen mejorar la gestión de los residuos ganaderos

9. ¿Estaría dispuesto a participar en una iniciativa para mejorar el uso de los residuos ganaderos? (0 punto)

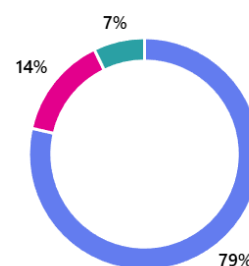
● SI	10
● NO	1
● TAL VEZ	3



Pregunta 10: Los resultados muestran que la gran mayoría de los encuestados (79%) considera que la asesoría técnica es el apoyo más importante para implementar proyectos de aprovechamiento de residuos ganaderos. Un 14% mencionó que necesitarían apoyo económico, y solo un 7% considera que materiales o infraestructura serían lo más necesario. Esto indica que las familias están dispuestas a recibir ayuda técnica para mejorar el manejo de los residuos.

10. ¿Qué apoyo considera necesario para implementar este tipo de proyectos? (0 punto)

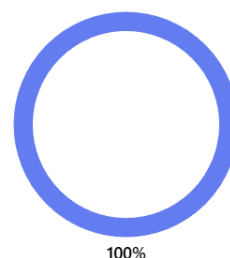
● a) Asesoría técnica	11
● b) Apoyo económico	2
● c) Materiales o infraestructura	1



Pregunta 11: Según los resultados, el 100% de los encuestados está interesado en recibir notificaciones sobre cuándo los residuos del ganado puedan ser aprovechados como fertilizante. Este dato refleja un gran interés por parte de la comunidad en recibir información útil y actualizada sobre cómo pueden reutilizar los residuos de manera beneficiosa para sus terrenos.

11. ¿Le gustaría recibir notificaciones cuando los residuos del ganado puedan ser aprovechados como fertilizante para sus terrenos? (0 punto)

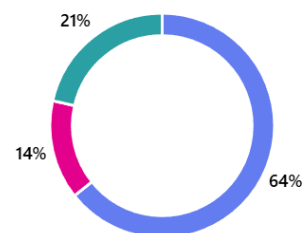
● SI 14
● NO 0



Pregunta 12: Los resultados indican que el 64% de los encuestados prefiere recibir información a través de una aplicación móvil, mientras que el 21% estaría dispuesto a recibir alertas por WhatsApp. Solo el 14% optaría por una página web como medio para recibir las notificaciones, y ninguno de los encuestados indicó que no le interesaría recibir información.

12. ¿Estaría dispuesto/a a utilizar alguna de las siguientes opciones para visualizar información o alertas sobre el manejo de residuos? (0 punto)

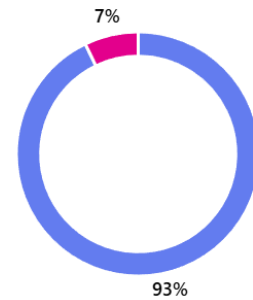
● a) Aplicación móvil 9
● b) Página web 2
● c) Alertas por WhatsApp 3
● d) No me interesa recibir información 0



Pregunta 13: Los resultados indican que el 93% de los encuestados tiene acceso a Internet en su hogar, mientras que solo el 7% no dispone de conexión. Este dato es importante, ya que sugiere que la gran mayoría de los hogares en la comunidad podrían aprovechar herramientas digitales para recibir alertas, acceder a información sobre el manejo de residuos o incluso participar en plataformas de capacitación.

13. ¿Dispone de conexión a Internet en su hogar? (0 punto)

● SI 13
● NOI 1



Anexo 5 Código de los sensores conectados al Arduino Mega

```
#include <Adafruit_MAX31865.h>
```

```
#include <DHT.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
#include <RTClib.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
```

```
RTC_DS1307 rtc;
```

```
const int PT100Pines[] = {44, 45, 46, 47};
```

```
const int numSensoresPT100 = sizeof(PT100Pines) /
```

```
sizeof(PT100Pines[0]);
```

```
Adafruit_MAX31865* pt100Sensores[numSensoresPT100];
```

```
const float RNOMINALES[] = {100.0, 104.0, 106, 104};
```

```
#define RREF 430.0
```

```
const int humedadPines[] = {A0, A1, A2, A3};

const int numSensoresHumedad = sizeof(humedadPines) /
sizeof(humedadPines[0]);

const int phPin = A5;
const int metanoPin = A6;

#define DHTPIN 7

#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

unsigned long ultimoEnvio = 0;
const unsigned long intervaloEnvio = 30000;

const float metanoL = 0.5;
const float metaxvolt = 20.0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(9600);
  Serial.println("Conectado");

  for (int i = 0; i < numSensoresPT100; i++) {
    pt100Sensores[i] = new Adafruit_MAX31865(PT100Pines[i], 51, 50,
52);
```

```
    pt100Sensores[i]->begin(MAX31865_2WIRE);
}

dht.begin();

lcd.begin(20,4);

lcd.backlight();

if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("RTC no encontrado");
}

}

void loop() {
    DateTime now = rtc.now();

    float pt100Sum = 0;
    int sensoresPT100Validos = 0;
    for (int i = 0; i < numSensoresPT100; i++) {
        float temp = pt100Sensores[i]->temperature(RNOMINALES[i], RREF);
        uint8_t fault = pt100Sensores[i]->readFault();
        if (!fault && temp > -50.0 && temp < 200.0) {
            pt100Sum += temp;
            sensoresPT100Validos++;
        }
    }
}
```

```

    }

    pt100Sensores[i]->clearFault();

}

float pt100Promedio = (sensoresPT100Validos > 0) ? (pt100Sum /
sensoresPT100Validos) : 0;

float humedadSum = 0;

for (int i = 0; i < numSensoresHumedad; i++) {

    int valorRaw = analogRead(humedadPines[i]);

    float humedad = map(valorRaw, 0, 1023, 100, 0);

    humedadSum += humedad;

}

float humedadPromedio = humedadSum / numSensoresHumedad;

int phRaw = analogRead(phPin);

float phVoltaje = phRaw * (5.0 / 1023.0);

float phValor = 7 + ((2.5 - phVoltaje) * 3.5);

float vMetano = analogRead(metanoPin) * (5.0 / 1023.0);

float ppmMetano = (vMetano - metanoL) * metaxvolt;

ppmMetano = max(ppmMetano, 0);

float tAmbiente = dht.readTemperature();

float hAmbiente = dht.readHumidity();

```

```
// Mostrar en LCD en tiempo real (siempre)
```

```
lcd.setCursor(3, 0);
```

```
lcd.print(now.day());
```

```
lcd.print("/");
```

```
lcd.print(now.month());
```

```
lcd.print("/");
```

```
lcd.print(now.year());
```

```
lcd.print(" ");
```

```
lcd.print(now.hour());
```

```
lcd.print(":");
```

```
lcd.print(now.minute());
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print("T.C:");
```

```
lcd.print(pt100Promedio, 1);
```

```
lcd.print("C ");
```

```
lcd.setCursor(11, 1);
```

```
lcd.print("H.S:");
```

```
lcd.print(humedadPromedio, 1);
```

```
lcd.print("% ");
```

```
lcd.setCursor(0, 2);
```

```
lcd.print("pH:");
```

```
lcd.print(phValor, 1);  
lcd.print(" ");  
lcd.setCursor(8, 2);  
lcd.print("G:");  
lcd.print(ppmMetano, 1);  
lcd.print(" PPM");  
lcd.setCursor(3, 3);  
lcd.print("VT:");  
lcd.print(tAmbiente, 1);  
lcd.print(" H:");  
lcd.print(hAmbiente, 0);  
lcd.print("%");  
  
// Chequear si han pasado 10 minutos  
if (millis() - ultimoEnvio >= intervaloEnvio) {  
    ultimoEnvio = millis();  
  
    // Enviar por Serial1  
    // Enviar por Serial1  
Serial1.print(now.day());  
Serial1.print("/");  
Serial1.print(now.month());  
Serial1.print("/");  
Serial1.print(now.year());
```

```
Serial1.print(";");  
  
Serial1.print(now.hour());  
  
Serial1.print(":");  
  
Serial1.print(now.minute());  
  
Serial1.print(";");  
  
  
Serial1.print(pt100Promedio);  
  
Serial1.print(";");  
  
Serial1.print(humedadPromedio);  
  
Serial1.print(";");  
  
Serial1.print(ppmMetano);  
  
Serial1.print(";");  
  
Serial1.print(phValor);  
  
Serial1.print(";");  
  
Serial1.print(tAmbiente);  
  
Serial1.print(";");  
  
Serial1.println(hAmbiente);  
  
// salto de línea  
  
  
Serial.println(" 📡 Datos enviados al ESP32");  
  
}  
  
  
delay(1000); // Refrescar pantalla cada segundo  
  
}
```

Anexo 6 Código del Micro procesador ESP32

```
#include <SD.h>

#include <SPI.h>

#include <WiFi.h>

#include <HTTPClient.h>

#define SD_CS 5

#define RXD2 16

#define TXD2 17

const char* ssid = "Grupo03";

const char* password = "Soraya123";

const char* serverUrl = "http://192.168.0.27:5000/datos";

unsigned long tiempoAEnvio = 0;

const unsigned long tiempoDeEnvio = 120000;

String ultimoDato = "";

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
```

```
WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

    delay(500);

    Serial.print(".");

}

Serial.println("\nConectado a WiFi");

if (!SD.exists("/datos.csv")) {

    File file = SD.open("/datos.csv", FILE_WRITE);

    if (file) {

file.println("Fecha;Hora;Temp;Humedad;Gas;pH;TempAmbiente;HumedadAmbi
ente");

        file.close();

    }

}

String limpiarCampo(String valor) {

    valor.trim();

    valor.toLowerCase();

    if (valor == "nan" || valor == "inf" || valor == "-inf") {

        return "null";

    }

}
```

```
    }  
    return valor;  
}  
  
void loop() {  
    if (Serial2.available()) {  
        String dato = Serial2.readStringUntil('\n');  
        dato.trim();  
  
        if (dato.length() > 0) {  
            Serial.print(" 📄 Dato recibido: ");  
            Serial.println(dato);  
            ultimoDato = dato;  
  
            File file = SD.open("/datos.csv", FILE_APPEND);  
            if (file) {  
                file.println(dato);  
                file.close();  
                Serial.println("Dato guardado en SD");  
            }  
  
            if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {  
                String campos[8];  
                int idx = 0;
```

```

while (dato.length() > 0 && idx < 8) {

    int sep = dato.indexOf(';');

    if (sep == -1) {

        campos[idx++] = dato;

        break;

    }

    campos[idx++] = dato.substring(0, sep);

    dato = dato.substring(sep + 1);

}

if (idx == 8) {

    for (int i = 2; i < 8; i++) {

        campos[i] = limpiarCampo(campos[i]);

    }

    String json = "{";

    json += "\"FECHA\": \"" + campos[0] + "\", ";

    json += "\"HORA\": \"" + campos[1] + "\", ";

    json += "\"TEMPERATURA\": " + campos[2] + ", ";

    json += "\"HUMEDAD\": " + campos[3] + ", ";

    json += "\"GAS\": " + campos[4] + ", ";

    json += "\"PH\": " + campos[5] + ", ";

    json += "\"T.AMBIENTE\": " + campos[6] + ", ";

```

```
json += "\"H.AMBIENTE\":" + campos[7];  
json += "};  
  
HTTPClient http;  
http.begin(serverUrl);  
http.addHeader("Content-Type", "application/json");  
  
int code = http.POST(json);  
if (code > 0) {  
    String respuesta = http.getString();  
    Serial.println("Servidor respondió: " + respuesta);  
} else {  
    Serial.printf("Error al enviar HTTP POST: %d\n", code);  
    Serial.println("JSON enviado:\n" + json);  
}  
http.end();  
} else {  
    Serial.println("Formato no válido");  
}  
}  
}  
}
```

Anexo 7 Código de entrenamiento del Algoritmo

```
import os

import joblib

import pandas as pd

from sklearn.model_selection import train_test_split, StratifiedKFold

from sklearn.preprocessing import StandardScaler

from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier

from sklearn.metrics import accuracy_score

from sklearn.decomposition import PCA

BASE_DIR = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))

DATOS = os.path.join(BASE_DIR, "DATA.csv")

FEATURES = ["Temp", "Humedad", "Gas", "Ph", "TempAmbiente",
"HumedadAmbiente"]

def etiqueta_viabilidad(fila):

    ph = fila['Ph']

    humedad = fila['Humedad']

    temp = fila['Temp']

    gas = fila['Gas']

    c = 0

    if 6.5 <= ph <= 8.5:    # pH

        c += 1
```

```
if 50 <= humedad <= 85: # Humedad
    c += 1

if 10 <= temp <= 40: # Temperatura del material
    c += 1

if gas < 1000: # Metano (ppm)
    c += 1

if c == 4:
    return "Muy Viable"

elif c == 3:
    return "Viable"

elif c == 2:
    return "Poco Viable"

else:
    return "No Viable"

def PreparaDatos():
    try:
        df = pd.read_csv(DATOS, delimiter=';')
    except Exception as e:
        raise FileNotFoundError(f"No se pudo cargar {DATOS}: {e}")

faltantes = [c for c in FEATURES if c not in df.columns]

if faltantes:
```

```
        raise ValueError(f'Faltan columnas requeridas en DATA.csv:  
{faltantes}')
```

```
if df.isnull().sum().sum() > 0:
```

```
    df.fillna(df.mean(numeric_only=True), inplace=True)
```

```
if 'Viabilidad' not in df.columns:
```

```
    df['Viabilidad'] = df.apply(etiqueta_viabilidad, axis=1)
```

```
X = df[FEATURES].copy()
```

```
y = df['Viabilidad'].copy()
```

```
return X, y, df
```

```
def entrenar(k=5):
```

```
    X, y, df = PreparaDatos()
```

```
    if k % 2 == 0:
```

```
        k += 1
```

```
#80/20
```

```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
```

```
    X, y, test_size=0.20, random_state=42, stratify=y
```

```
)
```

```
scaler_eval = StandardScaler()
```

```
X_train_s = scaler_eval.fit_transform(X_train)
X_test_s = scaler_eval.transform(X_test)

modelo_eval = KNeighborsClassifier(n_neighbors=k,
weights='distance')

modelo_eval.fit(X_train_s, y_train)

y_pred = modelo_eval.predict(X_test_s)
precision = accuracy_score(y_test, y_pred) * 100.0
error = 100.0 - precision

pca2_eval = PCA(n_components=2, random_state=42).fit(X_train_s)
scaler_all = StandardScaler().fit(X)
X_all_s = scaler_all.transform(X)

modelo_all = KNeighborsClassifier(n_neighbors=k, weights='distance')
modelo_all.fit(X_all_s, y)

pca2_all = PCA(n_components=2, random_state=42).fit(X_all_s)
pca3_all = PCA(n_components=3, random_state=42).fit(X_all_s)

joblib.dump(modelo_all, os.path.join(BASE_DIR, "modelo_knn.pkl"))
joblib.dump(scaler_all, os.path.join(BASE_DIR, "scaler.pkl"))
joblib.dump(pca2_all, os.path.join(BASE_DIR, "pca.pkl"))
joblib.dump(pca3_all, os.path.join(BASE_DIR, "pca3.pkl"))
```

```

with open(os.path.join(BASE_DIR, "k_usado.txt"), "w") as f:

    f.write(str(k))

return precision, error, y_test, y_pred, k, df.shape[0], df.shape[1]
def mejorKnn(max_k=21, num_folds=5):
    """
    Busca el mejor k IMPAR en [1, max_k] con validación cruzada
    estratificada.

    Escalado dentro de cada fold (sin fuga).

    Luego realiza `entrenar(mejor_k)` para producir artefactos finales.
    """
    X, y, _ = PreparaDatos()

    from sklearn.model_selection import StratifiedKFold

    skf = StratifiedKFold(n_splits=num_folds, shuffle=True,
random_state=42)

    mejor_k = 1

    mejor_score = 0.0

    for k in range(1, max(2, max_k) + 1, 2):

        scores = []

        for train_idx, test_idx in skf.split(X, y):

```

```

X_tr, X_te = X.iloc[train_idx], X.iloc[test_idx]
y_tr, y_te = y.iloc[train_idx], y.iloc[test_idx]

scaler = StandardScaler()
X_tr_s = scaler.fit_transform(X_tr)
X_te_s = scaler.transform(X_te)

modelo = KNeighborsClassifier(n_neighbors=k,
weights='distance')

modelo.fit(X_tr_s, y_tr)
y_pred = modelo.predict(X_te_s)

scores.append(accuracy_score(y_te, y_pred))

promedio = sum(scores) / len(scores)
if promedio > mejor_score:
    mejor_score = promedio
    mejor_k = k

return entrenar(mejor_k)

def ValidacionCruzada(k=5, num_folds=5):
    if k % 2 == 0:
        k += 1

X, y, _ = PreparaDatos()

```

```
from sklearn.model_selection import StratifiedKFold

skf = StratifiedKFold(n_splits=num_folds, shuffle=True,
random_state=42)

precisiones = []

for train_idx, test_idx in skf.split(X, y):

    X_tr, X_te = X.iloc[train_idx], X.iloc[test_idx]
    y_tr, y_te = y.iloc[train_idx], y.iloc[test_idx]

    scaler = StandardScaler()

    X_tr_s = scaler.fit_transform(X_tr)
    X_te_s = scaler.transform(X_te)

    modelo = KNeighborsClassifier(n_neighbors=k, weights='distance')
    modelo.fit(X_tr_s, y_tr)
    y_pred = modelo.predict(X_te_s)

    precisiones.append(accuracy_score(y_te, y_pred) * 100.0)

promedio_precision = sum(precisiones) / num_folds
desviacion = pd.Series(precisiones).std()

return promedio_precision, desviacion

if __name__ == "__main__":
```

```

_, _, _, _, mejor_k, _, _ = mejorKnn()

precision_promedio, desviacion = ValidacionCruzada(k=mejor_k,
num_folds=5)

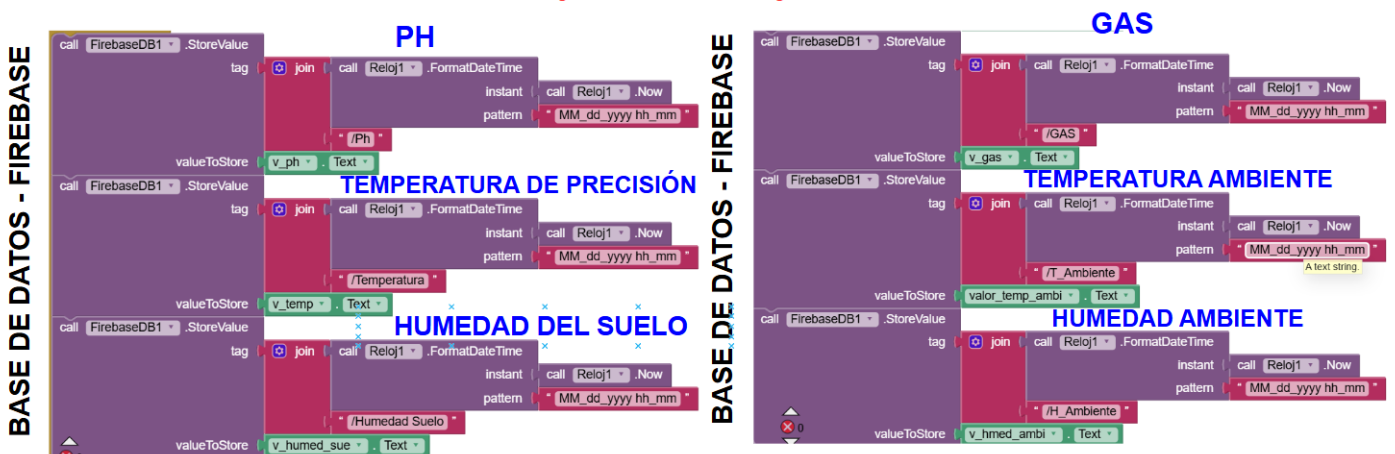
print(f"Mejor k: {mejor_k} | CV: {precision_promedio:.2f}% ±
{desviacion:.2f}")

```

Anexo 8 Aplicación desarrollada en APP Inventor

Declaración de las variables y conexión con la base de datos.

Variables de los residuos orgánicos del estiércol del ganado bovino



Condiciones para determinar la viabilidad del abono orgánico.



