

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Diseño de una Compostera Inteligente utilizando IoT en un sistema aeróbico para la obtención de sustrato natural a partir de residuos domiciliarios alimentado con energía solar fotovoltaica - Arequipa

Tesis presentada por los Bachilleres:

Ramos Soncco, Jack Anthony

ORCID: 0009-0009-9960-3752

Vilca Quispe, Meelyn Lizbeth

ORCID: 0009-0009-4349-6249

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesora:

Dra. Bejarano Meza, María Elizabeth

ORCID: 0000-0002-4943-6097

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 12 de Noviembre del 2025

Dictamen: 012278-C-EPIA-2025

Visto el borrador del expediente 012278, presentado por:

2019200202 - VILCA QUISPE MEELYN LIZBETH

2019702591 - RAMOS SONCCO JACK ANTHONY

Titulado:

**DISEÑO DE UNA COMPOSTERA INTELIGENTE UTILIZANDO IOT EN UN SISTEMA AERÓBICO
PARA LA OBTENCIÓN DE SUSTRATO NATURAL A PARTIR DE RESIDUOS DOMICILIARIOS
ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR**



**72384055 - MEDINA RAMOS ROBERT JOAQUIN
DICTAMINADOR**



Diseño de una Compostera Inteligente utilizando IoT en un sistema aeróbico para la obtención de sustrato natural a partir de residuos domiciliarios alimentado con energía solar fotovoltaica - Arequipa

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	1%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
3	www.coursehero.com	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	<1%
	Trabajo del estudiante	
6	dspace.ups.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.uta.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza, mi guía y el faro que me ilumina en los momentos más difíciles.

A mis padres Giraldo y Domitila, por su apoyo incondicional, su constante preocupación y el impulso que me brindaron para alcanzar este logro. Gracias por ser parte esencial de mi crecimiento personal y profesional.

A mis hermanos y hermana, por su aliento, apoyo emocional y sus palabras de motivación, que siempre me inspiran a luchar por mis sueños.

A mi mejor amiga y compañera de tesis, Meelyn, por caminar conmigo en este desafío. Tu dedicación, paciencia y entrega han sido clave para hacer realidad este proyecto que nos ha permitido crecer y aprender juntos.

A mí mismo, por mantenerme firme y decidido en cada paso del camino. Por transformar los sacrificios en aprendizajes, superar cada reto con determinación y disfrutar de los momentos de alegría y éxito. Este logro es un reflejo del esfuerzo constante y del amor por alcanzar mis metas.

Jack Anthony Ramos

A Dios, por ser mi refugio emocional, mi fortaleza y mi guía en los momentos más difíciles. Gracias por brindarme sabiduría y acompañarme en este camino lleno de desafíos.

A mis queridos abuelos, Hilaria, Saturnino y Saturnina, cuyo amor y apoyo inquebrantable siento presente desde el cielo. Sé que, aunque no pudieron estar físicamente conmigo en este proceso, me cuidan y guían desde lo alto.

A mis padres, Oscar y Raquel, por ser pilares fundamentales en mi vida. Gracias, papá, por tu apoyo incondicional y por enseñarme a nunca renunciar a mis sueños. Gracias, mamá, por tu amor, motivación y por impulsarme a crecer día a día tanto en lo personal como en lo profesional.

A mi persona favorita, Jack, por aceptar este reto conmigo, por su compromiso y por compartir esta aventura que nos ha hecho crecer juntos.

A mí misma, por mi perseverancia, esfuerzo y dedicación incansables, que me han llevado hasta aquí. Por cada sacrificio realizado, cada obstáculo superado, las risas compartidas y los logros alcanzados, hoy celebro este recorrido con gratitud y orgullo.

Meelyn Vilca Quispe

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María, por ser nuestra guía, fortaleza y fuente de protección a lo largo de este proyecto de investigación, permitiéndonos superar cada desafío con determinación y confianza.

A nuestra asesora, Dra. María Elizabeth Bejarano Meza, por su inquebrantable apoyo, orientación y dedicación, que fueron clave para la mejora constante de nuestra tesis. Su paciencia y profesionalismo marcaron una diferencia significativa en la culminación de este trabajo.

A nuestras familias, por ser nuestro pilar fundamental, ofreciéndonos su amor, confianza y motivación incondicional desde el inicio de nuestra formación profesional hasta alcanzar este logro como Ingeniero (a) Ambiental.

Al Dr. David César Ardiles Saravia, por su disposición y recomendaciones durante el desarrollo de nuestra investigación.

A nuestros amigos (as), quienes nunca dejaron de confiar en nosotros y siempre estuvieron ahí para brindarnos palabras de ánimo, apoyo y compañía en los momentos más difíciles de este recorrido.

Finalmente, a todos los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por compartir sus conocimientos y experiencia a lo largo de nuestra formación académica. Sus enseñanzas nos impulsaron a crecer tanto personal como profesionalmente, siendo parte esencial de este logro.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar una compostera inteligente con IoT, alimentada por energía solar fotovoltaica, para acelerar proceso del compostaje a base de residuos orgánicos domiciliarios y obtener un sustrato natural de buena calidad. La metodología presenta un diseño cuasi-experimental y un nivel de investigación aplicada con un enfoque mixto, se encuentra orientado a evaluar el efecto del monitoreo y control automatizado de los parámetros del compost sobre su calidad final. Su desarrollo consta de cuatro etapas: i) Recopilación y análisis de información teórica sobre los parámetros fisicoquímicos óptimos del compostaje; ii) Diseño la estructura física y conceptual del contenedor inteligente; iii) Integración de los componentes electrónicos y mecánicos a la compostera conectado a una plataforma IoT; iv) Elaboración del compostaje inteligente monitoreando las variables en tiempo real.

Los resultados demostraron que, el prototipo de compostera inteligente con tecnología IoT permitió mantener un proceso de compostaje aeróbico, estable y eficiente, evidenciado por la ausencia de olores, lixiviados y gases de efecto invernadero. Los parámetros de temperatura y humedad se mantuvieron dentro de los recomendados por la literatura, registrándose valores entre 25 °C y 59.2 °C y una humedad promedio del 51.57 %, los cuales aseguraron condiciones favorables para la actividad microbiana. En el monitoreo de gases se detectaron concentraciones ínfimas de H₂S, CH₄, y no se registraron concentraciones de CO, lo que demostró un proceso aeróbico controlado y sin contaminación externa; además, se encontró una relación inversa entre O₂ y CO₂ lo que evidenció una respiración microbiana activa durante el proceso. El compost final presentó una relación C/N final de 28.6, indicando madurez biológica completa, y contenidos de N (1.65 %), P (0.81 %) y K (1.22 %), dentro de los estándares de calidad establecidos por la FAO y la NTP 201.208:2021 – Fertilizantes, clasificándose como un abono orgánico de buena calidad, apto para su uso agrícola y ornamental. El proceso tuvo una duración de 45 días, reduciendo el tiempo de compostaje tradicional cerca de un 50 %.

Desde el enfoque económico, la simulación de una compostera de 6 m³ con capacidad para procesar 1.2 toneladas por ciclo permitió proyectar una producción anual de 7.2 toneladas de compost, generando un ingreso estimado de S/. 10 857.34 y un VPN positivo de S/. 8 092.06, demostrando su viabilidad técnica, económica y ambiental. Además, su implementación podría evitar la disposición inadecuada de más de 14 toneladas de residuos orgánicos al año.

Palabras clave: Compostera inteligente con IoT, residuos orgánicos, energía fotovoltaica.

ABSTRACT

The objective of this research project was to design a smart compost bin with IoT, powered by photovoltaic solar energy, to accelerate the composting process based on household organic waste and obtain a high-quality natural substrate. The methodology presents a quasi-experimental design and a level of applied research with a mixed approach, aimed at evaluating the effect of automated monitoring and control of compost parameters on its final quality. Its development consists of four stages: i) Collection and analysis of theoretical information on the optimal physicochemical parameters for composting; ii) Design of the physical and conceptual structure of the smart container; iii) Integration of the electronic and mechanical components into the composter connected to an IoT platform; iv) Development of smart composting by monitoring variables in real time.

The results showed that the smart composter prototype with IoT technology enabled a stable and efficient aerobic composting process, evidenced by the absence of odors, leachates, and greenhouse gases. Temperature and humidity parameters remained within the ranges recommended in the literature, with values between 25°C and 59.2°C and an average humidity of 51.57%, ensuring favorable conditions for microbial activity. Gas monitoring detected negligible concentrations of H₂S and CH₄, and no CO concentrations were recorded, demonstrating a controlled aerobic process without external contamination. In addition, an inverse relationship between O₂ and CO₂ was found, evidencing active microbial respiration during the process. The final compost had a C/N ratio of 28.6, indicating complete biological maturity, and N (1.65%), P (0.81%), and K (1.22%) contents within the quality standards established by the FAO and NTP 201.208:2021. – Fertilizers, classifying it as a good quality organic fertilizer, suitable for agricultural and ornamental use. The process lasted 45 days, reducing the traditional composting time by about 50%.

From an economic perspective, the simulation of a 6 m³ composter with the capacity to process 1.2 tons per cycle allowed for an annual production of 7.2 tons of compost to be projected, generating an estimated income of S/. 10,857.34 and a positive NPV of S/. 8,092.06, demonstrating its technical, economic, and environmental viability. In addition, its implementation could prevent the improper disposal of more than 14 tons of organic waste per year.

Key words: Smart compost bin with IoT, organic waste, photovoltaic energy.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I.....2

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 3

1.1. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION 4

1.2.1. Ambiental..... 4

1.2.2. Social 4

1.2.3. Económica..... 4

1.3. HIPÓTESIS 5

1.4. OBJETIVOS 5

1.4.1. Objetivo General 5

1.4.2. Objetivo Específico 5

1.5. VARIABLES E INDICADORES 6

CAPITULO II 9

2. FUNDAMENTO TEÓRICO..... 10

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 10

2.2. MARCO TEÓRICO 16

2.2.1. Gestión de residuos 16

2.2.2. Fuentes de generación 17

2.2.3. Composición química..... 17

2.2.4. Valorización de residuos 18

2.2.5. Técnicas de tratamiento de residuos orgánicos 18

2.2.6. Compostaje tradicional..... 19

2.2.7. Etapas del compostaje 21

2.2.8. Reacciones químicas y microbiológicas 22

2.2.9. Sustrato natural..... 22

2.2.10. Internet of things (IoT)..... 23

2.2.11. Nube (Cloud)..... 24

2.2.12. Puerta de enlace IoT (IoT Gateway)	25
2.2.13. Componentes del IoT	25
2.3. MARCO LEGAL	28
2.3.1. Nacional	28
2.3.2. Regional	29
2.3.3. Internacional.....	29
CAPITULO III.....	30
3. METODOLOGÍA	31
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	31
3.2. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.2.1. Área de estudio.....	31
3.2.2. Materiales y equipos.....	32
3.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.3.1. Análisis teórico y práctico del compostaje.....	33
3.3.2. Diseño de la estructura física y conceptual del contenedor	37
3.3.3. Obtención del sistema embebido.....	50
3.3.4. Monitoreo y control del proceso de compostaje	51
CAPITULO IV.....	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1. Antecedentes del Compostaje tradicional.....	55
4.1.1. Ubicación espacial.....	55
4.2. Resultados del procedimiento metodológico.....	56
4.2.1. Análisis de los parámetros del compostaje	56
4.2.2. Estructura física y conceptual del Contenedor Inteligente.....	63
4.2.3. Sistema embebido	75
4.2.4. Monitoreo y control del proceso de compostaje	77
4.3. Discusión	90
CAPITULO V.....	95
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
5.1. CONCLUSIONES.....	96
5.2. RECOMENDACIONES	98
CAPITULO VI.....	99
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de investigación.	7
Tabla 2. Características fisicoquímicas de los residuos orgánicos.....	18
Tabla 3. Tipos de servicio en la nube (Cloud Service).	25
Tabla 4. Tipos de microcontroladores.....	26
Tabla 5. Tipos de sensores.	26
Tabla 6. Interfaz de comunicación.	27
Tabla 7. Tipos de actuadores.....	27
Tabla 8. Área de estudio del proyecto.....	32
Tabla 9. Material y equipos a emplear durante la investigación.....	32
Tabla 10. Registro de relación C/N.....	36
Tabla 11. Parámetros técnicos del módulo de detección ZCE04B.....	39
Tabla 12. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad.....	40
Tabla 13. Especificaciones técnicas del sensor de CO ₂	40
Tabla 14. Función y aporte del kit fotovoltaico.	42
Tabla 15. Especificaciones técnicas del Panel solar INTI POWER (YH10W-18M).	42
Tabla 16. Especificaciones técnicas del Controlador solar W88-C.....	43
Tabla 17. Especificaciones técnicas de la batería OPALUX DH-1213 (12V, 1.3Ah).....	43
Tabla 18. Características y funciones de los componentes.....	49
Tabla 19. Residuos sólidos generados en el área de estudio.....	56
Tabla 20. Generación de residuos sólidos.....	56
Tabla 21. Caracterización física de los residuos orgánicos empleados para el compost.	57
Tabla 22. Fases del compostaje.....	58
Tabla 23. Temperatura de las pilas de compost tradicional.....	59
Tabla 24. Humedad de las pilas del compost tradicional.....	60
Tabla 25. pH de las pilas del compost tradicional.....	61

Tabla 26. Relación C/N del compost tradicional.	63
Tabla 27. Función y aporte de los componentes electrónicos principales.	65
Tabla 28. Programación de los condicionantes para el monitoreo y control del compostaje.	67
Tabla 29. Volumen del contenedor.	69
Tabla 30. Capacidad de ingreso de mezcla.	70
Tabla 31. Consumo de energía del sistema IoT.	70
Tabla 32. Energía generada por el panel solar.	71
Tabla 33. Capacidad de almacenamiento de la batería.	71
Tabla 34. Tiempo de duración de la batería.	72
Tabla 35. Diseño físico y mecánico de la compostera inteligente.	74
Tabla 36. Frecuencia de envío y almacenamiento de datos.	79
Tabla 37. Datos promedio del proceso automatizado.	80
Tabla 38. Calidad de compost, según la FAO y NTP.201.208:2021.	86
Tabla 39. Comparación del proceso de compostaje teórico-práctico.	87
Tabla 40. Costos asociados al contenedor inteligente (mayor escala).	87
Tabla 41. Ingreso de mezcla y salida de compost.	88
Tabla 42. Estimación de la venta de compost anualmente.	88
Tabla 43. Determinación del VPN.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

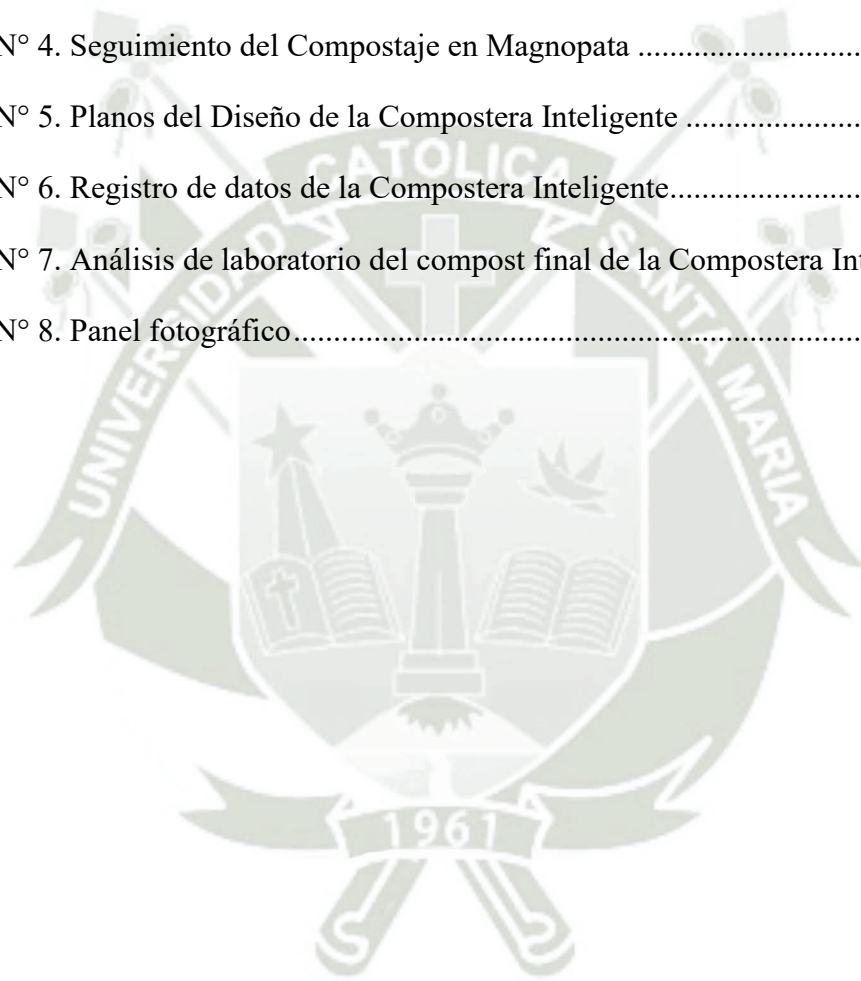
Figura 1. Fases del compostaje (curva de maduración).	21
Figura 2. Metodología para conseguir el alcance del primer objetivo.	33
Figura 3. Medición de la temperatura durante el proceso de compostaje.	35
Figura 4. Medición del pH durante el proceso de compostaje.	35
Figura 5. Medición de la humedad durante el proceso de compostaje.	36
Figura 6. Metodología a seguir para el alcance del segundo objetivo.	37
Figura 7. Desarrollo del Hardware y Software.	38
Figura 8. Módulo de detección 4 en 1 ZCE04B de Winsen.	39
Figura 9. Sensor de temperatura, humedad y CO ₂	41
Figura 10. Kit fotovoltaico.	42
Figura 11. Morfologías a considerar para el cálculo del volumen cilindro.	45
Figura 12. Mapa de ubicación.	55
Figura 13. Temperatura del compost tradicional.	59
Figura 14. Humedad del compost tradicional.	60
Figura 15. pH del compost tradicional.	62
Figura 16. Diseño 3D de la PCB.	64
Figura 17. Producto final de la PCB en físico.	65
Figura 18. Componentes electrónicos con sistema de alimentación autónomo.	66
Figura 19. Diagrama del sistema IoT para monitoreo de compostaje.	68
Figura 20. Interfaz gráfica en Blynk Cloud.	68
Figura 21. Plano 2D de la compostera.	72
Figura 22. Modelo Tridimensional 3D de la compostera.	73
Figura 23. Prototipo ensamblado con los componentes.	76
Figura 24. Ingreso de los residuos orgánicos a la compostera.	78
Figura 25. Seguimiento en la plataforma Blynk Cloud.	79

Figura 26. Temperatura durante el proceso inteligente.....	81
Figura 27. Humedad durante el proceso inteligente.....	82
Figura 28. CO ₂ % durante el proceso inteligente.	83
Figura 29. O ₂ % durante el proceso inteligente.	84
Figura 30. Tamizado del compost final.....	85



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1. Constancia de Prácticas en el Área de Compostaje en Magnopata, Yanahuara	115
ANEXO N° 2. Cálculos teóricos y prácticos del Área de compostaje en Magnopata.....	118
ANEXO N° 3. Ficha de Caracterización del Área de Compostaje en Magnopata	121
ANEXO N° 4. Seguimiento del Compostaje en Magnopata	123
ANEXO N° 5. Planos del Diseño de la Compostera Inteligente	125
ANEXO N° 6. Registro de datos de la Compostera Inteligente.....	129
ANEXO N° 7. Análisis de laboratorio del compost final de la Compostera Inteligente	134
ANEXO N° 8. Panel fotográfico.....	141



INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico, la rápida urbanización y los patrones de consumo han incrementado la producción de residuos sólidos (RRSS) a nivel mundial. Dentro de este panorama, los residuos orgánicos representan más del 50% del total generado, y su inadecuada gestión no solo amplifica los problemas ambientales, sino que también conlleva riesgos para la salud humana. Entre las principales consecuencias destacan la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la generación de lixiviados que contaminan suelos y cuerpos de agua, la proliferación de plagas, los malos olores y los riesgos asociados a la salud pública (Bilal, 2025). En respuesta a estos desafíos, la Agenda 2030 establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que buscan abordar problemáticas globales, incluido el manejo de residuos. Sin embargo, a más de una década de su implementación, menos del 30% de estos objetivos ha sido alcanzado, lo que pone en evidencia la necesidad de nuevas estrategias y soluciones. Este proyecto se alinea con el ODS 12, “*Producción y Consumo Responsables*”, y en particular con las metas 12.4 “*Gestión racional de productos químicos y desechos a lo largo de su ciclo de vida*” y 12.5 “*Reducir los desechos mediante actividades de reciclaje, reutilización y reducción*”. Así como el ODS 13, “*Acción por el clima*”.

En este contexto, el compostaje se presenta como una solución sostenible, pues es un proceso aerobio que activa microorganismos responsables de la degradación de materia orgánica, por lo que se puede utilizar residuos orgánicos domiciliarios para valorizarlos y reducir la acumulación de estos. El compost es el sustrato natural con capacidad para enriquecer el suelo con nutrientes, empleándose principalmente en el cultivo de alimentos y el cuidado de plantas ornamentales, además su versatilidad puede permitir su aplicación en áreas de remediación de suelos contaminados; sin embargo, el proceso para su obtención suele tardar de 3 a 6 meses, lo que lleva a recurrir a otros métodos o nuevas tecnologías.

Para superar estas limitaciones, se han desarrollado métodos que incorporan tecnologías innovadoras, como el Internet de las Cosas (IoT), pues esta tecnología permite monitorear y optimizar parámetros clave, acelerando el proceso de descomposición y aumentando su eficiencia. Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar una compostera inteligente integrada con tecnología IoT para la obtención de compost y acelerar su proceso a partir de residuos orgánicos domiciliarios alimentado con energía solar fotovoltaica.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

En el 2016 las ciudades en el mundo produjeron más de 2 mil millones de toneladas métricas de desechos, siendo el 60% de origen orgánico (Valencia & Cevallos, 2021). En el 2020 se llegó a registrar 3400 millones de toneladas métricas de RRSS (Mena, 2022) y se estima que, si no se adoptan medidas apresuradas, para el 2050 los residuos a nivel mundial crecerán un 70% con respecto a los niveles actuales (Banco Mundial, 2018). Estos problemas se intensifican en países subdesarrollados, pues no adecuan correctamente sus residuos porque en muchos casos son eliminados en botaderos a cielo abierto (Kaza, 2018).

América latina, por su parte, es el menos preocupado en la segregación y el reciclaje de sus RRSS, pues generan el 11% de RRSS en el mundo y Europa un 23%, aunque la diferencia tenga un valor relativamente bajo desde la perspectiva de América Latina, el impacto es mucho mayor, pues existe una tasa de reciclaje de solo el 4% y Europa presenta una tasa de un 33% (Kaza, 2018).

En 2021, Perú generó casi 8 Mtn/año de residuos sólidos generales, de los cuales más del 55% eran Residuos Orgánicos (RO) (4.5 Mtn/año), y solo se valorizó el 0.78% (34.175 tn) del total (MINAM, 2021). Asimismo, se estima que del 55% de RO en el país, el 77.13 % es valorizable, pero lamentablemente se pierde tal oportunidad. Una manera de valorizar estos residuos es recurrir al compostaje, aunque el tiempo en obtener el producto final es poco eficiente porque tarda de 3 a 5 meses (Marchan, 2021).

En la ciudad de Arequipa se genera 405 toneladas de residuos orgánicos municipales (ROM) al día (tn/día) producido por más de 1 millón de habitantes, el 49% de estos son desechados incorrectamente, por lo que el aprovechamiento de los RO en Arequipa no es lo suficientemente bueno. Los distritos de Arequipa tienen una limitada supervisión y control de limpieza en la ciudad y según el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) en el 2017, el 50% de las municipalidades distritales tienen un mal manejo de los residuos y esto se debe a diversos factores, tales como, recursos económicos, capacidad de gestión, planificación, participación ciudadana, etc.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION

1.2.1. Ambiental

La importancia de buscar soluciones y acelerar el proceso de compostaje es fundamental, y una compostera inteligente controlado por sensores, actuadores y microcontroladores mejorará significativamente el proceso, ya que se tendrá un control ininterrumpido de los principales parámetros fisicoquímicos, tales como la temperatura, humedad y pH acelerando el proceso de 4 a 1 mes y medio, esto permitirá valorizar los RO y disminuir sus impactos negativos. Asimismo, este proceso utilizará electricidad la cual podrá ser alimentada por energía solar fotovoltaica y por consiguiente autosustentarse energéticamente.

1.2.2. Social

Acelerar el proceso de compostaje permitirá una mejor valorización de los RO y minimizará los cúmulos de RRSS junto a la emisión de GEI. De esta manera se evitará la transmisión de enfermedades y se reducirá los problemas relacionados al sistema respiratorio. Asimismo, la compostera inteligente beneficiará tanto a las municipalidades, empresas o personas que tengan la necesidad de valorizar sus RO mediante el compostaje. Además, todas las entidades públicas y privadas tienen la obligación controlar sus residuos desde la generación hasta su disposición final y/o valorización.

1.2.3. Económica

El proceso de compostaje inteligente evitará que los RO lleguen a los vertederos o rellenos sanitarios, esto disminuirá en gran parte los costos de disposición final que las municipalidades y empresas suelen gestionar económicamente. Asimismo, el compost como producto puede comercializarse como fertilizante para la agricultura, ya sea con agricultores locales o externos, generando ingresos económicos para la entidad que implemente la compostera inteligente alimentada con energía solar fotovoltaica.

1.2.3.1. Tecnológica

La investigación requiere una solución integral, y la tecnología de IoT para monitorear el proceso de compostaje es parte de esta, ya que reducir el tiempo y los impactos adversos con la compostera inteligente es una parte fundamental del proyecto, pues permite

un control y monitoreo preciso y en tiempo real. Aunque esta tecnología ya está en uso en otros países, aún no es conocida en nuestro contexto local, lo que impide su implementación. Por lo tanto, esta propuesta representará un avance tecnológico significativo en el ámbito del compostaje, especialmente en nuestra región.

1.3. HIPÓTESIS

Dado que la acumulación de RO y su mal manejo en la actualidad presentan un problema a nivel local y mundial, se postula que el compostaje, proceso aeróbico, es una de las soluciones más económicas para reducir dicho problema. Por lo tanto, mantener un control y supervisión constante mediante una compostera inteligente asistida por IoT optimizará el proceso de compostaje en las condiciones de funcionamiento y tiempo, obteniendo un sustrato natural en menor tiempo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Diseñar una Compostera Inteligente integrada con tecnología IoT en un sistema aeróbico para la obtención de sustrato natural y acelerar el proceso de compostaje a partir de residuos domiciliarios alimentado con energía solar fotovoltaica.

1.4.2. Objetivo Específico

O.E.1: Analizar los parámetros físico-químicos teóricos y prácticos sobre el proceso de compostaje para la identificación de los rangos óptimos de temperatura, humedad y pH que generen el sustrato natural.

O.E.2: Diseñar la estructura física y conceptual del Contenedor Inteligente con una previa evaluación del tipo de material a utilizar.

O.E.3: Integrar el sistema mecánico y el sistema de instrumentación electrónica, basado en microcontroladores, sensores y actuadores en el Contenedor Inteligente, mediante la plataforma IoT.

O.E.4: Monitorear y controlar los parámetros fisicoquímicos, como el pH, temperatura, humedad y gases dentro del Contenedor inteligente para la obtención del sustrato natural (compost).

1.5. VARIABLES E INDICADORES

En el presente estudio se consideran aquellas variables que permitieron la medición y análisis de los factores que intervienen en el diseño y funcionamiento de la compostera inteligente con IoT, relacionando los parámetros del compostaje y la obtención final del sustrato natural.

a. Variable Independiente:

- Compostera inteligente
 - *Diseño físico del contenedor*
 - *Integración IoT*
- Proceso de compostaje
 - *Mezcla de Residuos Orgánicos*
 - *Temperatura*
 - *Humedad*
 - *pH*
 - *Gases para la medición del proceso (CH_4 y H_2S)*
 - *Gases para la medición de factores externos (O_2 , CO_2 y CO)*

b. Variable dependiente:

- Rendimiento de compost
 - *Cantidad de compost*
 - *Contenido de N total*
 - *Contenido de P*
 - *Contenido de K*
 - *Relación C/N*

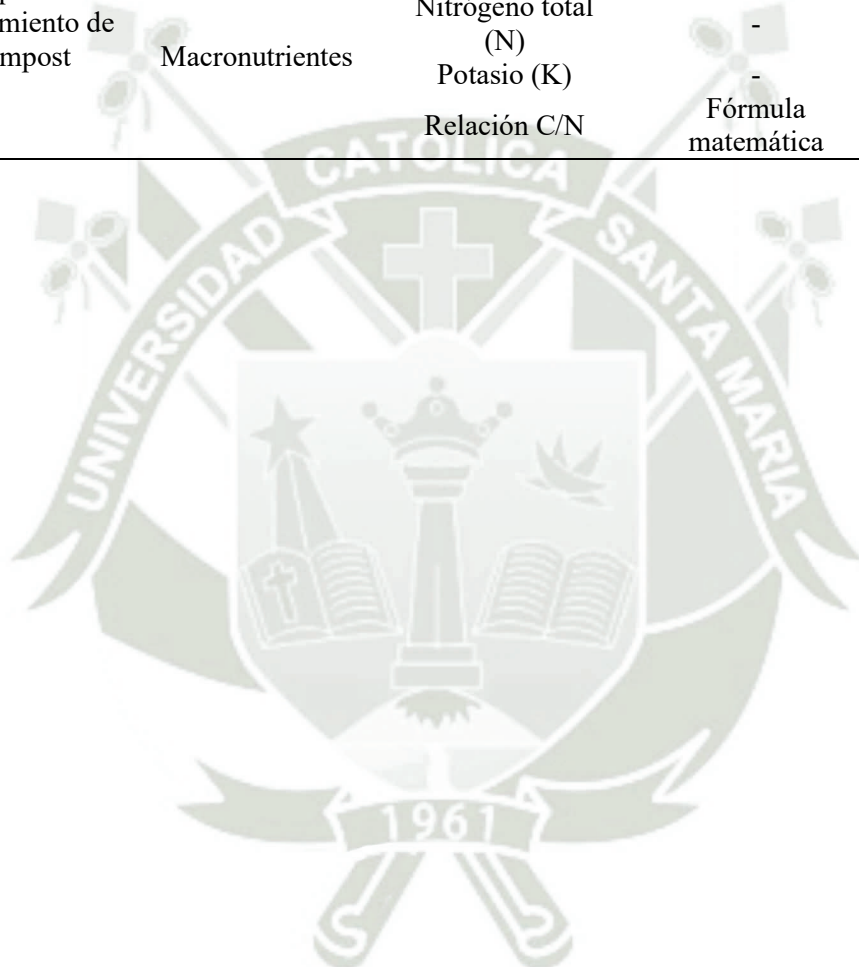
A partir de las variables establecidas, se determinan los respectivos indicadores e instrumentos de medición, que permiten evaluar cuantitativamente el comportamiento del sistema durante las distintas etapas del proceso de compostaje.

Tabla 1.

Variables de investigación.

Variables	Dimensiones	Indicador	Instrumento	Unidad de medida	
V.Independiente Compostera inteligente	Diseño físico	Volumen del contenedor	Cinta métrica	m ³	
		Capacidad útil (80%)	Fórmula matemática	Kg	
		Frecuencia de homogenización y aireación	Movimiento de ejes	Veces/día	
		Caudal de riego	Fórmula matemática	l/s	
		Plano 2D y 3D del contenedor	Software (AutoCad y Sketchup)	-	
			Potencia del panel fotovoltaico	Multímetro	W
			Voltaje de batería		V
	Integración IoT		Diseño de la Placa de Circuito Impreso (PCB)	Software de diseño KitCad	-
			Nº de sensores	Microcontrolador	Und.
			Tasa de transmisión de datos	Plataforma Blynk cloud	Registro/min.
		Tasa de almacenamiento de datos	Memoria SD	Registro/hora	
		Autonomía con energía solar	Test de duración	Horas de actividad	
V. Independiente Proceso de compostaje	Mezcla de Residuos Orgánicos	Cantidad de RO	Balanza	kg	
		Tipo de RO	Ficha de caracterización	-	
	Parámetros de control		Cálculo de Relación C/N		Proporción
		Temperatura	➤ Termómetro digital		°C
		Humedad	➤ Sensor DHT22 ➤ Medidor de humedad		%
		pH	➤ Sensor DHT22 Medidor de pH		-

		Gases de medición interna (CH ₄ , H ₂ S)	➤ Sensor de detección ZCE04B	de	% LEL, ppm
		Gases de medición externa (O ₂ , CO, CO ₂)	➤ Sensor de medición MQ-135	de	MQ-135, ppm
	Sustrato final	Cantidad de compost	Balanza		kg
V. Dependiente Rendimiento de compost	Macronutrientes	Fosforo (P)	-		%
		Nitrógeno total (N)	-		%
		Potasio (K)	-		%
		Relación C/N	Fórmula matemática		Proporción





2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como finalidad diseñar una Compostera Inteligente integrando IoT en un sistema aeróbico para la obtención de sustrato natural y acelerar el proceso de compostaje natural a partir de residuos domiciliarios sin la intervención humana alimentado con energía solar fotovoltaica, a continuación, se presenta investigaciones relevantes:

En la investigación de García, (2021), se buscó la programación de microcontroladores orientada al IoT y la transmisión de datos inalámbrica mediante Wi-Fi, para demostrar tal efecto, se llevó a cabo el diseño y construcción de un prototipo para la automatización del compostaje de RO, obteniendo así un sistema casero, económico y de fácil manejo. Asimismo, el autor recomienda que el proceso no debe llegar a un estado anaeróbico, pues la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno produce gas metano, lo que puede afectar el proceso.

Nikoloudakis et al., (2018) presenta un enfoque de descomposición de RO “supervisado” para la obtención del compost en menor tiempo, para ello presenta un servicio novedoso en la nube compuesto por un sistema de compostaje basada en IoT que permite un proceso sin supervisión y realiza un análisis de datos en tiempo real indicando a la máquina que realice las acciones apropiadas, tales como la aireación o rociador para regular la temperatura y el oxígeno, según se requiera. Al final obtiene un compost con una calidad similar a la tradicional, pero en solo 2 meses.

En el contexto de la gestión de residuos, uno de los problemas más significativos es la acumulación de los RRSS y Filho et al., (2023) comentan que los contenedores de basura suelen desbordarse y ocasionar malos olores, mal aspecto e incluso presencia de roedores, por lo tanto esta investigación buscó diseñar contenedores inteligentes con la capacidad de poder detectar el volumen de residuos, ello a través de sensores que permitieran determinar el tamaño y volumen de residuos para no desbordar el contenedor y así las autoridades puedan actuar de manera preventiva. Asimismo, utiliza una Red de Área Amplia de Bajo Consumo basada en LoRa (LoRaWAN) para la transmisión de datos de baja potencia a largas distancias entre dispositivos.

Caiza & Herrera, (2023), por su parte, proponen valorizar los residuos orgánicos en el Perú mediante el compostaje y dar como resultado abono natural “compost” en menos de 3 meses, para ello desarrolla un dispositivo de IoT en Cloud para la elaboración de compostaje en invernaderos y en el proceso se logra construir un invernadero con sensores conectados al mismo dispositivo, los cuales brindan información de los parámetros importantes para el compost, tales como temperatura, humedad y pH, siendo estos más eficientes a 60 - 70°C, 40 - 60% y 4.64 - 4.41 respectivamente.

Lai, J., et al., (2023), en su investigación sobre estrategia óptima de gestión de la aireación para el compostaje de residuos de alimentos a pequeña escala, busca estudiar el efecto de las tasas de aireación y las direcciones del flujo de aire en el compostaje de residuos de alimentos, para esto diseña un recipiente especial para almacenar la mezcla del compostaje y suministrar aire en 3 direcciones (hacia arriba, abajo y en ambas direcciones), pues menciona que la aireación ayuda a mantener la condición termófila (40 – 70 °C) para la descomposición activa de materia orgánica. Sus resultados muestran que la pila de compost aireada a 0,4 L/min con aire bidireccional puede alcanzar la temperatura termófila en la mitad del día (40,94°C después de 10,5 h). Aunque el compost experimentó una pérdida de humedad ligeramente alta (4,3%), el compost aún alcanzó los valores estándar de madurez.

Sepúlveda, et al., (2021) hace referencia al desarrollo de un sistema de software embebido con la capacidad de automatizar una compostera doméstica inteligente que mantenga las variables fisicoquímicas para obtener un compost de calidad y el desarrollo de un sistema de software. Para ello utiliza el método de Liggesmeyer y Trappe, la cual se basa en el desarrollo iterativo y la mejora de la calidad del proceso, por lo tanto, muestra los pasos para el desarrollo del hardware y software conectado al sistema embebido controlado por sensores, microcontroladores y actuadores.

De igual forma, Segovia Rosero, (2023) en su investigación crea un sistema de control para prevenir contaminantes microbianos y producir compost con un control Inteligente automatizado, básicamente busca implementar un sistema embebido guiándose de la metodología “Action Research”, método donde se abordan problemas en entornos prácticos y aplicados para la resolución de problemas y la mejora de situaciones reales. Por ello se enfoca en crear el sistema controlado con sensores, actuadores y microcontroladores,

realizando pruebas y monitoreos para obtener datos sobre la temperatura ambiente, porcentaje de humedad relativa del ambiente, humedad del suelo y metano.

La investigación de Jiang et al., (2022) tuvo como objetivo diseñar un contenedor inteligente alimentada con energía solar fotovoltaica térmica (FV/T) para reducir el tiempo de obtención del compost, para ello emplea el IoT en la degradación de los residuos mediante un contenedor inteligente con una bomba de calor FV/T para el abastecimiento de energía eléctrica y calorífica, esto permitió mantener el compostaje a altas temperaturas ($>55^{\circ}\text{C}$) y mejorar la tasa de utilización del oxígeno, pues se oxigenaba mecánicamente 10 min. cada 12 h. Logrando acelerar el proceso de degradación y obtención del compost en 1 mes, todo con energía limpia y renovable.

En el contexto de la agricultura, Sangeetha et al., (2021) en su investigación busca optimizar la producción de alimentos en la agricultura y para ello presenta un kit de fertilizante doméstico orgánico totalmente automatizado con IoT, el cual consta de diferentes sensores que miden la temperatura, humedad, gases y el nivel de compostaje orgánico (porcentaje del estiércol). El kit calcula el mecanismo en la generación de estiércol y su distribución a campo según los requisitos del cultivo. Toda la información obtenida por los sensores se transmite a un aplicativo móvil para que el usuario pueda controlar los parámetros en el rango óptimo.

Velvizhi, et al., (2020) realiza una revisión con el objetivo de dar a conocer sobre el uso efectivo que se le puede dar a los desechos sólidos, pues tanto la fracción biodegradable y no biodegradable pueden integrar un circuito cerrado y ser parte de un enfoque de “economía circular” para la recuperación de recursos o la transformación de energía, pero lamentablemente no todos los países recurren a estas soluciones. Los investigadores lograron recopilar investigaciones que brindaban soluciones con aplicación al manejo de residuos, tales como el aprovechamiento de los desechos sólidos para la elaboración de combustible, la generación de electricidad, etc. Sin embargo, al final resalta sobre el IoT, pues comenta que esta tecnología podría liderar en la innovación de la gestión de residuos.

Dubey et al., (2020), en su investigación sobre el Sistema de Gestión de residuos domésticos mediante IoT y aprendizaje automático, se centró en la segregación de residuos de dos niveles: a nivel individual y a nivel de la sociedad, donde el primero resalta una segregación en casa con tecnología IoT con su posterior aprovechamiento para el compostaje, y el segundo a la optimización de los procesos, mejora de aparatos electrónicos

y el control de residuos en la ciudad con un enfoque hacia las ciudades inteligentes. Por lo tanto, concluye que es necesario el uso de tecnologías innovadoras para maximizar los beneficios en la gestión de residuos y fomentar la sostenibilidad en las ciudades.

Bhorkar, et al., (2023), por su parte, desarrolla una unidad de compost modificado para residuos domésticos biodegradables, con el fin de optimizar el tiempo de compostaje, para ello diseña un contenedor (cilindro de 20 L) en donde se mide la cantidad de estiércol (material verde) y residuos de poda (material marrón) que va a ingresar para mezclarse mecánicamente cada semana, al final obtiene un compost en 8 semanas e indica las características obtenidas fueron las ideales, siendo estas: pH de 6; temperatura entre 40 - 58°C; humedad entre un 40 - 60%; nitrógeno de 477 mg/kg; fósforo de 51,1 mg/kg; potasio de 115,49 mg/kg; un color marrón y sin olor.

Wenjie, et al., (2023) realiza una comparación de la composición bacteriana y patrones de sucesión en el compostaje de plastisferas (ecosistema marino con presencia de plástico) y residuos de cocina con mezclas de PLA/PBAT. Con el objetivo de observar si el plástico biodegradable tendría algún efecto en el proceso del compostaje, para ello se midió y monitoreo la cantidad y tipo de microorganismos, junto a los parámetros fisicoquímicos cada 15 días, como un compostaje tradicional. Después de 120 días se determinó que la existencia de plásticos PLA/PBAT en el compostaje no afecta significativamente la seguridad y maduración del compost, pues el 80% fue degradado en todo el proceso.

En la investigación de Ning et al., (2017) se buscó estudiar la influencia de las bacterias psicrófilas en el compostaje de residuos orgánicos domésticos (ODW) en regiones frías, para este fin se extrajo muestras del suelo de un vertedero de desechos sólidos y se aisló 12 cepas de microorganismos para determinar la actividad enzimática de estos. También se elaboró un reactor de compostaje con un control de aireación de 0.025 l/min. Se obtuvieron resultados beneficiosos, pues la fase termófila se alcanzó a los 17 días y el compostaje se completó a los 42 días.

Devendra, et al., (2023) evalúa la calidad del compost obtenido mediante métodos de compostaje abierto y en recipiente, para lo cual diseña un recipiente de madera cerrado con orificios laterales para la aireación (compost cerrado) y el compost en cubeta (compost abierto). Los parámetros operativos del compostaje, como la temperatura, el pH, el contenido de humedad y la aireación, se controlan durante toda la fase de estudio. Los resultados comparativamente mostraron que el método de compostaje en recipiente tenía

una cantidad óptima de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, además, produce un abono nutritivo, sino que también ayuda a controlar los olores.

En el contexto de viabilidad, Ludovica, et al., (2023) realiza una evaluación del rendimiento y de la viabilidad económica para mejorar el compostaje, para ello, se propone una solución tecnológica basada en la Industria 4.0 para facilitar el seguimiento y control de la fase de biooxidación (termófila), y un análisis económico y de viabilidad de la inversión a lo largo de un ciclo de vida de diez años. Los resultados que obtuvo fueron positivos, pues la adopción de tecnologías inteligentes para controlar este tipo de procesos resultó deseable con un impacto en el contexto social y económico beneficioso.

Thien & Mitsuhiko, (2022) en su investigación busca determinar los efectos del suministro de oxígeno sobre la descomposición de la materia orgánica y las comunidades microbianas durante el compostaje, en este, utilizaron comida para conejos, aserrín y material de siembra con una humedad del 60%. Para determinar el efecto de la intensidad de la aireación se probaron cuatro tasas de suministro de oxígeno, obteniendo resultados positivos con una tasa de suministro de oxígeno mayor a 13,7 ml-O₂/min/kg-WS se encontró mayor proliferación de Caldibacillus y Ureibacillus por falta de oxígeno, por lo que el rango óptimo se encontraría entre estos valores.

Ajwani & Bhattacharya, (2022) mencionan sobre la tecnologías de tratamiento apropiadas de residuos, realizando métodos de recuperación de recursos y con el apoyo político para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en este, utilizaron la tecnología como Internet de las cosas (IoT) y la industria 4.0 impulsó el cambio de enfoque lineal a una economía circular, obteniendo resultados de la industria 4.0 y el IoT logró gestionar los residuos siendo más confiables, eficiente y transparente.

Balaganesh et al. (2021) señalan que el compostaje sostenible aprovecha residuos orgánicos para producir bioabono, aunque los métodos tradicionales limitan su calidad. Por ello, proponen integrar tecnologías inteligentes basadas en IoT para optimizar el proceso en diversos niveles, desde espacios urbanos pequeños hasta operaciones industriales. El estudio examina los sistemas de hardware y software requeridos, enfatizando la necesidad de una transmisión y almacenamiento de datos eficientes. Además, resalta que la precisión, fiabilidad y seguridad de la información son esenciales para un mejor análisis y gestión del compost. En conjunto, promueven el desarrollo de compostadores inteligentes, accesibles y sostenibles que contribuyan a una gestión ambiental más eficiente.

Teh et al. (2023) desarrollaron un sistema inteligente de compostaje de residuos de cocina basado en IoT y aprendizaje profundo, que automatiza completamente el proceso. El modelo emplea una Red Neuronal Convolutiva (CNN) para distinguir entre residuos compostables y no compostables. Los materiales aptos son tratados en un contenedor automatizado con sensores y conexión wifi, lo que disminuye la intervención humana. Además, un robot equipado con sensores infrarrojos transporta el compost siguiendo una ruta programada. El prototipo validó la integración efectiva de los subsistemas para la segregación, el compostaje y la entrega del producto final, demostrando ser una alternativa eficiente, económica y con potencial comercial para la gestión de residuos domésticos.

Wang, Ren & Zhang, (2024) analizaron el aprovechamiento del estiércol ovino en Mongolia Interior mediante una unidad de compostaje con fermentación aeróbica de alta temperatura. Diseñada para pequeños productores, integra ventilación, calefacción, volteo y control automatizado con PLC y pantalla táctil. Las simulaciones y pruebas revelaron un mejor aislamiento térmico, menor pérdida de calor y control preciso de oxígeno y temperatura. Comparado con la fermentación natural, el dispositivo aumentó la temperatura máxima en 20 °C, redujo el ciclo de compostaje en 4 días y mejoró el índice de germinación en un 9%. Así, representa una solución eficiente para convertir un residuo contaminante en fertilizante de calidad.

Wang, J., et al., (2024) desarrollaron un dispositivo de agitación biónico para composteras horizontales, con el objetivo de mejorar la aireación y desintegración de residuos alimentarios. Mediante modelos tridimensionales y el método de elementos discretos, optimizaron parámetros como la velocidad del eje, el diámetro del resorte y el volumen de llenado. Los análisis indicaron que la mejor esponjosidad se logra con 0,24 r/s, 5,5 mm y 70% de llenado. Las pruebas prácticas confirmaron un aumento del 18,69% en esponjosidad y una reducción en el riesgo de falla estructural. El estudio ofrece una referencia valiosa para diseñar agitadores más eficientes en el compostaje.

Glushakova, A., & Kachalkin, A., (2023) estudiaron el compostaje de estiércol de vaca utilizado como fertilizante y observaron que la abundancia y diversidad de levaduras variaron según la etapa de temperatura del proceso. La mayor presencia se detectó en la fase de calentamiento inicial (20–40 °C) y la menor en la etapa de máxima temperatura (65 °C). En total se identificaron 19 especies, con predominio en las fases iniciales, mientras que en la etapa más caliente solo persistieron algunas, principalmente *Candida parapsilosis* y *C.*

tropicalis. Estas levaduras aparecieron incluso en el compost maduro, sugiriendo que el proceso no las elimina por completo. Esto plantea riesgos sanitarios, ya que podrían transferirse a cultivos y exhibir virulencia, por lo que recomiendan estudios genéticos y fenotípicos adicionales.

Riazulhameed et al. (2024) proponen un sistema inteligente de compostaje agrícola que combina IoT con algoritmos de potenciación de gradientes. Usando sensores conectados, monitorean en tiempo real variables como temperatura, humedad, pH y oxígeno. Los algoritmos analizan los datos para optimizar la descomposición, aumentando la actividad microbiana y el valor nutritivo del compost. Este enfoque evita ineficiencias, reduce el uso de recursos y produce abono de mejor calidad para una agricultura sostenible. Sin embargo, reconocen desafíos en la precisión de los sensores, la integración de datos y la rapidez de respuesta a cambios en el proceso.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Gestión de residuos

2.2.1.1. Residuos inorgánicos

Los residuos inorgánicos son aquellos cuya degradación es muy lenta y pueden persistir durante años, estos incluyen el metal, vidrio, plástico, cuero, cerámica, textiles, etc. No obstante, una considerable cantidad de estos pueden ser rescatados y sometidos a procesos de reciclaje para un segundo uso, como sucede con materiales como el papel, vidrio, latas, cartón, envases tipo tetrabrik y ciertos tipos de plástico (MINAM, 2023b). En la actualidad, aproximadamente el 21% de los desechos producidos en el país corresponden a esta categoría.

2.2.1.2. Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son nutrientes no aprovechados que la naturaleza recupera de forma natural y gran parte de su porcentaje corresponde a los residuos industriales y más de la mitad a los residuos domiciliarios (MMA, 2023). El Perú genera más de 56% de residuos orgánicos, y estos provienen de la maleza y poda como restos de parques (flores, hojas, tallos, grass, etc.), también se considera a los restos de alimentos como las cáscaras, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros (MINAM, 2023b). Cabe mencionar que muchos de ellos se pueden evitar y la fracción que se genera como residuo puede valorizarse.

2.2.2. Fuentes de generación

Las fuentes de generación de residuos pueden ser diversas (Bejarano, 2018), a continuación, se presentan las más comunes:

- **Residuos comerciales:** Residuos provenientes de diversas actividades comerciales, como tiendas minoristas, supermercados, restaurantes, hoteles, oficinas y otros establecimientos similares. Pueden consistir tanto en materiales orgánicos como inorgánicos.
- **Residuos de limpieza en espacios públicos:** Residuos gestionados por municipalidades, provenientes de parques, calles, plazas, playas, etc. Su naturaleza puede ser tanto orgánica como inorgánica.
- **Residuos de centros médicos de apoyo y salud:** Residuos con carácter peligrosos provenientes de hospitales, clínicas, consultorios médicos, laboratorios, etc.
- **Residuos industriales:** Residuos generados en fábricas, plantas de producción, instalaciones manufactureras, u otras similares. Estos residuos pueden presentar características tanto peligrosas como no peligrosas, y su gestión se lleva a cabo por empresas prestadoras de servicios externos y autorizadas para ello.
- **Residuos de las actividades de construcción:** Residuos sobrantes en obras de construcción, demolición de edificios, obras de infraestructura, etc. Esto incluye escombros, fierros, madera u otros.
- **Residuos agropecuarios:** Residuos generados en granjas, explotaciones agrícolas, mataderos, etc. Con naturaleza orgánica principalmente.

2.2.3. Composición química

La composición química de los residuos sólidos depende de su naturaleza, ya sea orgánica o inorgánica. En el contexto de este proyecto, se abordará más sobre los residuos orgánicos urbanos, y según Hernández, et al., (2018), estos pueden generar energía o servir como nutrientes para la flora y el suelo por su composición química. Por lo tanto, en la Tabla N°2 se muestra las características fisicoquímicas principales de los RO.

Tabla 2.

Características fisicoquímicas de los residuos orgánicos.

Caracterización física		Caracterización química					
Parámetros	Unidad	Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
Sólidos totales		Aluminio (Al)		Manganeso (Mn)		Sodio (Na)	
Humedad		Cadmio (Cd)		Niquel (Ni)		Potasio (K)	
Sólidos volátiles	(%)	Cobalto (Co)		Plomo (Pb)		Cloro (Cl)	
Capacidad de retención		Cromo (Cr)	ppm	Zinc (Zn)	ppm	Fosforo (P)	(%)
Densidad aparente	(g/cm ³)	Cobre (Cu)		Magnesio (Mg)		Sulfato (SO ₄ ²⁻)	
pH	-	Yerro (Fe)		Bismuto (Sb)			

Fuente: Obtenido de Hernández, et al., (2018).

2.2.4. Valorización de residuos

La valorización de residuos es un proceso de recepción y tratamiento que convierte los materiales desechables en materiales reaprovechables con ganancias económicas (Melgarejo, et al., 2021). Los beneficios son sostenibles, pues abarca el aspecto ambiental, social y económico, reduce los riesgos de contaminación, la transmisión de enfermedades por plagas, y ahorra grandes gastos innecesarios (MINAM, 2022). Básicamente este enfoque convierte los residuos (basura) en recursos básicos, como energía y nutrientes.

2.2.5. Técnicas de tratamiento de residuos orgánicos

Son conjuntos de operaciones o procesos que se utilizan para mejorar y modificar las características de los RO, incrementando las posibilidades de su reutilización y recuperación directa; asimismo, se minimiza los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana (Reyes, et al., 2022). Existen varias técnicas de tratamiento que permiten la valorización de los RO y son utilizados para la generación de energía, recuperación de suelos degradados por metales pesados u otras actividades (Rivas & Silva, 2020).

A. Biometanización

Es el proceso de transformación metabólica llevado a cabo por bacterias anaerobias, básicamente se degrada los RO y se transforman en metano (CH₄), este proceso se puede llevar a cabo en un biodigestor y a través de procesos químicos, físicos y biológicos. Dicho proceso necesita ser controlado adecuadamente, pues los microorganismos necesitan ciertas condiciones para llevar la transformación y emplearse como energía calorífica o eléctrica a través del biogás (Berrospi, 2020).

B. Biocombustible

Es considerado como un combustible verde porque en su composición no se encuentran componentes derivados de la refinación del petróleo, pues el biocombustible se obtiene de la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, por ello su importancia a nivel mundial resulta interesante, pues reemplaza los hidrocarburos y minimizan la emisión de gases de efecto invernadero. También resulta una idea económicamente viable y sostenible en el contexto de la gestión de RO, porque el insumo principal puede ser residuos orgánicos (basura) (Berrospi, 2020).

C. Gasificación o pirólisis

La pirolisis es un proceso de transformación de materia prima, ya sea en estado líquido o sólido, a un estado gaseoso mediante altas temperaturas, generando así energía. Dicha materia puede variar, desde residuos agrícolas y forestales hasta desechos urbanos municipales. Aunque su uso pueda resultar beneficioso en la valorización de residuos, la incineración puede provocar problemas ambientales si no se tiene un control adecuado. Para lograr una mayor eficiencia y reducir costos, es crucial que el porcentaje de humedad en la materia prima sea inferior al 40%. Además, el tipo de gas producido dependerá de las características químicas de la materia a emplear (CEUPE, 2024).

2.2.6. Compostaje tradicional

Es considerado una técnica para el tratamiento de RO, pues es el proceso de descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno, un fenómeno conocido como descomposición aeróbica. Durante el compostaje, microorganismos metabolizan el carbono (C) y el nitrógeno (N) presentes en los residuos para generar su biomasa. Como

resultado de su actividad metabólica, se produce calor y se forma un sustrato sólido estabilizado, conocido como compost (Román, et al., 2013).

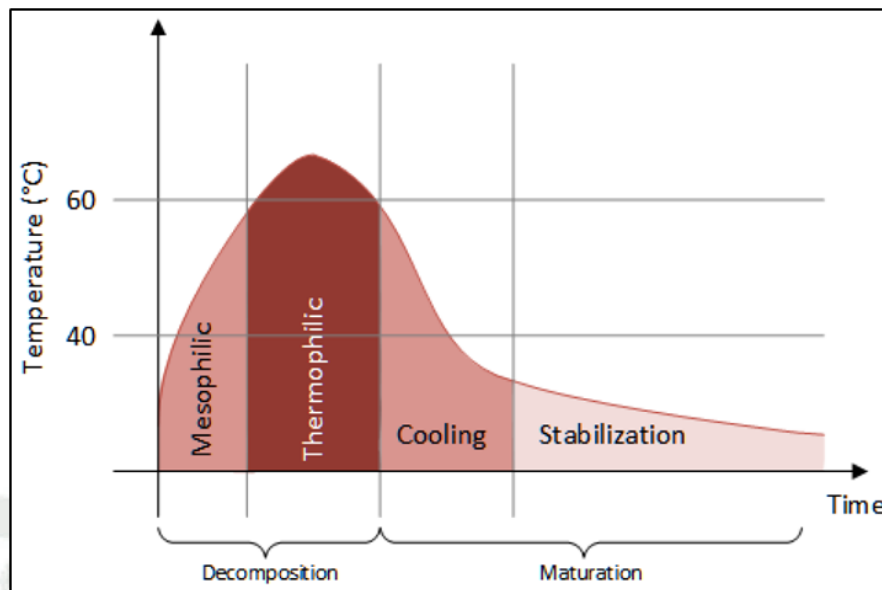
Un factor clave en este proceso es la relación C: N, consiste en la alimentación de los microorganismos. El carbono actúa como fuente de energía, mientras que el nitrógeno es esencial para la biosíntesis de aminoácidos y proteínas. Un balance adecuado de estos elementos no solo asegura la actividad metabólica necesaria para higienizar el compost, sino que también permite obtener un producto de calidad en un tiempo óptimo. Según Mellado & Gabriel, 2023; Bohórquez, 2019, una relación C: N inicial ideal para el compostaje oscila entre 25 y 35.

Para estimar y ajustar esta relación, se pueden emplear modelos matemáticos basados en parámetros como la masa en húmedo, el contenido de humedad, el carbono orgánico total y el nitrógeno total (Richard & Trautmann, 1996). Estas herramientas son útiles para verificar si el compost cumple con los valores ideales de C:N o para corregirlos mediante la adición de co-sustratos. Además, los programas informáticos especializados facilitan el cálculo y análisis de estos datos, permitiendo a usuarios sin acceso a laboratorios optimizar el proceso de compostaje.

El compostaje consta de dos fases principales, la primera es la “**fase de descomposición**”, caracterizada por una intensa actividad microbiana, e incluye dos etapas “Mesófila como Termófila”, y la segunda es la fase de “**Maduración**”, la cual se caracteriza por el enfriamiento y asentamiento de la mezcla, esta abarca tanto la etapa de “maduración y estabilización” (Nikoloudakis, et al., 2018). Estas fases siguen una secuencia ordenada y progresiva, influenciada por factores como la temperatura ambiental, la humedad y densidad microbiana presente.

Figura 1.

Fases del compostaje (curva de maduración).



Nota. Obtenido de Nikoloudakis, et al., (2018).

2.2.7. Etapas del compostaje

2.2.7.1. Mesófila

Esta etapa se considera como la más crucial pues es la base para la estructura y obtención del compost, aquí los microorganismos (bacterias y hongos) empiezan a descomponer la materia orgánica (Liao et al., 2023), básicamente descomponen los compuestos simples como azúcares en ácidos orgánicos, reduciendo así su pH hasta 4 y suelen durar un poco más de una semana a temperatura ambiente llegando hasta los 60 °C, el rango de humedad debería variar entre 50 - 60% (Nikoloudakis, et al., 2018).

2.2.7.2. Termófila

En esta etapa las bacterias mesófilas son reemplazadas por las termófilas a los 60 y 70°C, estos son capaces de degradar más rápido el material orgánico, en especial los compuestos más complejos de Carbono, tales como la celulosa y la lignina (Román, et al., 2013), también transforman el nitrógeno en amoníaco, permitiendo que el pH del medio aumente y la población de bacterias patógenas disminuya a causa del entorno con pH más neutro y las altas temperaturas (Pachón & Sanabria, 2019). Cabe mencionar que esta etapa también es conocida como higienización.

2.2.7.3. Enfriamiento

En la etapa de enfriamiento las temperaturas empiezan a descender por el agotamiento de carbono y nitrógeno, pero la degradación aún continúa. Los microorganismos mesófilos empiezan aparecer nuevamente y el pH se estabiliza porque estos tienen como función principal participar en la oxidación de la materia orgánica, así como la de hidrógeno, amonio, nitritos y sulfuros (Finore et al., 2023). La temperatura normal desciende hasta los 40°C y puede durar normalmente varias semanas. Cuando esto ocurre se decide si es momento de voltear la mezcla para homogeneizar y volver a elevar la temperatura o dejar que siga bajando hasta que llegue a una temperatura ambiente (Román, et al., 2013).

2.2.7.4. Estabilización

En esta etapa se lleva a cabo un periodo lento de fermentación que puede llevar hasta 3 meses o más, aquí la materia orgánica aún resistente se degrada por completo y la temperatura ambiente se mantiene constante permitiendo la consolidación de nuevas moléculas. Por lo tanto, se llega a obtener un compost maduro con alto contenido de sustancias húmicas y nuevas poblaciones microbianas, anélidos, ácaros y otros insectos que completan la transformación (Garrido, et al., 2023).

2.2.8. Reacciones químicas y microbiológicas

Durante el proceso de compostaje, se desatan una serie de reacciones químicas y microbiológicas altamente coordinadas que transforman la materia orgánica en compost. En la fase inicial, la hidrólisis descompone las macromoléculas orgánicas complejas en compuestos más simples gracias a la acción de enzimas hidrolíticas y al agua. Posteriormente, la acidogénesis y la acetogénesis convierten estos productos en ácidos orgánicos, alcoholes y ácido acético, respectivamente, a través de la intervención de bacterias especializadas (Sandoval, et al., 2020). Sin embargo, en la fase de la metanogénesis las bacterias metanogénicas convierten el ácido acético, el H₂ y el CO₂ producidos en las etapas anteriores en CH₄ y CO₂.

2.2.9. Sustrato natural

El sustrato natural o compost es un valioso fertilizante orgánico, mejora significativamente la productividad agrícola, tanto en rendimiento como en calidad de los

productos (Lhaj et al., 2025). Su uso en la agricultura permite cerrar un ciclo natural beneficioso al transformar los residuos orgánicos en una fuente rica en nutrientes para el suelo, lo que promueve un crecimiento robusto y saludable de los cultivos. Este enfoque contribuye directamente a la sostenibilidad y a la eficiencia en la producción de alimentos, promoviendo al mismo tiempo prácticas respetuosas con el medio ambiente (Lhaj et al., 2024).

2.2.10. Internet of things (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) es una innovación tecnológica que revoluciona la interacción con los objetos cotidianos. Gracias a IoT, los dispositivos pueden conectarse a Internet, lo que les permite recopilar, intercambiar y actuar sobre la información que generan. Esta tecnología no solo conecta computadoras y teléfonos, sino que también emplea sensores, actuadores y conectividad para diferentes objetos de nuestro entorno. La conectividad es uno de los pilares del IoT, ya que los dispositivos se conecten a Internet o a otras redes mediante tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LTE, 5G, entre otras (Laghari et al., 2021). Esta capacidad de conexión garantiza que los dispositivos puedan intercambiar información en tiempo real, favoreciendo la automatización y el control eficiente.

Los sensores y actuadores son componentes esenciales en los dispositivos IoT, tienen la función de recopilar datos del entorno, como la temperatura, el movimiento o la luminosidad, y convertirlos en información útil (Dubey & Yadav, 2024). Por su parte, los actuadores llevan a cabo acciones físicas en respuesta a los datos recibidos, como encender una luz o ajustar la temperatura. Los dispositivos IoT cuentan con capacidades de procesamiento local, conocidas como edge computing, que les permiten analizar los datos de forma inmediata antes de enviarlos a la nube (Cheruvu et al., 2019). Esto mejora la eficiencia al reducir la latencia y facilita una toma de decisiones más rápida.

Por último, la escalabilidad es un aspecto esencial en las soluciones IoT, puede incluir miles o millones de dispositivos conectados, las plataformas deben ser capaces de gestionar el enorme volumen de datos que generan, estos dispositivos y datos es fundamental para implementar soluciones a gran escala, como en hogares inteligentes, ciudades inteligentes o fábricas automatizadas.

2.2.11. Nube (Cloud)

En informática, el concepto de "nube" hace referencia a un sistema de servidores remotos que permiten almacenar, gestionar y procesar datos, aplicaciones y otros recursos, los cuales son accesibles a través de Internet (Elmroth et al., 2017). En lugar de depender de un servidor o dispositivo físico local, los usuarios tienen la posibilidad de acceder a estos recursos desde cualquier ubicación, siempre que cuenten con conexión a la red, proporcionando una mayor flexibilidad y accesibilidad sin necesidad de gestionar infraestructura física.

2.2.11.1. Computación en la Nube (Cloud Computing)

La computación en la nube se refiere a la prestación de servicios informáticos a través de Internet, permitiendo a los usuarios acceder de manera remota a servidores, almacenamiento, aplicaciones y otros recursos sin necesidad de tener una infraestructura física propia (Shafique et al., 2020). Modelo de prestación de servicios de computación que se basa en la entrega de recursos informáticos, como servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, software y más, a través de Internet.

Entre los beneficios más notables se encuentra la capacidad de escalar de manera eficaz, procesar datos en tiempo real y almacenar grandes volúmenes de información generada por los dispositivos IoT interconectados (Elmroth et al., 2017). En resumen, la sinergia entre la nube y el IoT ha transformado la manera en que se desarrollan y ofrecen servicios, permitiendo un enfoque más ágil y eficaz en el procesamiento y almacenamiento de datos generados por dispositivos conectados a la red.

2.2.11.2. Servicio en la nube (Cloud Service)

El servicio en la nube recopila los datos provenientes de los sensores y ejecuta análisis particulares en tiempo real para facilitar el proceso como el compostaje (Nikoloudakis et al., 2018). Asimismo, se encarga de coordinar la manipulación del hardware subyacente, que incluye actuadores y dispositivos IoT, estos servicios permiten a los usuarios aprovechar capacidades informáticas avanzadas sin tener que gestionar el hardware subyacente, los tipos de servicios en la nube son:

Tabla 3.

Tipos de servicio en la nube (Cloud Service).

Tipos	Descripción
Infraestructura como Servicio (IaaS)	Proporciona recursos básicos de computación, como servidores virtuales, almacenamiento y redes, liberando a los usuarios de la tarea de mantener hardware físico.
Plataforma como Servicio (PaaS)	Ofrece un entorno integral para desarrollar y gestionar aplicaciones, sin que los desarrolladores tengan que lidiar con la infraestructura subyacente, permitiendo a los desarrolladores centrarse en la creación de software.
Software como Servicio (SaaS)	Permite el acceso a aplicaciones completas vía internet, generalmente mediante suscripción, eliminando la necesidad de instalar o mantener software en dispositivos locales.

Nota. Datos tomados de Raja et al., 2023; Shafique et al., 2020.

2.2.12. Puerta de enlace IoT (IoT Gateway)

Una puerta de enlace IoT, también conocida como “gateway IoT” (Nikoloudakis et al., 2018), actúa como un puente entre los dispositivos IoT y la nube. Su rol principal es recopilar datos de estos dispositivos, procesarlos y enviarlos a la nube de manera compatible. Además, estas puertas de enlace pueden ejecutar tareas de procesamiento local a través del edge computing, lo que optimiza el rendimiento al disminuir la latencia y aliviar la carga en la nube (Toskov et al., 2021). En esencia, son clave para compensar las limitaciones de los dispositivos IoT en cuanto a procesamiento, almacenamiento y conectividad.

2.2.13. Componentes del IoT

2.2.13.1. Microcontroladores

Los microcontroladores son un componente clave en los sistemas IoT, ya que llevan a cabo la función de control y procesamiento de datos. Un microcontrolador es un circuito integrado pequeño que incorpora una unidad central de proceso, memoria ram y rom y varios periféricos de entrada/salida en un solo chip (Segovia Rosero, 2023). Debido a sus dimensiones compactas, son adecuados para los usos en los que se necesite dispositivos de procesamiento de espacio y eficiencia energética.

Tabla 4.

Tipos de microcontroladores.

Tipos	Descripción
Microcontroladores ARM Cortex-M	Eficientes en el consumo energético y rendimiento, utilizados en una amplia gama de aplicaciones IoT, como los modelos STM32 de STMicroelectronics y los de NXP.
ESP32 y ESP8266 (Espressif Systems)	Muy populares por su coste accesible y la integración de conectividad Wi-Fi y Bluetooth, ideales para proyectos IoT interconectados.
Arduino (Atmel AVR)	Una plataforma conocida para el prototipado rápido, basada en microcontroladores AVR, muy utilizada en el desarrollo de proyectos IoT.
Microcontroladores PIC (Microchip Technology)	Otra opción confiable, conocida por su versatilidad y la disponibilidad de una amplia gama de modelos.

Nota. Datos tomados de Wu, Z. et al, 2020; Jadhav et al., 2024.

Cuando se selecciona un microcontrolador para una aplicación IoT, es importante evaluar aspectos como las necesidades de procesamiento, la memoria disponible, las interfaces de comunicación, el consumo energético, el costo y la disponibilidad de herramientas y soporte de software (Yusro et al., 2021).

2.2.13.2. Sensores

Los sensores desempeñan un papel fundamental en los dispositivos IoT, ya que permiten identificar y medir los cambios en su entorno físico o químico. Después de medir, el sensor convierte el cambio en una señal eléctrica, lo que hace que el microcontrolador pueda tomar una decisión. En términos simples, el sensor permite a los dispositivos IoT interactuar con el mundo físico y tomar decisiones a la luz de los datos recopilados (Doke & Awate, 2022).

Tabla 5.

Tipos de sensores.

Tipos	Aplicaciones
Temperatura	Utilizan dispositivos como termistores, termopares o sensores integrados como el LM35 y DHT11/22. Se emplean en sistemas de control climático, monitoreo ambiental y en refrigeración.

Humedad	Sensores capacitivos o resistivos que miden la humedad en el aire, utilizados en agricultura, meteorología y en el control de ambientes internos.
pH	Su capacidad para medir la acidez o alcalinidad de una solución permite garantizar la calidad de los productos, optimizar los procesos y comprender mejor los fenómenos naturales.
Gases	Detectan gases como CO, CO ₂ y metano, empleados en la medición de la calidad del aire y en la detección de fugas.

Nota. Datos tomados de Mukhopadhyay et al., 2021; Doke & Awate., 2022.

Interfaces de Comunicación de Sensores

Los sensores se conectan al microcontrolador a través de distintas interfaces de comunicación, como:

Tabla 6.

Interfaz de comunicación.

Analógicas	La señal del sensor varía en tensión o corriente continua.
Digitales	Los datos del sensor se envían en formato digital utilizando protocolos.

Nota. Datos tomados de Mukhopadhyay et al., 2021.

2.2.13.3. Actuadores

Los actuadores son objetos o dispositivos que ejecutan una acción física basada en una señal eléctrica que proviene directamente del microcontrolador. Estos mecanismos son esenciales para permitir que los sistemas IoT interactúen con el mundo físico, generando respuestas a las señales procesadas por los sensores.

Tabla 7.

Tipos de actuadores.

Tipos	Aplicaciones
Motores (DC, Servo, Paso a Paso)	Permiten controlar el movimiento de un eje o un equipo. Comúnmente son empleados en el ámbito de la robótica y en los sistemas de control de movimiento.
Relés	Interruptores electromecánicos que controlan circuitos, ideales para aplicaciones como control de iluminación o electrodomésticos.

Válvulas	Regulan el flujo de líquidos o gases, normalmente se aplican en sistemas de riego y sistemas de gestión del agua.
LEDs (Diodos Emisores de Luz)	Emite luz al recibir señal como corriente eléctrica, empleando pantallas o sistemas de iluminación.
Zumbadores (Buzzers)	Generan sonidos como un tipo de alerta o notificación en aplicaciones como alarmas o dispositivos de aviso.

Nota. Datos tomados de Murata et al., 2022; Sun, Y. et al., 2022; Márkus, A. et al., 2021.

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. Nacional

- **Constitución Política del Perú, 1993**

Artículo 192: Los Gobiernos regionales y locales tienen la responsabilidad de crear políticas ambientales y fomentar actividades como educación, salud y medio ambiente, garantizando un equilibrio entre el bienestar individual y la sostenibilidad ambiental.

- **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente**

El propósito es instaurar los principios y reglas fundamentales que garanticen el pleno disfrute del derecho a un entorno favorable, equilibrado y propicio para el desarrollo integral.

- **Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM, Política Nacional del Ambiente**

Busca elevar el bienestar de las personas mediante medidas preventivas, protección, conservación y un uso sostenible. Este enfoque está alineado con el Eje de Política 2: Gestión Integral de la Calidad Ambiental, enmarcado dentro de uno de los principios de la política.

- **Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

Garantizar un gestión y manejo de los residuos sólidos de manera económica, sanitaria y ambiental; respetando las obligaciones, principios y lineamientos establecidos. Además, el Art. 5 destaca el principio de economía circular, que busca generar valor al considerar todo el ciclo de vida de los bienes y prioriza la recuperación y regeneración eficiente de los recursos, ya sea en el ciclo biológico o técnico.

- **Ordenanza N°2367-2021, Ordenanza que incorpora a la gestión local los principios de Economía circular.**

Promover un desarrollo sostenible y resiliente en la ciudad mediante prácticas como la reducción de residuos, el reciclaje y la reutilización. La ordenanza establece los pilares para una gestión más efectiva de los recursos, minimizando la generación de desechos y promoviendo un cambio hacia un modelo de economía circular.

2.3.2. Regional

- **Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, Aprueban la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales**

Ayuda a obtener datos locales sobre residuos y dimensionar adecuadamente los servicios de limpieza pública, permitiendo una planificación completa para la gestión de residuos sólidos a nivel administrativo, financiero, técnico y operativo.

- **Ordenanza, el "Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PIGARS) de la Provincia de Arequipa 2017-2028.**

El seguimiento y evaluación del Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa 2017-2028.

2.3.3. Internacional

- **Objetivos de Desarrollo Sostenible, Agenda 2030**

Se abordará el objetivo 12, "*Producción y Consumo Responsables*", más en particular con las metas 12.4 y 12.5, que buscan promover un planeta limpio y saludable. La meta 12.4 se enfoca en gestionar de manera responsable los productos químicos y desechos a lo largo de su ciclo de vida, desde la producción hasta su disposición final. Por otra parte, la meta 12.5 tiene como objetivo reducir la generación de residuos mediante estrategias como el reciclaje, la reutilización y la disminución del consumo. Complementariamente, el objetivo 13, "*Acción por el clima*" impulsa medidas para reducir las emisiones contaminantes y fortalecer la resiliencia frente al cambio climático, promoviendo la educación ambiental, la eficiencia energética y la adopción de tecnologías sostenibles que apoyen la mitigación y adaptación ante eventos climáticos extremos.



CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se enmarca dentro de un diseño cuasi-experimental, ya que, según Capili & Anastasi, (2024), este tipo de diseño no contempla la asignación aleatoria de grupos ni la existencia de un grupo de control. Su propósito principal es evaluar el efecto de una variable independiente —el monitoreo y control automatizado de los parámetros del compost— sobre una variable dependiente, correspondiente al diseño del contenedor y la calidad final del compost obtenido.

El nivel de investigación es aplicado, dado que busca emplear conocimientos científicos y tecnológicos para el diseño, implementación y evaluación del proceso de compostaje, analizando el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos que intervienen en su desarrollo.

Asimismo, el estudio adopta un enfoque mixto, al integrar elementos cuantitativos y cualitativos. En el componente cuantitativo, se utilizan tecnologías IoT para la recolección, medición y control de variables, mientras que, en el componente cualitativo, se analizan los aspectos prácticos, operativos y contextuales asociados a la gestión y valorización de los residuos orgánicos.

3.2. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Área de estudio

La presente investigación pretende demostrar el funcionamiento de un contenedor inteligente semi-automatizado capaz de monitorearse y actuar por sí mismo. Para ello, primeramente, fue necesario recopilar datos llevando a cabo prácticas de compostaje en la Municipalidad de Yanahuara, con el fin de comprender el proceso y adquirir experiencia práctica, y posteriormente elaborar el contenedor inteligente y ponerlo a prueba.

Tabla 8.

Área de estudio del proyecto.

Ubicación	Descripción
Ubicación Temporal	El estudio se desarrolló durante dos años, 2024 – 2025.
Ubicación Espacial	Se gestionó y se llevó a cabo prácticas para el manejo del compostaje en la Municipalidad Distrital de Yanahuara, con exactitud en el área de compostaje - Magnopata.

a. Unidades de estudio

El presente trabajo de tesis considera la generación total de residuos orgánicos per cápita en el distrito de Yanahuara, esto incluye principalmente mercados y domicilios. La muestra a representar es la cantidad de residuos convertido en compost.

3.2.2. Materiales y equipos

A continuación, se presenta los materiales empleados en cada etapa de la presente investigación:

Tabla 9.

Material y equipos a emplear durante la investigación.

Fases de la investigación	Materiales	Equipos
Compostaje tradicional Municipalidad	<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas (pala) 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiparámetro <i>Hanna Instrument</i> • Termómetro Digital <i>MULTI TERMOMETER</i> (Amarell-Alemana). • Medidor de pH <i>YALASO</i>
Elaboración de la compostera inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Cilíndrico de plástico industrial de 100 litros. • Soporte (Platina de acero de 1.5" y ángulo de acero de 1.5" x 3mm). • Lamina de acrílico transparente de 2mm (ventana) • Pernos inoxidables de 3/4" 	<ul style="list-style-type: none"> • Software (<i>Sketchup</i> y <i>AutoCad</i>).
Seguimiento de la compostera	<ul style="list-style-type: none"> • Vaso precipitado • Varilla de vidrio 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores (Temperatura, humedad y gases). • Placa de Circuito Impreso (PCB) • Microcontrolador ESP 32

- Actuadores (Bomba de agua, ejes mecánicos, Kit solar fotovoltaico).

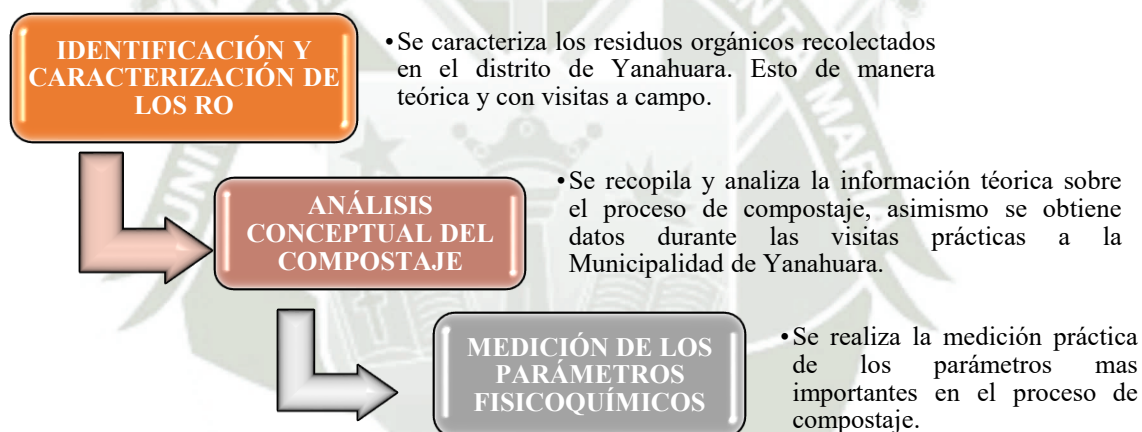
3.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Análisis teórico y práctico del compostaje

En base al primer objetivo se identifica y analiza los parámetros del compostaje para su optimización, en tal caso, el análisis teórico y práctico del compostaje sigue el siguiente procedimiento:

Figura 2.

Metodología para conseguir el alcance del primer objetivo.



3.3.1.1. Identificación y caracterización de los residuos en el área de estudio

Teóricamente, se estima la cantidad y procedencia de RO aproximada en el distrito de Yanahuara, ello según la Resolución de Alcaldía N°55-2024-MDY, la cual aprueba el Plan Anual de Valorización de Residuos Sólidos Inorgánicos y Orgánicos Municipales del distrito de Yanahuara 2024.

Para la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios, que ingresaron al área de compostaje, se empleó una ficha de caracterización que fue elaborada en base a la “*Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales*” aprobada mediante Resolución Ministerial N°457-2018-MINAM (MINAM, 2019), considerando las recomendaciones técnicas relacionadas con la segregación, clasificación por tipo de residuo, pesaje,

determinación de la densidad y las condiciones de seguridad necesarias para la manipulación de los materiales.

Asimismo, dicha ficha fue revisada y aprobada por la Dra. María Elizabeth Bejarano Meza, especialista en Gestión y Manejo de Residuos Sólidos (Adjuntado en el Anexo N°3).

3.3.1.2. Análisis conceptual y práctico del proceso de compostaje

A partir de investigaciones de diversos autores, incluyendo a Román et al. (2013), Nikoloudakis et al. (2018) y Li et al. (2023), se recolectó información bibliográfica sobre los parámetros del compostaje. De cada estudio se extrajeron los límites máximos y mínimos recomendados en el proceso de compostaje, los cuales teóricamente se promedian para determinar los rangos óptimos de cada parámetro (**Observe la Tabla 22**). Asimismo, es importante destacar que esta información fue necesaria para establecer los límites de operación y garantizar que los componentes del sistema IoT actúen de manera precisa cuando fuese necesario.

En cuanto a la obtención de información primaria, se llevó a cabo visitas periódicas al área de compostaje de la Municipalidad Distrital de Yanahuara (Magnopata) durante un período de cuatro meses. Durante este tiempo, se observó detalladamente el proceso de compostaje, desde la formación de las pilas hasta la obtención del sustrato final (compost). Las mediciones se efectuaron in-situ utilizando instrumentos de campo, brindados por la municipalidad. Las evidencias se observan en el Anexo 7 de la presente investigación.

3.3.1.3. Mediciones de los parámetros fisicoquímicos

Se monitorean los principales parámetros del compostaje: pH, temperatura y humedad, con una frecuencia de muestreo quincenal durante un periodo total de cuatro meses.

A. Temperatura

Para la medición de temperatura se empleó un Termómetro Digital *MULTI TERMOMETER (Amarrell-Alemana)* - tipo lapicero, el cual es introducido a la mitad de las pilas de compostaje, dichos datos fueron recolectados en un registro por cada medición.

Figura 3.

Medición de la temperatura durante el proceso de compostaje.



B. pH

Para la medición de este parámetro se necesitó de un medidor de pH *YALASO*, la medición se realizó tomando una muestra de compost e introduciéndola en un vaso precipitado para mezclarla y posteriormente incrustar las agujas y realizar la medición.

Figura 4.

Medición del pH durante el proceso de compostaje.



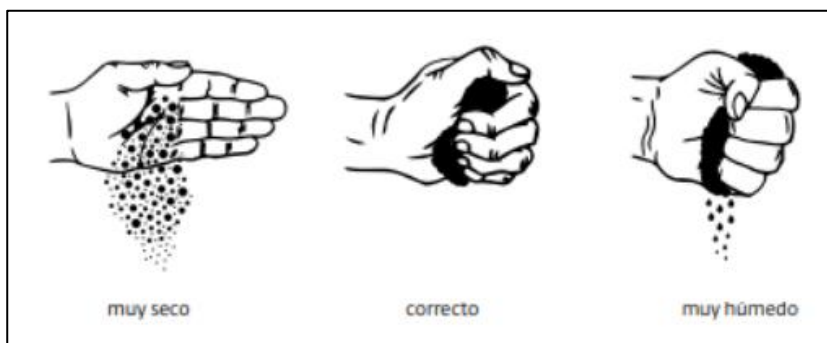
C. Humedad

En el caso de la medición de la humedad se consideró el medidor de humedad *YALASO*, el cual es el mismo equipo con el que se mide el pH (Figura 4). No obstante, durante dichas visitas era comúnmente observar las mediciones con la técnica del puño (Figura 5), el cual consistía en introducir la mano a la pila de compost y extraer un puñado

de la mezcla, en este se presiona y según sean los resultados se toma la decisión de realizar el riego o añadir material seco.

Figura 5.

Medición de la humedad durante el proceso de compostaje.



Nota. Guerrero, H., et al., (2020).

D. Relación C/N

Se precisa que, si bien la Relación C/N es un parámetro importante en el proceso de compostaje, en numerosas investigaciones resulta complejo abordar este tema de manera práctica. Sin embargo, para este estudio se estimó la relación C/N inicial del proceso basándose en datos de la literatura científica sobre los porcentajes de carbono y nitrógeno presentes en materiales comúnmente utilizados en compostaje. Este análisis tomó como referencia la revista *Organic Gardening Magazine, 2024* y la guía de Román et al. (2013).

Tabla 10.

Registro de relación C/N.

Material	% Carbono	% Nitrógeno	Relación C/N
Estiércol vacuno	12-20	0.6-1	20:1
Estiércol de caballo	20-35	0.5-1	30:1
Restos de poda	44	1	44:1
Astilla de madera o aserrín	50	0.1	50:1
Residuos vegetales frescos ⁽¹⁾	10	1	10:1
Residuos vegetales con almidón ⁽²⁾	15	1	15:1
Restos de cocina ⁽³⁾	10-20	1-2	10:1
Residuos de frutas ⁽⁴⁾	8	0.5	16:1

Nota. Datos obtenidos de la revista *Organic Gardening Magazine et al. 2024* y la guía de Román et al., (2013)

⁽¹⁾Hojas de lechuga, espinaca, apio, tallos de brócoli, tallos de perejil, etc.

⁽²⁾Cáscaras de papa, camote, mazorcas de maíz, arvejas, zapallo, etc.

⁽³⁾Cáscaras de huevo, mondaduras de ajo, cáscaras de nueces, etc.

⁽⁴⁾Cáscaras de plátano, manzana, naranja, sandía, restos de fresas, etc.

La relación C/N, según Román et al. (2013) puede calcularse de manera matemática y/o mediante programas informáticos. El resultado varía según el material de partida y tiende a cambiar a lo largo del proceso de compostaje, la presente investigación emplea la ecuación de Richard & Trautmann, (1996).

$$R = \frac{Q_1 \times (C_1 \times (100 - M_1) + Q_2 \times (C_2 \times (100 - M_2) + Q_3 \times (C_3 \times (100 - M_3) + \dots)}{Q_1 \times (N_1 \times (100 - M_1) + Q_2 \times (N_2 \times (100 - M_2) + Q_3 \times (N_3 \times (100 - M_3) + \dots)} \dots \text{ Ecuación (1)}$$

Donde:

Q = Cantidad de material a adicionar

C = Cantidad de carbono.

N = Cantidad de nitrógeno.

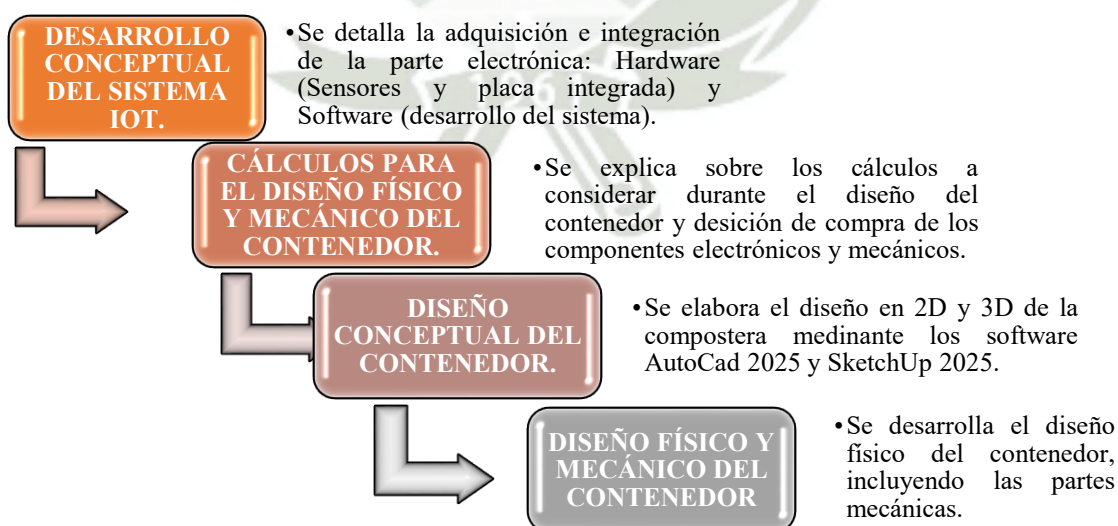
M = Humedad de material.

3.3.2. Diseño de la estructura física y conceptual del contenedor

Con respecto al segundo objetivo se diseña la estructura física y conceptual del contenedor con tecnología IoT, ello implica el diseño mediante un software, la adquisición de equipos/materiales en físico, y finalmente la integración de los mismos. Para tal caso, se siguió el siguiente procedimiento:

Figura 6.

Metodología a seguir para el alcance del segundo objetivo.

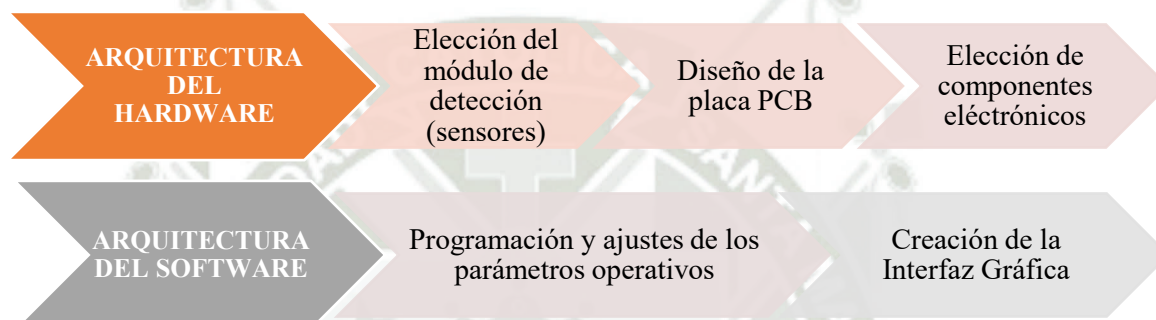


3.3.2.1. Desarrollo conceptual del sistema IoT

El sistema IoT se basa en una serie de monitoreo en tiempo real a través de procesos y componentes. Su elección y desarrollo se realizó en base a la guía de Rubio, (2023). Donde detalla el camino a seguir para el desarrollo del hardware (Diseño, armado y elección de los componentes electrónicos para el IoT), y el software (Programación, ajustes y visualización de datos).

Figura 7.

Desarrollo del Hardware y Software.



A. Arquitectura del Hardware

- **Elección del módulo de detección (sensores)**

Todos los sensores se caracterizan por tener un tamaño pequeño, pero de alta integración, alta estabilidad y respuesta muy rápida. Con respecto a los gases, se consideró la obtención del *módulo de detección 4 en 1 ZCE04B de WINSEN*, el cual contiene cuatro sensores de gas (CO, H₂S, O₂ y CH₄) y una placa de circuito de procesamiento de señales.

Figura 8.

Módulo de detección 4 en 1 ZCE04B de Winsen.



El módulo emite los valores actuales de concentración de los cuatro gases en tiempo real, además se caracteriza por su buena selectividad y estabilidad, ya que trabajan bajo el principio catalítico-electroquímico. A continuación, se detallan sus parámetros técnicos:

Tabla 11.

Parámetros técnicos del módulo de detección ZCE04B.

Parámetros técnicos	Descripción
Modelo N°	ZCE04B
Detección de Gas	O ₂ : 0 - 30%vol CO: 0 - 1000ppm H ₂ S: 0 - 100ppm CH ₄ : 0 - 100%LEL
Resolución	O ₂ : 0.1%vol CO: 1ppm H ₂ S: 1ppm CH ₄ : 1%LEL
Tensión de trabajo	3.5-5V
Tiempo de respuesta	<30s
Condiciones de trabajo	-20~50°C, 15~90%RH
Temperatura de almacenamiento	0~20°C (recomendada)
Vida útil esperada	2 años (en aire limpio)

Nota. Winsen (2025).

Por otro lado, para el seguimiento de la temperatura y la humedad dentro del contenedor se empleó el sensor DHT22 (AM2302), el cual es calibrado desde fábrica al igual que los anteriores y permitieron el monitoreo de dichos parámetros. A continuación se presenta sus especificaciones técnicas:

Tabla 12.

Especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad.

Parámetros técnicos	Descripción
Modelo	AM2302
Dimensiones	20 x 15 x 8 mm
Voltaje de Operación	3V - 6V DC
Rango de medición de temperatura	-40°C a 80 °C
Precisión de medición de temperatura	O ₂ : 0.1%vol < ± 0.5 °C
Resolución Temperatura	0.1°C
Rango de medición de humedad	De 0 a 100% RH
Resolución Humedad	0.1%RH
Precisión de medición de humedad	2% RH
Tiempo de sensado	2s

Nota. Naylamp Mechatronics (2025).

Finalmente, para la medición del metabolismo se consideró emplear el sensor de calidad de aire MQ-135, el cual se encarga de detectar el Dióxido de Carbono (CO₂) durante el proceso de compostaje. Dicho sensor presenta señal de salida dual (salida analógica y digital). Su costo es relativamente accesible y su diseño permite el monitoreo de gases continuo y rápido. A continuación, se presentan sus especificaciones técnicas:

Tabla 13.

Especificaciones técnicas del sensor de CO₂.

Parámetros técnicos	Descripción
Dimensiones	32 x 22 x 24 mm
Voltaje de Operación	5 V DC
Corriente de operación	150mA
Potencia de consumo	800mW
Rango de detección	10 - 1000ppm
Tiempo de respuesta	≤ 10s

Humedad d operación

<95%RH

Temperatura de operación

-20°C - 70°C

Nota. Electromania Perú, (2025).

En la Figura 9, se muestra a los últimos sensores considerados para el monitoreo dentro del contenedor.

Figura 9.

Sensor de temperatura, humedad y CO₂.



- **Diseño de la PCB**

Mediante el software kidCad (diseño de circuitos eléctricos) se diseñó la placa de circuito impreso (PCB) personalizada, la cual buscó integrar en un solo dispositivo los diferentes componentes electrónicos necesarios para el control y monitoreo del sistema. El diseño sirvió como referencia para el ensamblaje en físico y optimización del espacio, reduciendo la dependencia de conexiones externas y garantizando un funcionamiento más estable y confiable.

- **Elección de componentes electrónicos**

Una vez elaborado el diseño 3D de la PCB se pasó a seleccionar los componentes electrónicos físicos, los cuales serán incluidos en dicha placa. Los componentes integrados, en conjunto, permitieron la medición, registro y transmisión de variables críticas en el proceso de compostaje. Por lo que, tanto el diseño como la elección de los componentes electrónicos fueron mediante el servicio profesional de un especialista en electrónica.

Asimismo, para la alimentación de los componentes electrónicos se empleó un sistema de energía solar conformado por un panel fotovoltaico, una batería y un controlador. La determinación de la potencia del panel se realizó en función de la demanda energética

del sistema. Para ello, se calculó la demanda eléctrica del contenedor durante su funcionamiento, considerando el consumo de cada componente involucrado.

Figura 10.

Kit fotovoltaico.

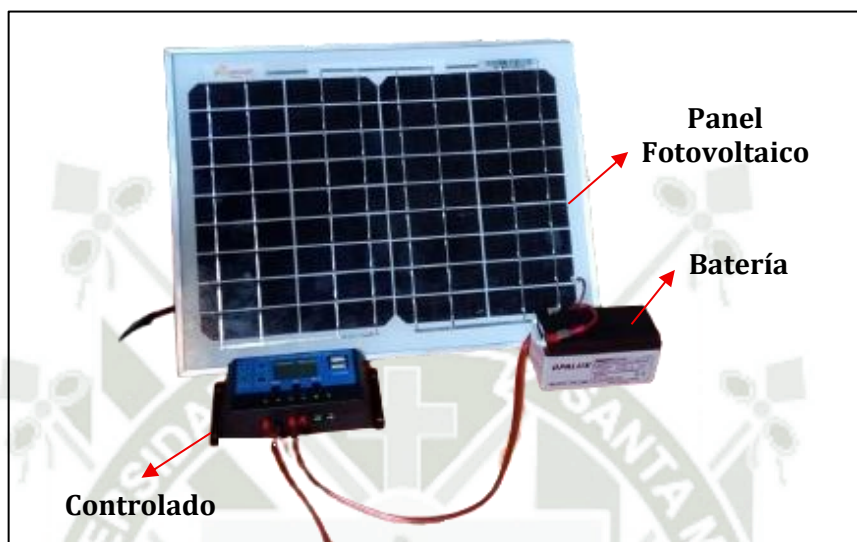


Tabla 14.

Función y aporte del kit fotovoltaico.

Componente	Función principal	Aporte al proyecto
Panel solar fotovoltaico	Convierte la energía solar en electricidad (corriente continua DC).	Suministrar energía limpia al sistema, permitiendo el funcionamiento autónomo sin dependencia de la red eléctrica.
Controlador o regulador de carga	Regula el flujo de corriente del panel hacia la batería; evita sobrecarga y descarga excesiva.	Proteger la batería y asegurar un suministro estable de energía para los sensores, motor y PCB.
Batería	Almacena la energía generada por el panel para usarla cuando no hay sol.	Mantener operativa la compostera durante la noche o días nublados, garantizando continuidad en el monitoreo IoT.

Las especificaciones técnicas correspondientes al kit fotovoltaico son las siguientes:

Tabla 15.

Especificaciones técnicas del Panel solar INTI POWER (YH10W-18M).

Característica	Valor
Modelo	YH10W-18M
Potencia máxima (Pmax)	10 W

Tolerancia de potencia	0 – 3 %
Voltaje a potencia máxima (Vmp)	18.27 V
Corriente a potencia máxima (Imp)	0.55 A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	21.93 V
Corriente en cortocircuito (Isc)	0.59 A
Voltaje máximo del sistema	1500 V
Rango de temperatura	-40 °C a +85 °C
Peso	1.1 kg
Dimensiones	273 × 355 × 17 mm
Clase de aplicación	Clase A+
Clasificación de fusibles en serie	15 A
Resistencia al fuego	Clase C
Condiciones estándar de prueba (STC)	E = 1000 W/m ² , Tc = 25 °C, AM = 1.5

Tabla 16.

Especificaciones técnicas del Controlador solar W88-C.

Característica	Valor
Modelo	W88-C
Tipo	Controlador de carga solar
Voltaje nominal	12 V / 24 V automático
Corriente nominal	30 A
Voltaje máximo del panel (PV)	50 V
Potencia máxima de entrada (PV)	390 W (12 V) / 780 W (24 V)
Certificación	CE

Tabla 17.

Especificaciones técnicas de la batería OPALUX DH-1213 (12V, 1.3Ah).

Característica	Valor
Modelo	DH-1213
Voltaje nominal	12 V
Capacidad	1.3 Ah
Tipo	Batería sellada recargable de plomo-ácido
Uso en flotación (Floating use)	13.6 – 13.8 V
Uso en ciclo (Cycle use)	14.5 – 14.9 V
Corriente inicial máxima	Menor de 0.39 A
Temperatura de referencia	25 °C

B. Desarrollo de la arquitectura del Software

- **Programación y ajustes de los parámetros operativos**

Con el fin de garantizar un adecuado control de las condiciones internas de la compostera inteligente, se establecieron parámetros operativos que sirvieron como

referencia para la programación del sistema electrónico IoT. Estos valores se determinaron a partir de la literatura técnica y normativa relacionada con procesos de compostaje, de modo que el sistema pueda responder automáticamente frente a variaciones que afecten la eficiencia del proceso.

Cabe precisar que, las condiciones críticas de operación que deben ser monitoreadas son indicadores de la calidad del proceso biológico y factores externos a este.

En la Tabla 28 de resultados, se resumen los valores mínimos, ideales y máximos considerados, así como las acciones correctivas programadas en caso de superarse los límites establecidos. Estos criterios sirvieron de base para el diseño lógico del sistema de control implementado en el microcontrolador ESP32 y la posterior interacción con los actuadores (paletas de aireación y mecanismos de riego).

- **Creación de la Interfaz gráfica**

Para la etapa de monitoreo y visualización de los datos obtenidos por los sensores, se empleó la plataforma **Blynk Cloud**, una herramienta basada en la nube que permite la conexión y control remoto de dispositivos IoT. Para su elección se consideró principalmente, su compatibilidad con el microcontrolador ESP32, su capacidad para presentar información en tiempo real a través de una interfaz gráfica personalizable, y su accesibilidad desde dispositivos móviles o computadoras fácilmente.

El procedimiento para crear y conectar esta interfaz al contenedor fue el siguiente:

1. Se creó una cuenta en Blynk Cloud y un nuevo proyecto, seleccionando el dispositivo ESP32 y el tipo de conexión Wi-Fi. Para ello fue necesario aperturar un correo exclusivo para recibir toda la información.
2. Se obtuvo el Auth Token del proyecto al correo exclusivo para vincular el microcontrolador con la plataforma en la nube.
3. Se configuró el panel de control agregando widgets (indicadores, gráficos y displays) para visualizar los datos de los sensores.
4. En el código del ESP32, se integró la librería BlynkSimpleEsp32.h, ingresando las credenciales de Wi-Fi y el token proporcionado.
5. Finalmente, se cargó el programa al dispositivo, estableciendo la conexión con Blynk Cloud y permitiendo la visualización de los datos en tiempo real.

3.3.2.2. Cálculos de diseño físico del contenedor

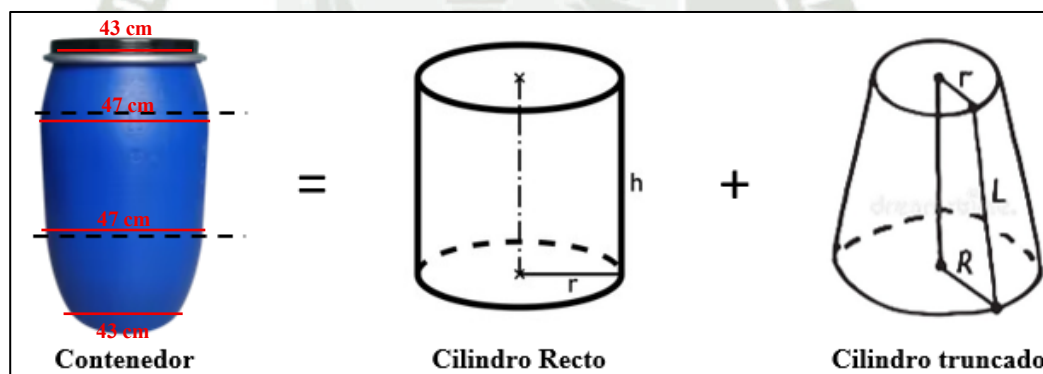
A. Determinación del volumen del contenedor

El cálculo del volumen del contenedor se basó en criterios de costo, factibilidad para la obtención del compost, facilidad de transporte y un dimensionamiento funcional que permitiera demostrar de manera eficiente el desempeño del contenedor inteligente. En este contexto, para la aplicación de las fórmulas de diseño fue necesario establecer previamente la morfología del sistema.

Para tal caso, la presente investigación contempla el cálculo del volumen real de un cilindro de tipo tambor empleando dos fórmulas distintas, esto debido a que la parte superior e inferior tienen una morfología similar, pero difieren de su morfología central, es por ello que se aplicó dos fórmulas, la primera para su morfología central y la segunda para la parte superior e inferior.

Figura 11.

Morfologías a considerar para el cálculo del volumen cilindro.



- *Cálculo del volumen cilindro recto*

$$V_{cr} = \pi(r^2)(h) \dots \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

V_{cr} : Volumen del cilindro recto

r : Radio del cilindro

h : Altura del cilindro

- ***Cálculo del volumen cilindro truncado superior e inferior***

$$V_c = \frac{1}{3}\pi(h)(R^2 + r^2 + (R)(r)) \dots \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

V_c : Volumen del cilindro truncado (inferior y superior)

R : Radio mayor

r : Radio menor

h : Altura

- ***Cálculo del volumen real del contenedor***

$$V_{\text{contenedor}} = V_r + V_{\text{cinf}} + V_{\text{csup}} \dots \text{Ecuación (4)}$$

B. Determinación de la capacidad máxima de mezcla en el contenedor

Según el Manual de Compostaje del Agricultor, elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Román et al., 2013), la cantidad de mezcla a ingresar en una compostera puede calcularse a partir de la relación entre la densidad del material y el volumen del contenedor, empleando la siguiente fórmula:

$$M_{\text{mezcla}} = \rho_{\text{mezcla}} \times V_{\text{contenedor}} \dots \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

M_{mezcla} : Masa de la mezcla a ingresar (kg)

ρ_{mezcla} : Densidad de la mezcla (kg/m³)

$V_{\text{contenedor}}$: Volumen útil del contenedor (m³)

C. Determinación del consumo eléctrico

El consumo eléctrico de un equipo depende de su potencia y del tiempo de uso. A sí que el consumo del contenedor dependerá únicamente de la potencia que necesita el motor para girar las paletas y los sensores que monitorearán continuamente la mezcla. Es por tanto que, a mayor potencia o mayor tiempo de uso, mayor será el consumo.

$$E = (P)(t) \dots \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

E : Energía consumida (kWh)

P : Potencia del equipo en vatios (W)

t : Tiempo de uso (h)

En algunos componentes no se encuentra especificada la potencia que requiere, tal es el caso del motor que mueve el eje, ya que este brindaba únicamente la corriente y el voltaje, para tal caso el cálculo se realizó con la siguiente fórmula.

$$P = (V)(I) \dots \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

P : Potencia (W)

V : Voltaje (V)

I : Corriente (A)

D. Cálculo de energía generada por el panel solar

Mantuano, (2025) calcula la energía generada en un panel solar fotovoltaico relacionando la potencia y la hora solar pico, siendo esta última 5 h en Arequipa.

$$E_{panel} = (P)(HSP) \dots \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

E_{panel} : Energía generada por el panel solar (Wh)

P : Potencia (W)

HSP : Hora Solar Pico (hora)

E. Cálculo para la capacidad de almacenamiento de la batería

La siguiente ecuación permitió representar la energía total que puede almacenar teóricamente la batería.

$$E_{capacidad} = (V)(Ah) \dots \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

$E_{capacidad}$: Capacidad de almacenamiento de la batería (Wh)

V : Voltaje de la batería (V)

Ah : Capacidad nominal (ah)

F. Cálculo para la energía útil almacenada en la batería

La siguiente ecuación ayudó a determinar la cantidad real de energía que puede utilizarse efectivamente sin dañar la batería, considerando su profundidad de descarga (DoD), y al ser una batería de plomo, se consideró como su DoD de 80%.

$$E_{Bateria} = (E_{Capacidad})(DoD) \dots \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

$E_{Bateria}$: Energía útil almacenada (Wh)

$E_{capacidad}$: Capacidad de almacenamiento de la batería (Wh)

DoD : Profundidad de descarga (%)

Adicionalmente se calculó el tiempo que la batería puede durar sin el panel solar, relacionando la energía útil de la batería con el consumo total de todo el sistema IoT.

$$T_{duración} = \frac{E_{Bateria}}{E} \dots \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

$T_{duración}$: Tiempo de alimentación sin panel (h)

$E_{Bateria}$: Energía útil almacenada (Wh)

E : Consumo energético del sistema (Wh)

Cabe mencionar que, la estructura de la compostera fue construida a escala prototipo, el cual permite evaluar la viabilidad del diseño y realizar los ajustes necesarios antes de escalarlo a una versión de producción. Las fotos correspondientes se observan en Resultados.

3.3.2.3. Diseño conceptual de la estructura del Contenedor

Para el dimensionamiento y diseño de la compostera se desarrolló un modelo tridimensional (3D) utilizando el programa SketchUp 2025. Esto con el fin de detallar de manera clara la disposición de cada componente, tanto electrónicos como mecánicos desde el exterior. Asimismo, el diseño sirvió como modelo para la comprensión visual del sistema, así como referencia para el ensamblaje físico y la distribución externa de los componentes

electrónicos y mecánicos, facilitando futuras etapas de fabricación, prueba y escalado del proyecto.

3.3.2.4. Diseño de la estructura física del contenedor

La elección del contenedor se basó en tres criterios principales: (i) resistencia al calor durante la fase termófila del compostaje, lo que garantizará la estabilidad estructural ante elevadas temperaturas; (ii) diseño cilíndrico tipo tambor, que facilitará el volteo y la homogenización de la mezcla; y (iii) ligereza y facilidad de transporte, permitiendo un armado y ensamblaje práctico en diferentes contextos de uso.

La estructura física de la compostera inteligente fue conformada por un contenedor de plástico industrial, montado sobre un soporte metálico movable, elaborado con platinas y ángulos de 1.5" x 3 mm. El soporte consideró cuatro garruchas (ruedas) que permitieron el desplazamiento, cada una con capacidad de soporte de 35 kg. Así también se decidió incluir dos accesos tipo puerta y ventana, siendo esta última fabricada con acrílico transparente de 2 mm y fijada con pernos inoxidables de 3/4", mientras que las puertas están equipadas con bisagras y cerrojos de acero inoxidable, lo que facilitó la inspección y el mantenimiento interno del sistema (Observar Figura 17).

Posterior al diseño y dimensionamiento de la compostera inteligente, se procedió con la adquisición de los componentes mecánicos principales que permitieron el correcto funcionamiento del sistema. Estos componentes fueron: el aspersor de agua, motor, las paletas de aireación, las baterías de almacenamiento y el panel solar fotovoltaico. En la Tabla 18, se detalla el uso, función y características críticas de cada uno:

Tabla 18.

Características y funciones de los componentes.

Componente	Capacidad / Especificaciones	Ubicación	Función
Motor eléctrico	Voltaje: 12V Velocidad: 16 RPM	Conectada al panel y al eje para el movimiento del eje.	Generar el movimiento de las paletas para el mezclado y aireación de los residuos.
Paletas de aireación	El primer eje cuenta con 100 cm de longitud y el segundo de 95 cm	Al interior del contenedor	Airar homogéneamente la mezcla, aportando oxígeno y evitando zonas anaeróbicas.

Aspersor de agua	Caudal de 28 ml/seg	Dentro de un recipiente de agua, junto al contenedor y conectado al mismo para el riego.	Humedecer la mezcla cuando sea necesario.
Panel fotovoltaico	Potencia: 10 W Voltaje max. 18.2V Corriente max. 0.55A	Al exterior del contenedor, área con radiación solar.	Captar energía solar para alimentar el motor y el sistema IoT.
Batería de almacenamiento	Voltaje: 12V Corriente: 1.3AH	Junto a la placa de control y el resto de los componentes electrónicos	Almacenar energía para garantizar el funcionamiento del sistema en ausencia de radiación solar.

3.3.3. Obtención del sistema embebido

La tercera etapa de la presente tesis consistió en la obtención del sistema embebido, es decir la integración de los componentes electrónicos y mecánicos dentro de la compostera, así como su automatización y control en tiempo real de la mezcla.

3.3.3.1. Integración de los componentes mecánicos

Para el desarrollo del sistema de compostaje automatizado, se integraron dos ejes con paletas de acero inoxidable distribuidas uniformemente a lo largo del contenedor, cuya función fue homogeneizar la mezcla, favorecer la aireación y mantener condiciones internas óptimas de humedad y temperatura.

Adicionalmente, el sistema incorporó un mecanismo de aspersión de agua diseñado para mantener niveles óptimos de humedad dentro del contenedor. Dicho sistema fue compuesto por una mini bomba eléctrica encargada de extraer el agua desde un recipiente, y una manguera interna perforada estratégicamente a lo largo del contenedor.

3.3.3.2. Integración de los componentes electrónicos

Posterior al ensamblaje de los componentes mecánicos, se llevó a cabo la integración del sistema electrónico, conformado por los sensores, la placa de circuito impreso (PCB) y el kit fotovoltaico, este último encargado de la alimentación energética. La instalación se realizó considerando la distribución funcional de los elementos, garantizando la correcta lectura de datos y el control automatizado del sistema.

3.3.3.3. Pruebas y validación del sistema

Se determinó la ubicación óptima de la compostera considerando los requerimientos de conectividad inalámbrica, exposición solar directa para el funcionamiento del sistema fotovoltaico y condiciones ambientales representativas para el proceso de compostaje. La instalación final se realizó en un área que cumplió con dichas condiciones, permitiendo validar la operatividad integral del sistema.

Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento con el fin de verificar la lectura y transmisión de datos por parte de los sensores hacia la plataforma Blynk Cloud, evaluando la estabilidad de la red Wi-Fi, la precisión de los parámetros medidos (temperatura, humedad y concentración de gases) y la respuesta automática del sistema de aspersión.

Asimismo, se validó la autonomía energética del kit fotovoltaico, garantizando un suministro continuo de energía durante las distintas horas del día. Estas pruebas permitieron comprobar la sincronización entre el sistema embebido y la plataforma de monitoreo, asegurando su correcto desempeño bajo condiciones reales de operación. En los resultados se muestra la disposición final del prototipo y las pruebas realizadas en campo.

3.3.4. Monitoreo y control del proceso de compostaje

3.3.4.1. Segregación y corte de los residuos orgánicos

Una vez integrada todos los componentes electrónicos y mecánicos, se procedió a agregar los RO domiciliarios a la compostera; sin embargo, previamente se tuvo que:

- Segregar los RO, según lo detallado en la Tabla 10.
- Pesar para determinar la relación C/N teórica y establecer las condiciones iniciales del proceso.
- Reducir el tamaño de los RO hasta alcanzar un tamaño promedio inferior a 4 cm.
- Y, finalmente introducir la mezcla.

3.3.4.2. Monitoreo y mejora en el rendimiento del compostaje

Con el inicio del proceso de compostaje y la operatividad total de los componentes mecánicos y electrónicos de la compostera inteligente, se llevó a cabo el control y monitoreo

automatizado de las variables físicas del sistema. Para la correcta ejecución del monitoreo, se establecieron las siguientes condiciones operativas básicas:

- **Primera condición:** La compostera debía permanecer conectada permanentemente a la batería, asegurando un suministro continuo de energía durante el tiempo de funcionamiento.
- **Segunda condición:** El módulo de conectividad Wi-Fi debía mantenerse activo para permitir la transmisión de datos entre los sensores, la placa de control (PCB) y la plataforma de monitoreo (Dashboard Blynk.Console), donde se visualizaron los parámetros de temperatura y humedad en tiempo real.
- **Tercera condición:** La compostera debía ubicarse en un área con adecuada ventilación y el panel fotovoltaico debía estar expuesto directamente a los rayos solares durante el día a fin de optimizar el rendimiento.

3.3.4.3. Análisis de la muestra

Al finalizar el proceso de compostaje, se extrajo una muestra del contenedor para el análisis de calidad, dicha muestra fue extraída con el fin de realizar el análisis de calidad, para ello se siguió los lineamientos establecidos en el Manual de Compostaje para Municipios (CEPIS, 2002). La muestra fue tomada luego de realizar un volteo manual, considerando tres puntos de muestreo dentro del contenedor. Posteriormente, se efectuó el proceso de cuarteo, obteniéndose aproximadamente 500 g de muestra, la cual fue almacenada en una bolsa tipo Ziploc, debidamente rotulada y transportada en un cooler al laboratorio *ALAB Analytical Laboratory* (ALAB) para su análisis correspondiente.

Asimismo, se precisa que dicho laboratorio se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Calidad del Perú (INACAL), y tanto la cadena de custodia como el informe de resultados se adjuntan en el Anexo 7.

3.3.4.4. Análisis costo - beneficio

El Análisis Costo–beneficio (ACB) de la compostera inteligente, se calculó en base a su escalabilidad a mayor tamaño. Ello considerando la metodología de Aliaga, et al., (2025), pues se sabe que el ACB compara los costos totales de un proyecto o una propuesta con el beneficio de la misma. Por lo que en términos económicos se pudo medir la rentabilidad del proyecto mediante el Valor Presente Neto (VPN).

$$VPN = \sum \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Siendo:

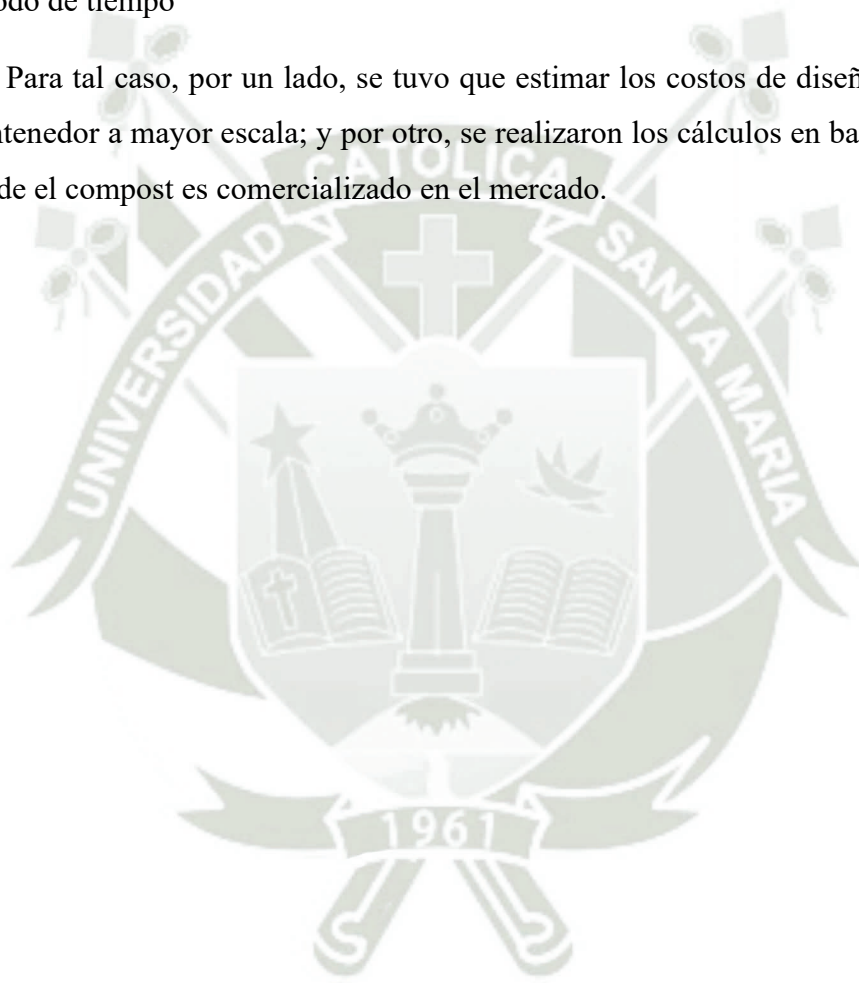
B_t : Beneficios en el tiempo

C_t : Costos en el tiempo

r : Tasa de descuento

t : Periodo de tiempo

Para tal caso, por un lado, se tuvo que estimar los costos de diseño y construcción del contenedor a mayor escala; y por otro, se realizaron los cálculos en base a un escenario en donde el compost es comercializado en el mercado.





CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

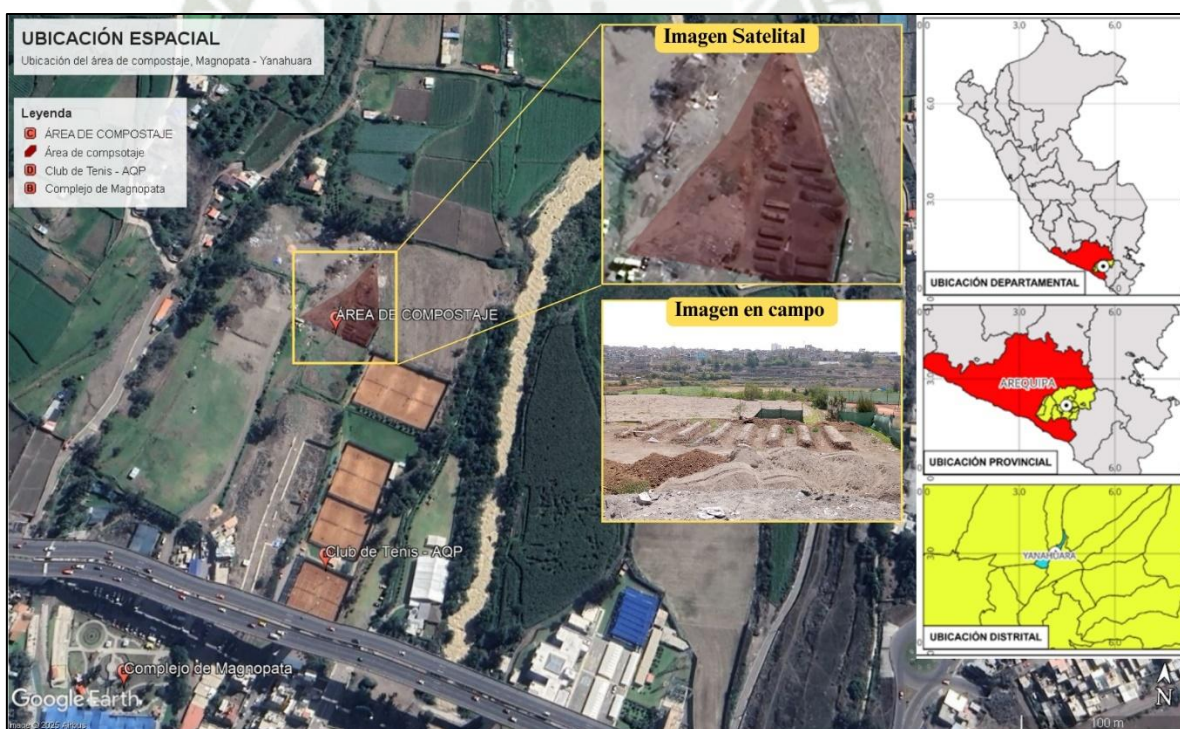
4.1. Antecedentes del Compostaje tradicional

4.1.1. Ubicación espacial

El distrito de Yanahuara es uno de los 29 distritos de Arequipa, y limita con Cayma, por el norte; Arequipa, por el este y sur; y con Cerro Colorado por el Oeste. Sus coordenadas con exactitud son $16^{\circ} 23' 28''$ de latitud sur y $71^{\circ} 32' 58''$ de longitud Oeste. Las prácticas para el seguimiento del proceso de compostaje tradicional se llevaron a cabo en Magnopata, lugar en donde la municipalidad de Yanahuara almacena los RO provenientes de mercados y la limpieza de parques para convertirlos en compost. La zona está ubicada debajo del Puente Chilina, junto al Club de Tenis de Arequipa.

Figura 12.

Mapa de ubicación.



Nota. Elaboración propia a partir de los programas QGIS 3.22.4 y Google Earth.

4.2. Resultados del procedimiento metodológico

A continuación, se presentan los resultados en base a la metodología planteada en el capítulo anterior.

4.2.1. Análisis de los parámetros del compostaje

4.2.1.1. Residuos sólidos en el área de estudio

Según la información obtenida por la municipalidad en el 2023, se estima que el 43.38% de los residuos generados al día son orgánicos.

Tabla 19.

Residuos sólidos generados en el área de estudio.

Área del distrito (Ha)	Generación Per cápita de RRSS (kg/Hab/día)	Población del distrito (Hab)	Generación de residuos por día		
			Total (Tn/día)	Orgánicos (Tn/día)	Inorgánicos (Tn/día)
220	0.796	27 353	21.77	9.44	12.33

Nota. Datos obtenidos del *Plan Anual de Valorización de Residuos Sólidos Inorgánicos y orgánicos municipales del distrito de Yanahuara 2024.*

Con lo que respecta a la generación de RO, la municipalidad de Yanahuara en su *Plan Anual de Valorización de Residuos* identificó a 7 grupos de fuentes generadores de residuos en el 2024, los cuales son:

Tabla 20.

Generación de residuos sólidos.

Grupo	Fuentes Generadoras de RRSS	Cantidad
Viviendas	Viviendas	8828
Mercados	Mercados	3
Restaurantes	Restaurantes (> a 100 m ²)	145
Supermercados y Centros comerciales	Supermercado	2
	Centros comerciales	0
Instituciones Educativas Públicas y Privadas	Instituciones Educativas (> a 500 personas)	1
	Universidad e Institutos (> a 500 personas)	2
Instituciones	Municipalidad y sedes	5
	Gobierno Regional y sedes	0
Grandes Generadores	Generadores de >2 Tn/mes	2

Nota. Datos obtenidos del *Plan Anual de Valorización de Residuos Sólidos Inorgánicos y orgánicos municipales del distrito de Yanahuara 2024.*

De estos grupos de generadores, la municipalidad solo valoriza los residuos orgánicos provenientes de los mercados y aquellas provenientes de las actividades de poda de las áreas verdes o similares (69 parques en todo el distrito). Asimismo, se precisa que el manejo de dichos RO está a cargo del personal obrero de la Subgerencia de Ornato y Áreas Verdes, por lo que dicha subgerencia es la encargada de gestionar todo el manejo de los RO, desde su recolección, transporte, disposición final y valorización (compost).

4.2.1.2. Caracterización de los residuos orgánicos en Magnopata

Se realizó la caracterización de los residuos orgánicos que llegaban al área de compostaje (Magnopata). En el Anexo 3 se presenta la ficha de caracterización detallada, pues para dicha caracterización, se emplearon cálculos teóricos y prácticos (Anexo 2), a fin de determinar las proporciones de residuos e insumos que ingresaron al área de compostaje, en la Tabla 21, se presenta los resultados finales.

Tabla 21.

Caracterización física de los residuos orgánicos empleados para el compost.

Tipo	Fracción	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Masa de las 3 pilas (kg)	% sobre masa total
Residuos	Hojas secas	62.70	11.83	741.82	10.86
	Poda pasto (verdes)	88.42	21.72	1 920.42	28.11
	Orgánicos (mercados)	127.80	3.14	401.81	5.88
Insumos	Estiércol / Ceniza	237.12	9.93	2 353.82	34.45
	Tierra de chacra	466.20	3.04	1 416.08	20.72
Total			49.66	6 832.96	100.0%

La caracterización física de los residuos empleados muestra que el estiércol/ceniza representa la mayor proporción (34.45%), seguido por la poda de pasto (28.11%) y la tierra de chacra (20.72%), evidenciando un equilibrio rico en nitrógeno y estructurantes del sustrato. Las hojas secas (10.86%) y los residuos orgánicos de mercado (5.88%) son aquellas fracciones de menor cantidad. Asimismo, se observa que, la cantidad de insumos es mayor a la cantidad de residuos por un 10.32% lo que equivale a 700 kg aproximadamente.

4.2.1.3. Proceso de compostaje

De manera conceptual, se determinó que el proceso de compostaje consta de dos fases y cuatro sub-fases (Tabla 22). Estas fases, están definidas por la variación de sus

parámetros más importantes, tales como la temperatura, pH, humedad y relación C/N; no obstante, según Román et al., (2013), Nikoloudakis et al., (2018) y Li et al., (2023), es necesario considerar también factores externos durante el proceso, tales como la temperatura ambiente, la humedad relativa, la altitud y la infraestructura del área de compostaje, pues dichos factores influyen significativamente en la duración del proceso e incluso en la calidad final del compost.

En la Tabla 22, se presenta un valor promedio de los valores recomendados durante el proceso de compostaje, los cuales son utilizados para la programación de su monitoreo y control en la compostera inteligente.

Tabla 22.

Fases del compostaje.

Fase / Duración	Descripción	Sub-fase	T° (°C)	pH	Humedad (%)	Relación C/N
Descomposición / 15-45 días	Se caracteriza por una intensa actividad microbiana, introducida por la rápida descomposición del material	Mesofílica	<40	4.5 - 7	50-60	30:1 / 40:1
		Termófila	40-65	7-9		20:1
Maduración / 45-90 días o mas	La descomposición térmica y el material empieza a madurar y a asentarse.	Enfriamiento y estabilización	< 40	6-7	<50	10:1

4.2.1.4. Control de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje

El control de las pilas de compostaje en la municipalidad se realizó de manera quincenal. En cada monitoreo se registraron los principales parámetros fisicoquímicos: temperatura, humedad, frecuencia de volteo y riego. Este seguimiento se llevó a cabo durante un periodo total de cuatro meses. Cabe resaltar que, en la última fase del proceso de compostaje, la frecuencia de monitoreo disminuyó a tres semanas, debido a la disminución progresiva de la temperatura del material, característica en la etapa de maduración.

Para la recolección de datos se utilizaron los instrumentos previamente descritos en el capítulo de metodología. Los resultados obtenidos corresponden al monitoreo realizado en el área de compostaje de Magnopata, los cuales se presentan en el Anexo 4.

A. Temperatura

En la Tabla 23 se muestran los valores tomados durante el monitoreo de las 3 pilas por 4 meses. Para un mejor análisis se promedió los valores obtenidos de todas las pilas para interpretarse y analizarse en base a todo el compost. Así se observa que las 5 primeras semanas, las pilas de compostaje alcanzaron valores temperaturas promedio mayor a 44°C correspondientes a la etapa termofílica, Posteriormente, con el transcurso de los volteos, la temperatura promedio fue disminuyendo de manera progresiva hasta estabilizarse en un rango de 26 °C a 27 °C en las últimas semanas (Figura 13).

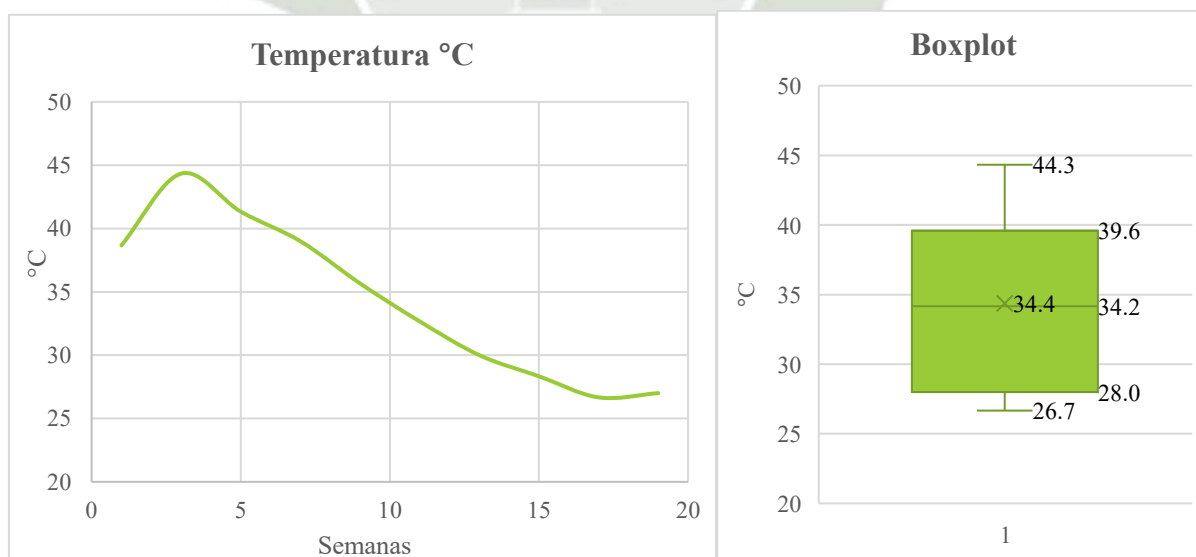
Tabla 23.

Temperatura de las pilas de compost tradicional.

N° Pilas de Compost	1 Volteo	2 Volteo	3 Volteo	4 Volteo	5 Volteo		6 Volteo		7 Volteo	
	Semana 1	Semana 3	Semana 5	Semana 7	Semana 9	Semana 11	Semana 13	Semana 15	Semana 17	Semana 19
1	39	46	40	38	35	31	31	28	27	27
2	38	43	42	39	35	32	29	29	26	27
3	39	44	42	40	37	35	30	28	27	27
Promedio	38.7	44.3	41.3	39.0	35.7	32.7	30.0	28.3	26.7	27.0

Figura 13.

Temperatura del compost tradicional.



El boxplot de temperatura muestra un rango que va desde 26.7 °C hasta 44.3 °C, con una media de 34.4 °C, lo que refleja la variabilidad de temperatura durante el proceso de compostaje. La mayoría de los datos se concentra entre 28 °C y 39.6 °C, indicando que las

temperaturas se mantuvieron principalmente dentro de un rango favorable para la actividad microbiana activa. Los valores más altos, próximos a 44.3 °C, representan el pico de la fase termofílica, mientras que los más bajos corresponden a las etapas iniciales y finales, asociadas a las fases mesófila y de enfriamiento o maduración, respectivamente.

B. Humedad

En la Tabla 24 se expresa los datos obtenidos del monitoreo de humedad por cada pila, al igual que la temperatura dichos datos se promedian para analizar los valores promedio de humedad durante el proceso de compostaje de la municipalidad.

Tabla 24.

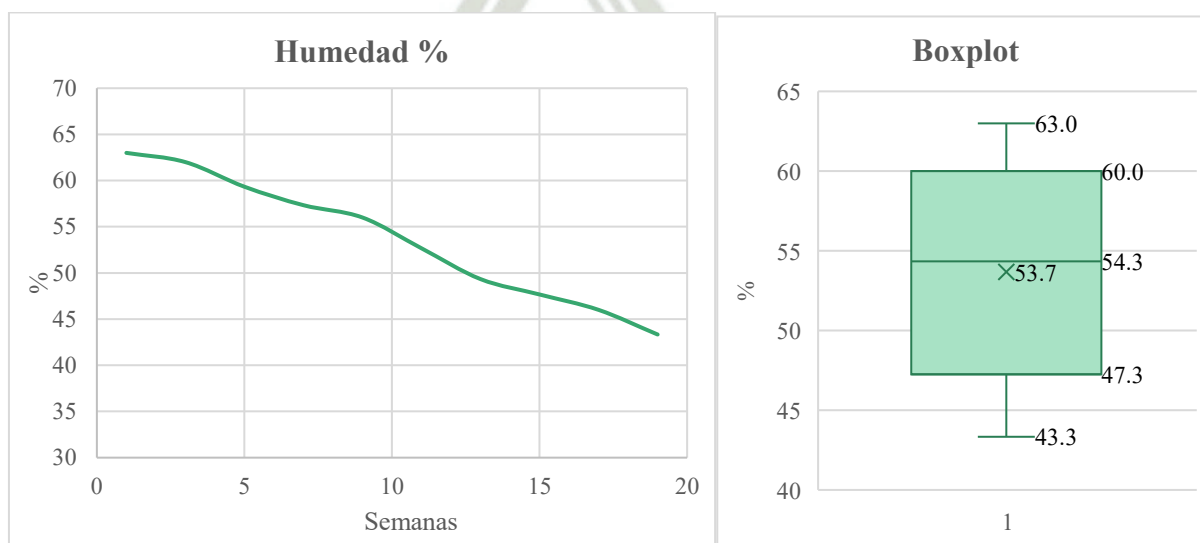
Humedad de las pilas del compost tradicional.

N° Pilas de Compost	1 Volteo	2 Volteo	3 Volteo	4 Volteo	5 Volteo	6 Volteo	7 Volteo			
	Semana 1	Semana 3	Semana 5	Semana 7	Semana 9	Semana 11	Semana 13	Semana 15	Semana 17	Semana 19
1	64	64	61	58	55	52	50	48	46	45
2	65	62	59	59	57	54	49	48	47	42
3	60	60	58	55	56	52	49	47	45	43
Promedio	63.0	62.0	59.3	57.3	56.0	52.7	49.3	47.7	46.0	43.3

La humedad promedio de las pilas se mantuvo alta durante las siete primeras semanas. Sin embargo, a medida que avanzó el proceso, se observó un descenso, alcanzando niveles menores al 50%.

Figura 14.

Humedad del compost tradicional.



En la Figura 14, se representa un descenso de la humedad, lo que se puede traducir como la reducción por falta de intervención humana, evaporación y consumo de agua por microorganismos. Con respecto a la Boxplot se obtuvo un valor mínimo de 43.3% y un máximo de 63%, con una media de 54.3%, lo que indica que el contenido de humedad se mantuvo dentro del rango teórico aceptable para la actividad microbiana en el compostaje. No obstante, la media sea ligeramente menor que la mediana, lo que sugiere una distribución con leve sesgo negativo, es decir, indica el descenso natural del contenido de agua durante la fase de maduración.

C. Ph

En relación con el pH, se observó que las pilas presentaron valores iniciales ligeramente ácidos entre 5.8 y 6.5 en la primera y tercera semana, como se muestra en la Tabla 25. Durante las semanas intermedias, el pH aumento hasta situarse en un rango alcalino de 7.4 a 7.7, este cambio ocasionado por la liberación de compuestos amoniacales generados durante la descomposición.

Tabla 25.

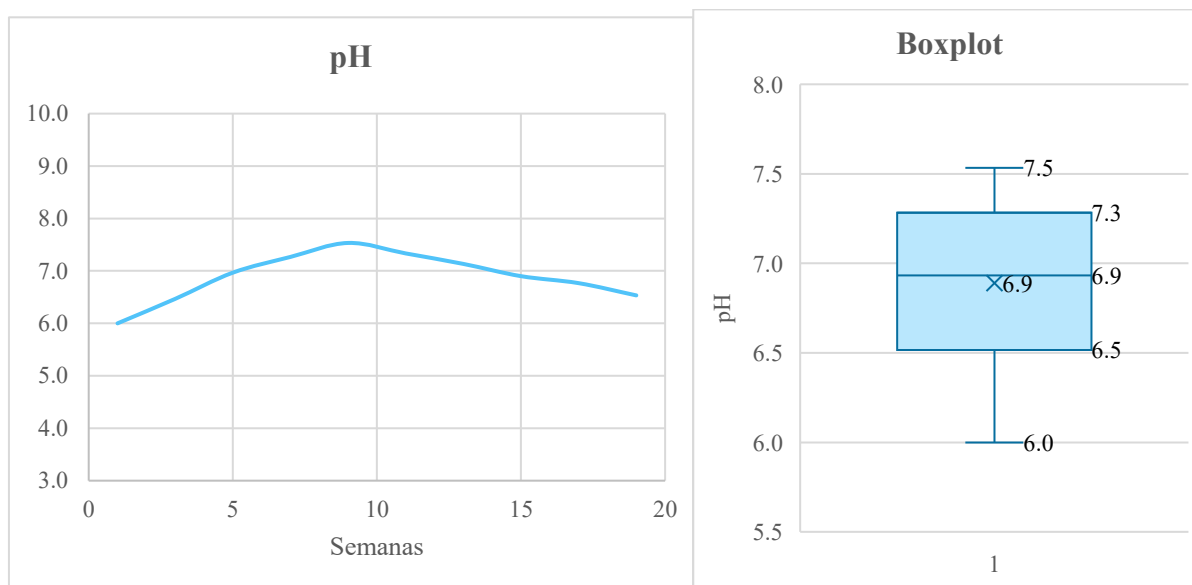
pH de las pilas del compost tradicional.

N° Pilas de Compost	1 Volteo	2 Volteo	3 Volteo	4 Volteo	5 Volteo	6 Volteo	7 Volteo
	Semana 1	Semana 3	Semana 5	Semana 7	Semana 9	Semana 11	Semana 13
1	6.2	6.5	7	7.2	7.4	7.3	7.1
2	6	6.5	7	7.2	7.5	7.2	7
3	5.8	6.4	6.9	7.4	7.7	7.5	7.3
Promedio	6.0	6.5	7.0	7.3	7.5	7.3	7.1

La Figura 15, el pH en la primera semana es de 6.0, aumenta gradualmente hasta alcanzar 7.5 hacia la novena semana. Posteriormente, desciende ligeramente, terminando en 6.5. Con respecto al boxplot de pH muestra un valor mínimo de 6.0 y un máximo de 7.5, con una media y mediana coincidentes en 6.9. Estos valores indican que el pH se mantuvo dentro de un rango estable, cercano a la neutralidad, lo cual favorece la actividad microbiana aeróbica durante el compostaje. No obstante, la coincidencia entre la media y la mediana sugiere una distribución simétrica, y el rango intercuartílico (6.5–7.3) demuestra que la mayoría de los datos se concentró en un intervalo estrecho, evidenciando un proceso equilibrado.

Figura 15.

pH del compost tradicional.



D. Relación C/N

La Tabla 26, indica los materiales empleados en el proceso de compostaje junto con sus características indicando la cantidad de masa, carbono y nitrógeno, porcentaje de humedad y la relación C/N obtenida. Se observa que las hojas secas constituyen el principal aporte de carbono (44), con una humedad baja del 15 %, lo que las convierte en un material esencial para equilibrar la mezcla. En contraste, la poda de pasto muestra un contenido de carbono más reducido (11), pero con un nivel de humedad muy alto (79 %), favoreciendo la disponibilidad de agua para la actividad microbiana.

El estiércol aporta un nivel intermedio de carbono (30) con una humedad elevada (82 %), funcionando además como una fuente importante de nitrógeno que acelera la descomposición. Por su parte, los residuos orgánicos presentan un carbono moderado (13) y un 52 % de humedad, complementando la mezcla y contribuyendo a un balance adecuado entre los materiales.

Para obtener el valor de la relación C/N total, se aplicó la **Ecuación 1**, utilizando los datos de la Tabla 26. El cálculo resultante fue de una relación de 23.71, dentro del rango óptimo recomendado para compostaje (15 a 35) según la Norma de la FAO (Román, et al., 2013). Este resultado confirma que la combinación de los materiales seleccionados permite alcanzar un equilibrio adecuado entre carbono y nitrógeno, beneficiando la actividad microbiana, evitando pérdidas excesivas de nutrientes.

Tabla 26.

Relación C/N del compost tradicional.

Detalle	Masa de 3 Pilas (Kg)	Carbono	Nitrógeno	Humedad %	Relación de C/N
Hojas secas	741.82	44	1	15	23.71
Poda pasto	1 920.42	11	1	79	
Estiércol	2 353.82	30	1	82	
Orgánicos	401.81	13	1	52	

4.2.2. Estructura física y conceptual del Contenedor Inteligente

4.2.2.1. Desarrollo del sistema IoT

A. Hardware

- **Módulo de detección (sensores)**

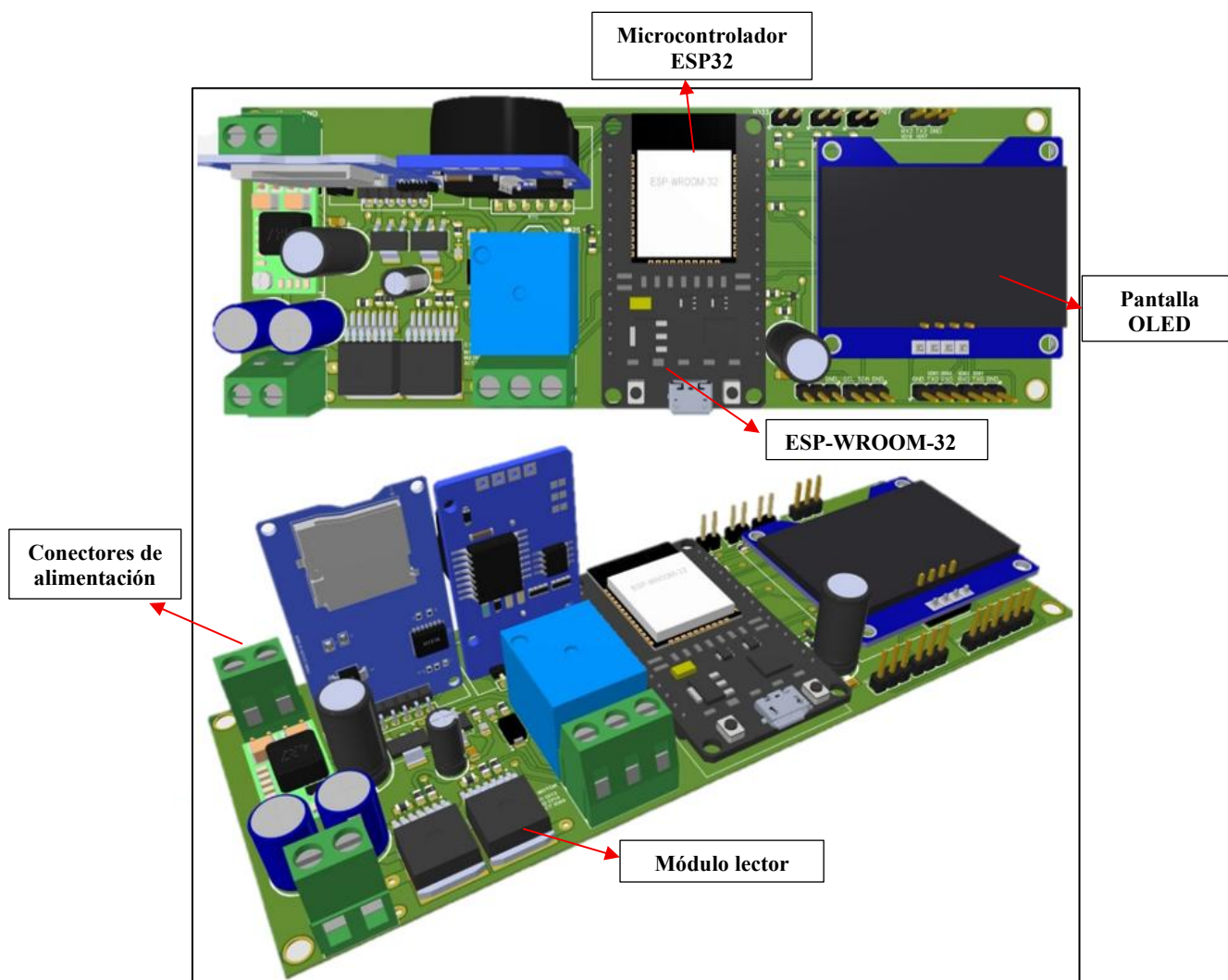
El conjunto electrónico desarrollado integró sensores de precisión y rápida respuesta (ZCE04B, DHT22 y MQ-135) los cuales permitieron la detección simultánea de gases (CO, H₂S, O₂, CH₄ y CO₂), temperatura y humedad. La información generada por estos sensores es enviada y procesada el microcontrolador ESP32, que actúa como el núcleo del sistema, gestionando la comunicación con los periféricos y ejecutando las rutinas de control preestablecidas.

- **Diseño de la PCB**

El diseño de la PCB permitió integrar todos los componentes electrónicos en una sola tarjeta, optimizando el espacio físico, reduciendo la cantidad de cableado y asegurando una mayor estabilidad del sistema. Asimismo, se precisa que, de todos los componentes, el módulo ESP-WROOM-32 es el más importante porque contiene el microcontrolador ESP32 encargado de procesar la información proveniente de los sensores y ejecutar las rutinas de control de los actuadores.

Figura 16.

Diseño 3D de la PCB.



- **Componentes electrónicos**

Por un lado, los componentes electrónicos implicados directamente con el sistema IoT fueron elegidos en base a su función y compatibilidad a la PCB, sensores y actuadores. En la Tabla 27, se describe a los componentes principales y en la Figura 16, se presenta la PCB integrada con dichos componentes.

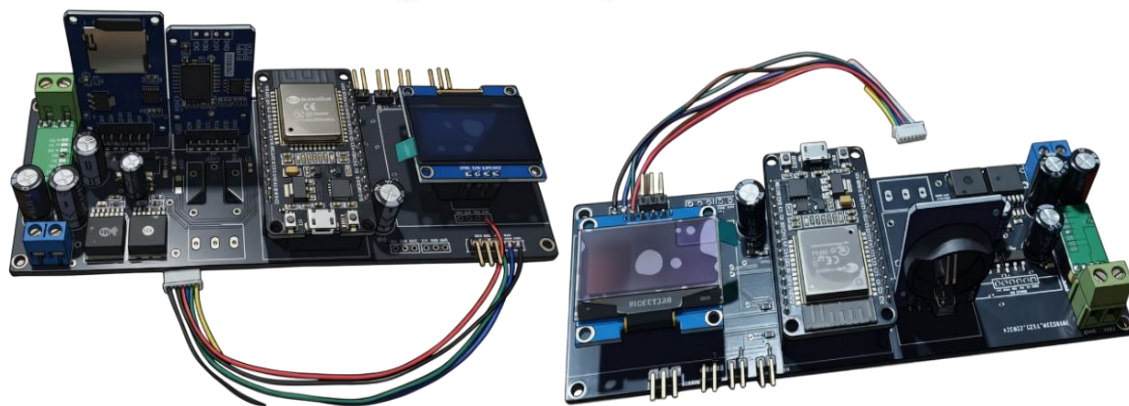
Tabla 27.

Función y aporte de los componentes electrónicos principales.

Componente	Función	Aporte
Fuente de alimentación regulada	Suministrar energía a los módulos electrónicos.	Mantener en funcionamiento continuo de los componentes electrónicos y evita fallas por cambios en el voltaje.
Sensores	Medir parámetros físicos dentro del contenedor.	Monitorear los parámetros físicos durante el proceso de compostaje en tiempo real a condiciones internas de la compostera.
Microcontrolador	Recibir y procesar los datos enviados de los sensores y ejecutando acciones de control posteriores.	Cerebro del sistema, ya que gestiona el funcionamiento previamente automatizado.
Módulo de memoria (tarjeta SD)	Almacenar los datos enviados por los sensores.	Disponer de la data almacenada durante todo el proceso para poder analizarla posteriormente.
Reloj de tiempo real (RTC)	Proporcionar la hora y fecha de cada registro.	Facilitar la trazabilidad y el análisis temporal del compostaje.
Adaptador RS232	Establecer comunicación entre el microcontrolador y la computadora.	Permitir la configuración, programación y transferencia de datos del sistema.
Módulo Wi-Fi / Bluetooth	Transmitir la información recopilada hacia plataformas en la nube y/o teléfonos móviles	Habilitar la supervisión remota y en tiempo real del proceso de compostaje.

Figura 17.

Producto final de la PCB en físico.



Por otro lado, los componentes electrónicos implicados en el sistema fotovoltaico fueron compuestos por un panel solar, batería y controlador de carga, con el fin de que la compostera se autosostente energéticamente. En la Figura 18, se muestra la relación de los componentes electrónicos.

Figura 18.

Componentes electrónicos con sistema de alimentación autónomo.



Por lo tanto, la arquitectura del hardware permitió obtener un prototipo confiable, que asegura la adquisición de datos precisos, la comunicación inalámbrica (Wi-Fi) y la operatividad continua del sistema de monitoreo IoT en la compostera inteligente.

B. Software

En cuanto a la arquitectura del software, los resultados obtenidos demostraron la correcta programación y automatización del monitoreo y control durante el proceso de compostaje, en concordancia con los parámetros técnicos establecidos.

- **Programación de las acciones en función a los parámetros**

Se programaron los parámetros operativos de referencia en el microcontrolador ESP32, definiendo rangos mínimos, ideales y máximos de temperatura, humedad y concentración de gases mencionados en el capítulo anterior. En base a estos valores, el sistema ejecuta acciones correctivas automáticas, tales como la activación del sistema de aireación y riego, cuando se detectan desviaciones de las condiciones del compostaje (Tabla 28).

Tabla 28.

Programación de los condicionantes para el monitoreo y control del compostaje.

Parámetro	Valor mínimo / condición	Valor ideal / normal	Valor máximo / crítico	Acción correctiva del sistema
Humedad relativa	40%	50%	60%	Si: $\leq 40\%$ → Regar por 15 segundos y mover paletas 5 min. Si: $> 60\%$ → Mover paletas 5 min.
Temperatura	25 °C	45 °C	60 °C	Si: $> 60\text{ °C}$ → Mover paletas 5 min.
CH₄ (Metano)	0 % LEL	–	$\geq 1\text{ % LEL}$	Si: 0% → No realizar acciones. Si: $> 1\%$ → Mover paletas 5 min.
H₂S (Sulfuro de hidrógeno)	0 ppm	–	$\geq 1\text{ ppm}$	Si: 0 ppm → No realizar acciones Si: $> 1\text{ ppm}$ → Mover paletas 5 min.
O₂ (Oxígeno)	5 %	10%	15%	Solo registrar valores (Indicador de oxígeno en el contenedor)
CO₂ (Dióxido de carbono)	–	–	–	Solo registrar valores (Indicador de metabolismo)
CO (Monóxido de carbono)	–	–	–	Solo registrar valores (Indicador de contaminantes externos)

Nota. Considerando que **ppm** es partes por millón y **% LEL** es Límite Inferior de Explosividad.

- **Interfaz (Plataforma Blynk Cloud)**

El software integro una interfaz gráfica desarrollada en la plataforma Blynk Cloud, la cual permitió la visualización y registro remoto de las variables monitoreadas en tiempo real como se puede apreciar en la Figura 19. Dicha interfaz fue configurada con indicadores y gráficos (Figura 20), proporcionando una experiencia de usuario sencilla y accesible desde cualquier dispositivo móvil o computadora con conexión a internet.

Figura 19.

Diagrama del sistema IoT para monitoreo de compostaje.

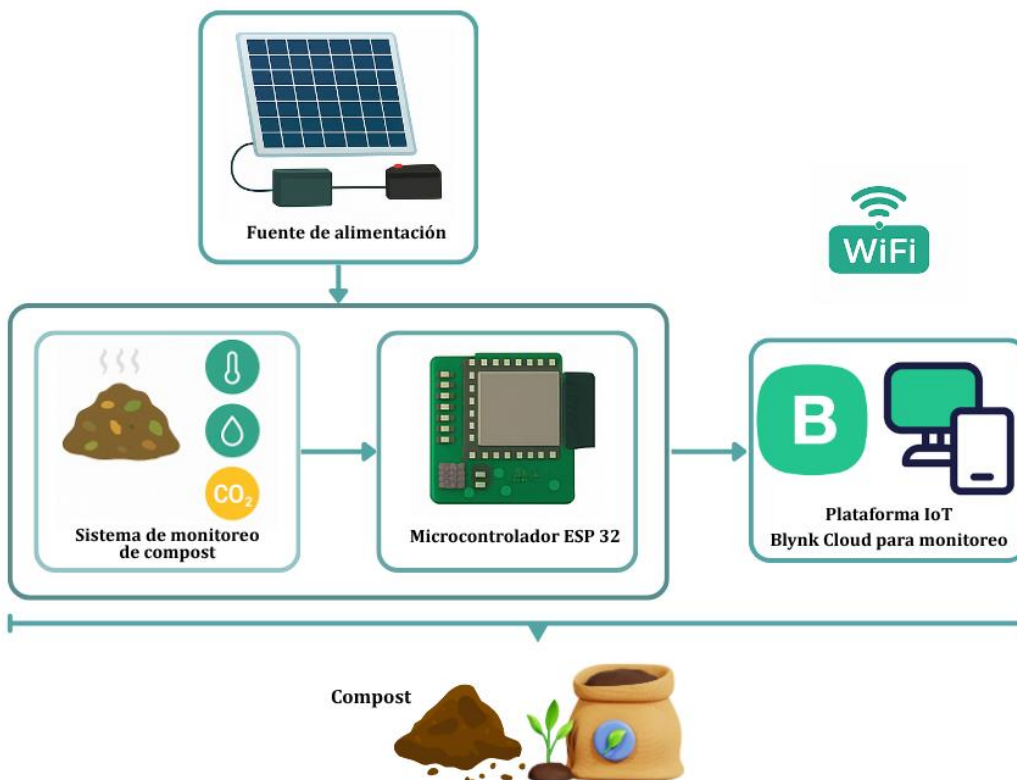
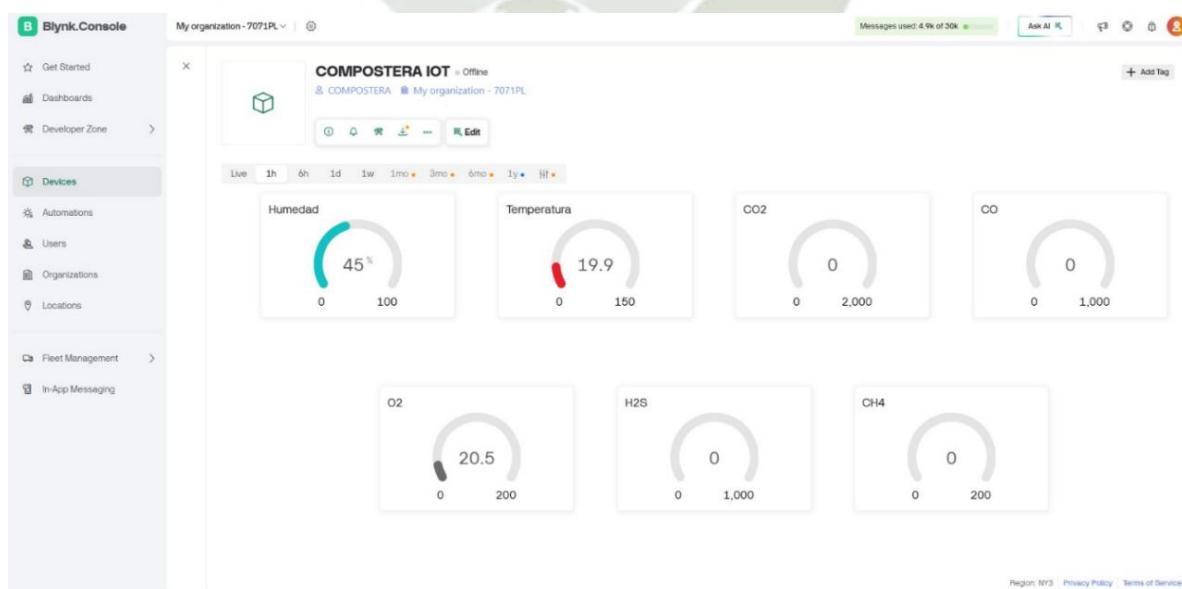


Figura 20.

Interfaz gráfica en Blynk Cloud.



4.2.2.2. Cálculos del diseño del contenedor

Los cálculos aplicados en el diseño físico del contenedor permitieron determinar las características volumétricas, la capacidad máxima de mezcla, y la demanda energética requerida para el funcionamiento autónomo del prototipo.

A. Volumen del contenedor

Dado que, el contenedor utilizado como prototipo, no tiene una forma cilíndrica uniforme, se consideró aproximar su volumen del contenedor a la forma más real, obteniendo un volumen real de 0.13 m^3 .

Tabla 29.

Volumen del contenedor.

Dimensiones	Datos	Volumen (cm^3)	Volumen (m^3)	
Cilindro recto (V_{cr})	r	23.5	86747.15	0.09
	h	50		
Cilindro truncado superior (V_c)	r	23.5	23872.16	0.02
	R	21.5		
	h	15		
Cilindro truncado inferior (V_c)	r	23.5	23872.16	0.02
	R	21.5		
	h	15		
		TOTAL	0.13	

B. Capacidad de ingreso de la mezcla

De acuerdo con la densidad teórica de la mezcla de residuos e insumos comúnmente empleada en procesos de compostaje, según lo establecido por Román, (2013), se determinó que el volumen total del contenedor ($0,13 \text{ m}^3$) puede contener hasta 65 kg de material cuando se encuentra completamente lleno. No obstante, considerando las condiciones operativas del sistema y con el fin de demostrar el funcionamiento del sistema y el proceso de degradación, se estableció una ocupación equivalente al 50 % de la capacidad total del cilindro, lo que corresponde a un ingreso aproximado de 32 kg de mezcla, valor adoptado como parámetro de referencia para el prototipo del presente estudio.

Tabla 30.

Capacidad de ingreso de mezcla.

Mezcla de ingreso		Contenedor	
Densidad teórica (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Capacidad al 100% (kg)	Capacidad al 50% (kg)
500	0.13	65	32.5

C. Consumo de energía del sistema

El consumo energético estimado del sistema se determinó a partir de las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes electrónicos y mecánicos empleados en la presente investigación, por lo que se obtuvo un requerimiento de energía total de 37.50 Wh/día.

Tabla 31.

Consumo de energía del sistema IoT.

Componentes	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Tiempo de uso (hora/día)	Energía requerida (Wh /día)	
Sensores	ZCE04B	5	0.1	0.5	14	7
	DHT22	4	0.0025	0.01	14	0.14
	MQ-135	5	0.15	0.75	14	10.5
PCB	ESP32- WROOM	5	0.2	0.66	14	9.24
	OLED 0.96"	3.3	0.03	0.099	14	1.386
	DS3231 RTC		0.002	0.0066	14	0.0924
	Módulo MicroSD		0.1	0.33	14	4.62
	Relé SRD	4	0.09	0.36	14	4.158
Actuadores	Mini bomba	5	0.18	0.9	0.007	0.00625
	Motor	12	0.6	7.2	0.05	0.36
				Total	37.50	

Los resultados demostraron que los elementos con mayor requerimiento de potencia corresponden a los actuadores (motor y la mini-bomba de agua); sin embargo, su consumo energético diario es reducido en comparación a los otros, esto se debió a que su funcionamiento es limitado y únicamente es activado cuando se superan los límites establecidos.

D. Energía generada por el Panel Solar

Considerando la Hora Solar Pico (HSP) de Arequipa, se realizó la estimación sobre la Energía generada y suministrada por el panel solar fotovoltaico hacia el sistema IoT. Obteniendo una generación energética mayor a 50 Wh durante la HSP. Lo cual benefició al sistema, pues cubrió la necesidad energética requerida en el sistema IoT.

Tabla 32.

Energía generada por el panel solar.

Componente	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	HSP - Arequipa (hora)	Energía generada (Wh)
Panel fotovoltaico	18.5	0.55	10.175	5	50.88

E. Capacidad de almacenamiento de la batería y Energía útil almacenada

La capacidad total de almacenamiento de la batería fue de 15.6 Wh; no obstante, considerando una profundidad de descarga del 80 %, se determinó que la energía útil disponible corresponde a 12.48 Wh, valor que representa la cantidad real de energía que puede suministrar el sistema sin comprometer la vida útil de la batería. Asimismo, se estimó el tiempo de autonomía de la batería sin conexión al panel solar, obteniéndose una duración aproximada de 8 horas, considerando un consumo energético diario del sistema de 37.50 Wh/día.

Tabla 33.

Capacidad de almacenamiento de la batería.

Componente	Voltaje (V)	Corriente (Ah)	Capacidad de almacenamiento (Wh)
Batería	12	1.3	15.6

Tabla 34.

Tiempo de duración de la batería.

Energía almacenada (Wh)	DoD	Energía útil almacenada en la batería (Wh)	Energía requerida (Wh/d)	Tiempo de duración (días)	Tiempo de duración (horas)
15.6	0.8	12.48	37.50	0.33	7.99

4.2.2.3. Diseño conceptual

El prototipo en modelo 2D definió las dimensiones y proporciones del contenedor (Figura 21 y Anexo 5), y el modelo tridimensional (3D) representó de forma clara la estructura general y la disposición de los componentes mecánicos y electrónicos, facilitando la comprensión del sistema, y sirviendo como referencia para el ensamblaje físico y la integración de los componentes (Figura 22). Este diseño conceptual constituye una base sólida para la construcción y validación del prototipo del contenedor inteligente.

Figura 21.

Plano 2D de la compostera.

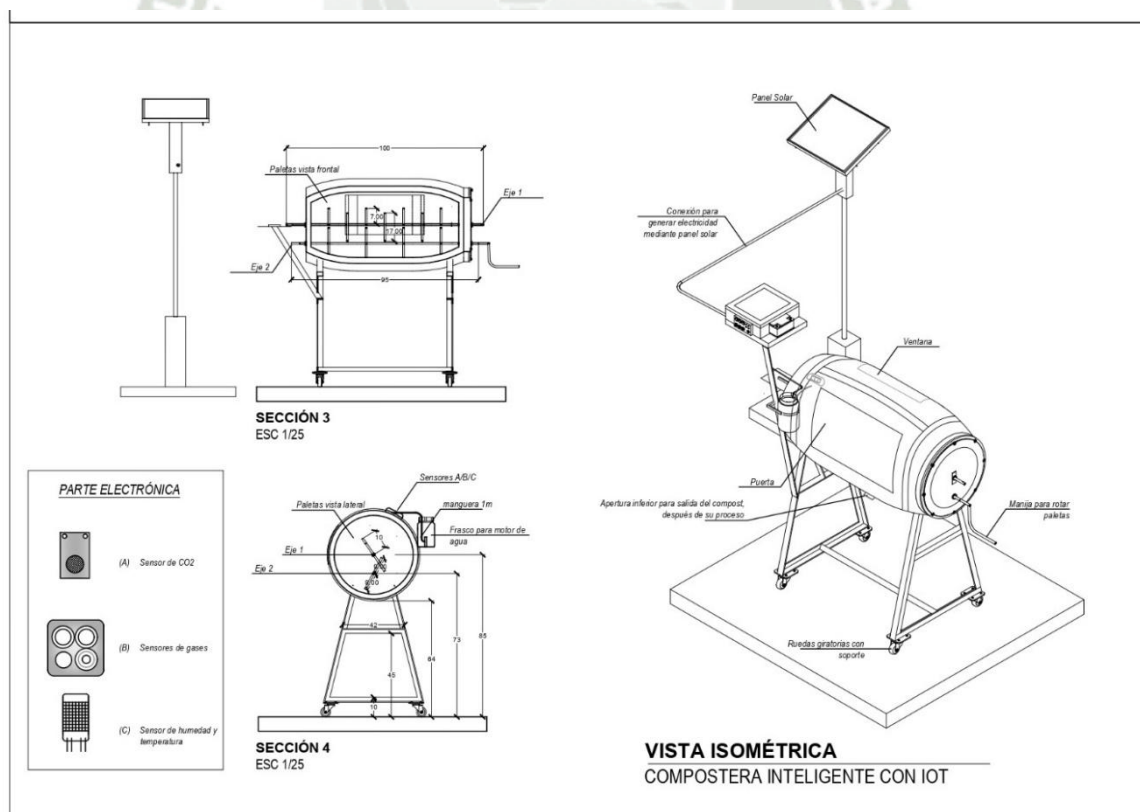
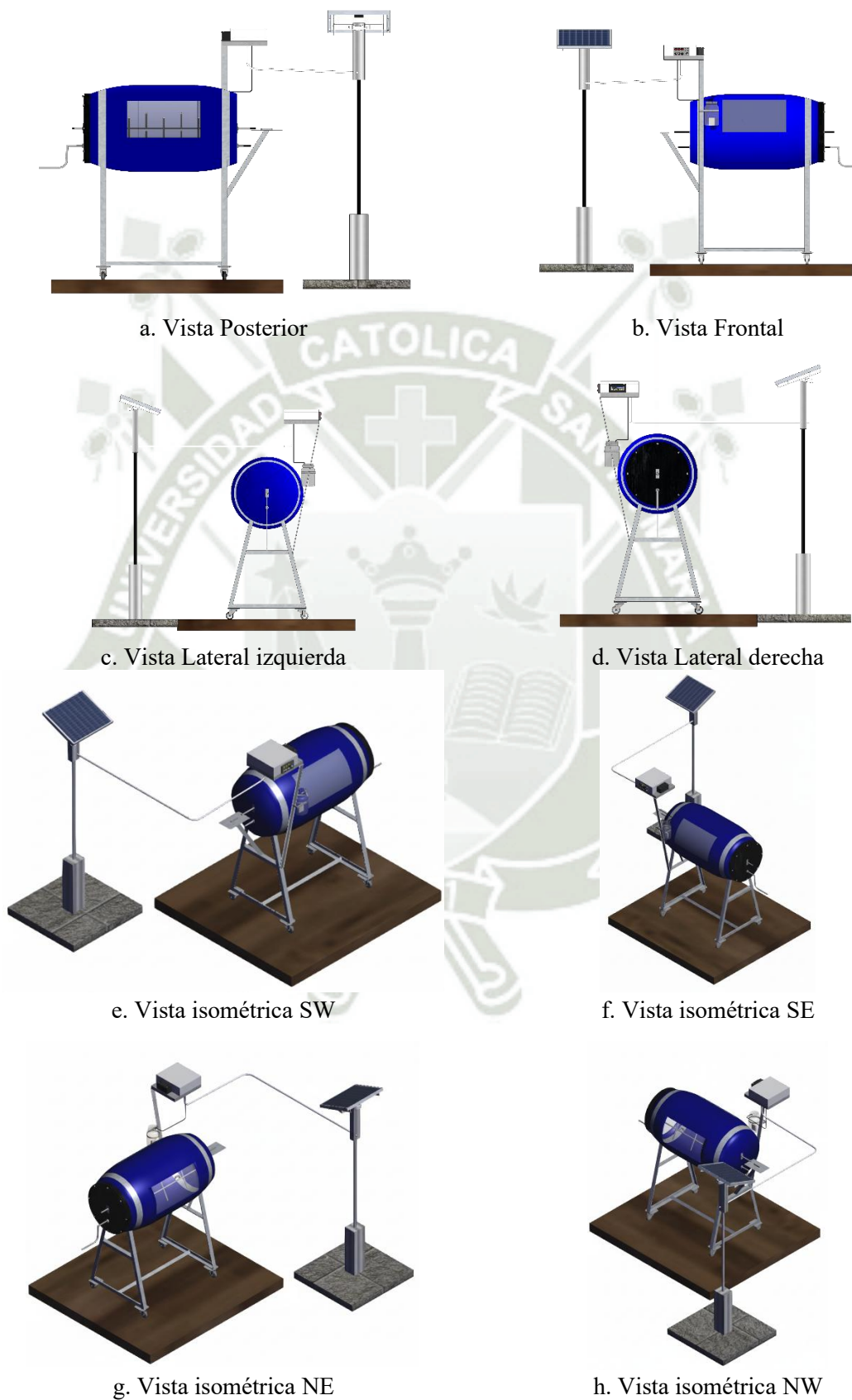


Figura 22.

Modelo Tridimensional 3D de la compostera.



4.2.2.4. Diseño físico y mecánico

El diseño estructural del contenedor se concretó en una compostera cilíndrica tipo tambor de plástico industrial montada sobre un soporte metálico móvil, en la Tabla 35, indica los resultados principales:

Tabla 35.

Diseño físico y mecánico de la compostera inteligente.

Componente	Material	Especificaciones	Descripción	Resultados
Cuerpo principal	Plástico industrial de alta densidad (HDPE)	Volumen de 0.13 m ³ , espesor 5 mm	Estructura de un tambor cilíndrico que contiene la mezcla de compost	Resistente al calor y la humedad; no presenta deformaciones durante el proceso
Estructura soporte	Platinas y ángulos de acero galvanizado 1.5" x 3 mm	Base de altura 64 cm, ancho de 69 cm.	Sostiene el contenedor y permite giro sobre su eje	Alta estabilidad estructural; soporte con factor de seguridad.
Eje de agitación	Acero inoxidable AISI 304	El primer eje con 100 cm de longitud y el segundo de 95 cm, diámetro 1 cm.	Transmite el giro desde el motor hacia las paletas	Giro continuo y sin vibraciones; acoplamiento correcto
Paletas	Acero inoxidable AISI 304	2 ejes, la primera con 7 unidades y la segunda 5 unidades soldadas.	Airear y mover el material interno	Mezcla homogénea observada; sin obstrucciones
Motor DC	12 V, 16 RPM, 100 mA	Potencia efectiva 1.2 W	Proporciona movimiento de agitación	Operación estable y eficiente con consumo reducido
Sistema de riego	Aspersor y bomba de baja presión	Caudal 28 ml/seg, 12 V	Mantener humedad entre 40–60%	Activación automática según sensores; buena distribución del agua
Panel solar	Monocrystalino, 10 W, 18.2 V, corriente 0.55 A	Con controlador y batería 12 V y corriente 1.3 AH	Fuente de energía principal	Carga diaria suficiente; operación continua en días nublados
Ventana de acrílico	Polimetilmetacrilato (PMMA) 2 mm	20 × 30 cm	Permite observación interna	Alta transparencia; sellado hermético con

silicona y pernos de
acero inoxidable

		4 unidades d		
Ruedas giratorias	Plástico reforzado con eje metálico	Con capacidad de soporte de 35 kg c/u	Movilidad y maniobrabilidad	Fácil desplazamiento sin esfuerzo excesivo

4.2.3. Sistema embebido

4.2.3.1. Sistema mecánico de la Compostera

Se logró desarrollar un sistema embebido completamente funcional dentro de la compostera inteligente. Se incorporaron dos ejes de acero inoxidable con paletas distribuidas uniformemente, lo que permitió una aireación homogénea y una mezcla constante de los residuos orgánicos.

- El primer eje se encuentra acoplado a un motor eléctrico conectado a la placa de circuito impreso (PCB), permitiendo que el microcontrolador controle de manera automática su rotación en función de los valores obtenidos por los sensores integrados en el sistema.
- El segundo eje, ubicado en la parte inferior del contenedor, fue diseñado con accionamiento manual para romper la compactación del material y facilitar el flujo de aire en las capas inferiores cuando sea necesario. Asimismo, se precisa que para garantizar un desplazamiento estable y sin fricción excesiva, en ambos ejes se instalaron sobre rodamientos metálicos para reducir el desgaste mecánico.

Además, el sistema de aspersión de agua integrado con una mini bomba de bajo caudal demostró una distribución uniforme de humedad en el interior del contenedor.

4.2.3.2. Sistema electrónico de la Compostera

Los sensores de temperatura, humedad y gases (CO_2 , O_2 , CH_4 y H_2S) se instalaron en posiciones estratégicas en la parte superior del contenedor, logrando lecturas de las condiciones internas del contenedor.

La PCB se ubicó dentro de una caja protectora, junto al contenedor, el cual centralizó las conexiones eléctricas de los componentes. En esta placa se integraron los módulos de control para el motor del eje, el sistema aspersión de agua, los sensores y a la batería para

su alimentación, mientras que el microcontrolador fue encargado de la adquisición y procesamiento de datos.

Adicionalmente, el sistema electrónico. Incluyendo el motor y el sistema de aspersión de agua, fueron conectados y programado en la plataforma Blynk Cloud, desde la cual se visualizan los datos en tiempo real a través de la red Wi-Fi.

Finalmente, todo el conjunto electrónico fue energizado por un sistema fotovoltaico autónomo, el cual fue integrado al exterior del contenedor. Este diseño permitió optimizar el monitoreo, control y eficiencia del proceso de compostaje mediante un sistema embebido de bajo consumo energético.

4.2.3.3. Pruebas y validación del sistema

Las pruebas realizadas en campo validaron la operatividad integral del sistema embebido. Se comprobó la transmisión continua de datos desde los sensores hacia la plataforma Blynk Cloud; el sistema de aspersión respondió correctamente a los valores críticos de humedad; el motor brindó la aireación de la mezcla; y el kit fotovoltaico demostró autonomía energética completa, manteniendo las funciones activas durante el día.

Figura 23.

Prototipo ensamblado con los componentes.





Los resultados demostraron la estabilidad del prototipo, asegurando que el sistema embebido cumple los requerimientos de monitoreo y control en tiempo real.

4.2.4. Monitoreo y control del proceso de compostaje

4.2.4.1. Segregación y acondicionamiento de los residuos orgánicos

Los residuos orgánicos domiciliarios fueron segregados, pesados y triturados antes de su ingreso al contenedor como se observa en la Figura 24 y se evidencia en el Anexo 8 (panel fotográfico), siguiendo la relación teórica C/N adecuada para optimizar el proceso. Este acondicionamiento previo permitió una descomposición más uniforme y controlada.

Figura 24.

Ingreso de los residuos orgánicos a la compostera.



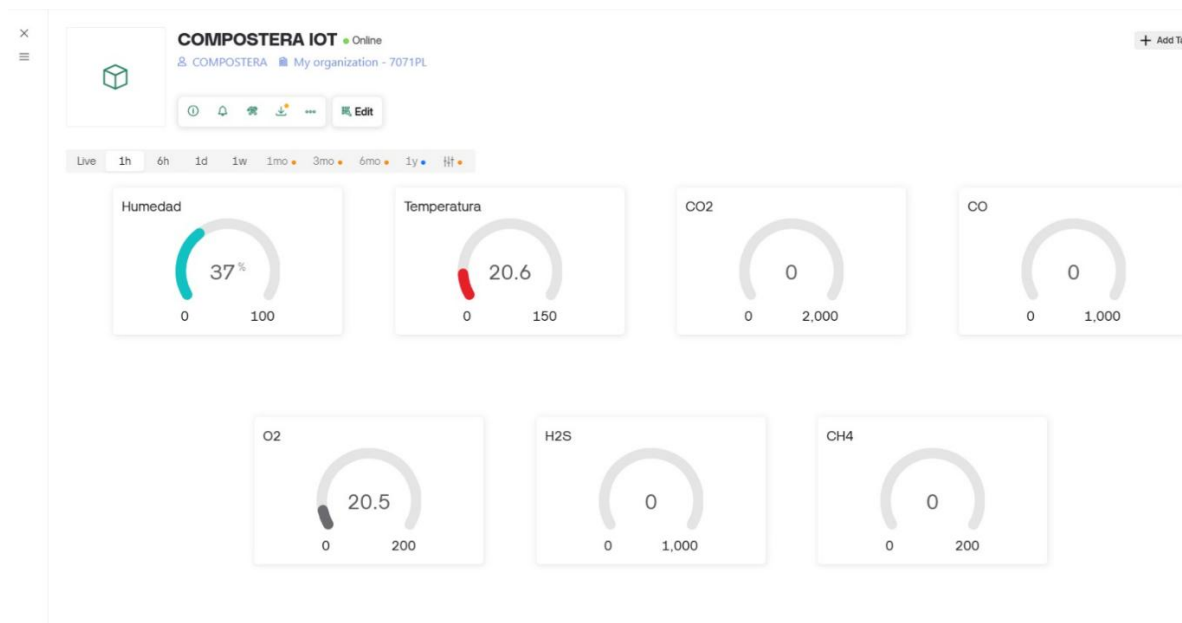
Es por tanto, que a partir de la Figura 24 y la Tabla 10 se estima la relación C/N teórica, la cual resultó de un valor de 32.49, dicho cálculo se observa en el Anexo 2.

4.2.4.2. Monitoreo y procesamiento del sistema IoT

Durante el funcionamiento del sistema, el monitoreo permitió registrar en tiempo real las variables internas del contenedor, enviando la información de los sensores hacia el microcontrolador ESP 32 y proyectándola en la pantalla LED de la PCB y en el Dashboard Blynk Console (Figura 25), esta última permitió observar el valor de cada parámetro en tiempo real de manera gráfica.

Figura 25.

Seguimiento en la plataforma Blynk Cloud.



Asimismo, es importante señalar que, para el presente estudio, se configuró el envío de datos de los sensores hacia el microcontrolador ESP32 con una frecuencia de cada 30 segundos. En consecuencia, la actualización de la información en el Dashboard del sistema se realizó 120 veces por hora, de las cuales solo el último registro de cada hora fue almacenado en la nube. De este modo, se obtuvo un total de 14 datos almacenados por día, optimizando el uso del espacio en la plataforma y evitando la sobrecarga de información.

Tabla 36.

Frecuencia de envío y almacenamiento de datos.

Tiempo de registro	Nº de datos enviados por los sensores	Nº de datos almacenados en la nube
Cada 30 segundo	1	-
Cada minuto	2	-
Cada hora	120	1
Cada día	1680	14

Durante la depuración de datos, al finalizar el proceso, se obtuvo un total de 630 datos almacenados (Anexo 6), de los cuales fueron promediados por día, obteniendo así 45 datos por cada parámetro y durante todo el proceso (Tabla 37).

Tabla 37.

Datos promedio del proceso automatizado.

Días	Temperatura °C	Humedad %	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	O ₂ %	H ₂ S (ppm)	CH ₄ (ppm)
0	25	35	820	0	15	0	0
1	27.8	40	940	0	14.8	0	0
2	30.4	44.8	1120	0	14.5	0	0
3	33.9	47.5	1540	0	14.2	0	0
4	36.5	49.2	1960	0	13.8	0	0
5	40	51	2330	0	12.6	0	0
6	46.1	53.6	2810	0	11.4	0	0
7	46.1	54.1	3120	0	10.8	0	0
8	45.8	55.3	3330	0	10.4	0	0
9	45.4	54.8	3450	0	10.1	0	0
10	49.1	55.7	3580	0	9.9	0	0
11	55.1	55.1	3720	0	9.7	0	0
12	57	56.4	3840	0	10	0	0
13	58.2	55.3	3720	0	10.3	0	0
14	57.5	54.2	3560	0	10.7	0	0
15	54.5	53.8	3380	0	11.2	0	0
16	56.3	54.6	3220	0	11.6	0	0
17	56.6	55	3070	0	12	0	0
18	57.3	55.8	2920	0	12.3	0	0
19	58.9	56.1	2760	0	12.6	0	0
20	58.6	55.4	2640	0	12.9	0	0
21	59.2	54.8	2490	0	13.2	0	0
22	55	54.3	2350	0	13.4	0	0
23	51.6	53.7	2230	0	13.6	0	0
24	52.4	54.1	2360	0	13.8	0	0
25	52.3	53.5	2250	0	14	0	0
26	52	52.4	2140	0	14.1	0	0
27	51.5	51.9	2060	0	14.2	0	0
28	49	54.3	1970	0	14.3	0	0
29	48.5	55	1870	0	14.4	0	0
30	48.1	53	1930	0	14.5	0	0
31	47.2	49.8	1860	0	14.6	0	0
32	46.5	49.7	1800	0	14.7	0	0
33	45.3	49.2	1730	0	14.8	0	0
34	44.1	48.4	1670	0	14.9	0	0
35	43.6	51.2	1620	0	15	0	0
36	44.2	54.8	1580	0	15	0	0
37	43.5	54	1520	0	15	0	0
38	42.7	52.7	1480	0	15	0	0
39	41.9	47.2	1440	0	15	0	0
40	40.8	46.9	1390	0	15	0	0

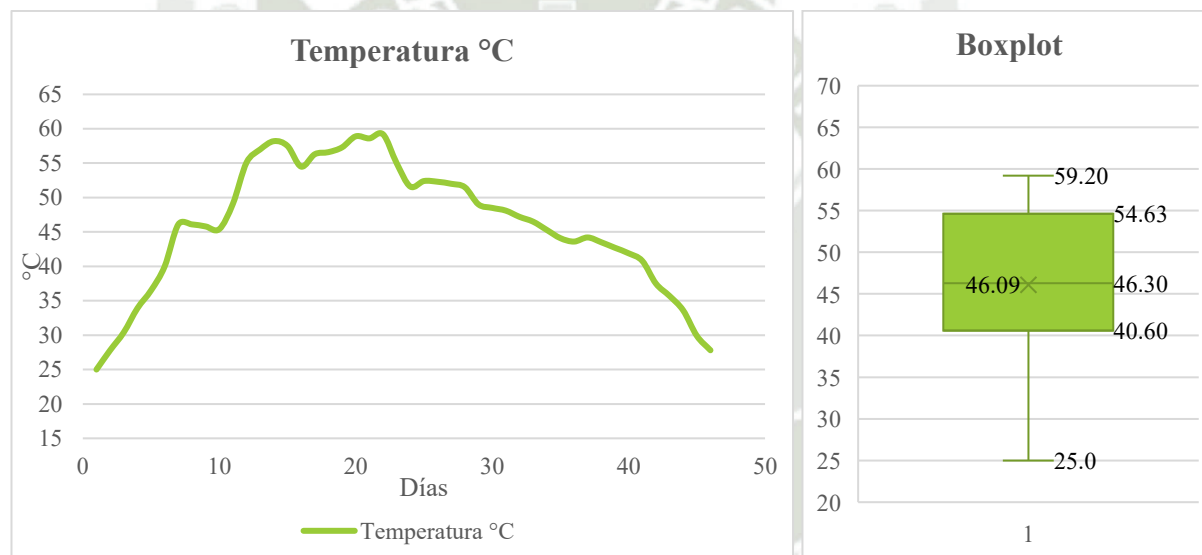
41	37.5	48.5	1310	0	15	0	0
42	35.7	48.1	1240	0	15	0	0
43	33.6	47.8	1150	0	15	0	0
44	29.9	47.3	1050	0	15	0	0
45	27.8	46.8	900	0	15	0	0

A. Temperatura (°C)

La Figura 26 muestra el aumento progresivo de la temperatura los primeros días. Posteriormente, se observa una disminución gradual, este comportamiento refleja las fases del proceso del compostaje y ase asemeja a la teoría.

Figura 26.

Temperatura durante el proceso inteligente.



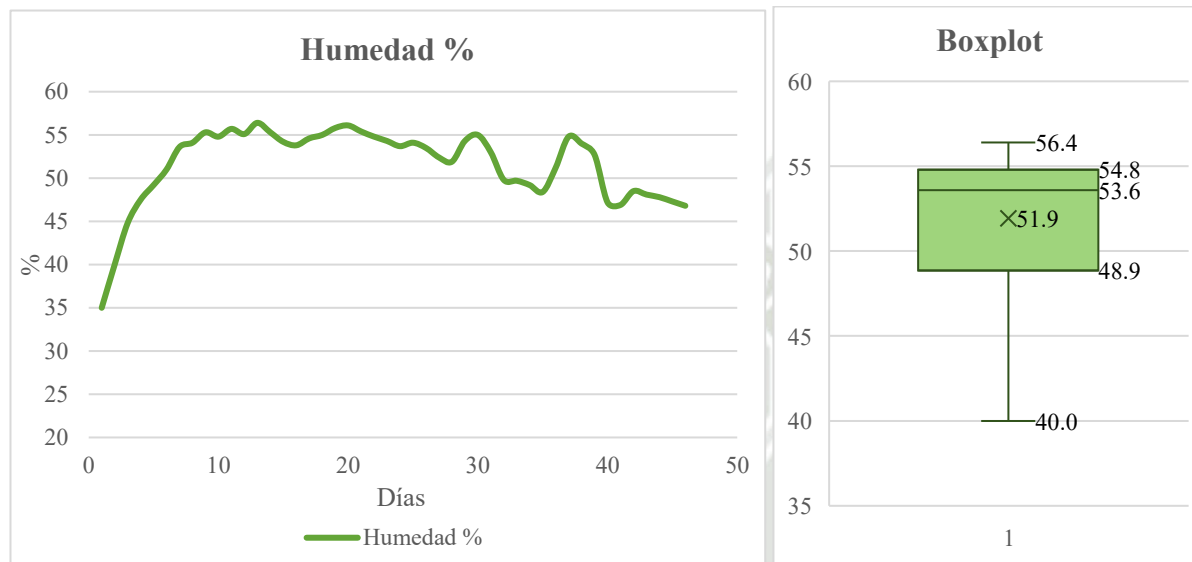
Con respecto al boxplot de temperatura, se observa un valor mínimo de 25 °C y un máximo de 59.2 °C, evidenciando un rango térmico amplio, lo que es característico del proceso de compostaje. No obstante, la media es menor que la mediana, lo que indica una asimetría negativa por la presencia de valores más bajos en las etapas iniciales y finales, donde la actividad microbiana es menor. Además, el tramo entre la temperatura mínima y el primer cuartil muestra mayor variabilidad, reflejando fluctuaciones de temperatura propias del inicio del proceso, mientras que los valores superiores presentan menor dispersión, asociada a una fase termofílica más estable.

B. Humedad (%)

En la Figura 27, se representa los valores de humedad obtenidos por los sensores, al igual que todos los parámetros, su gráfica representa un incremento durante los primeros días y posteriormente un descenso fluctuante.

Figura 27.

Humedad durante el proceso inteligente.



En la Figura 27, se observa que la humedad mínima alcanzó un 40% y la máxima un 56.4%, valores que se mantienen dentro del rango teórico recomendado para la actividad microbiana durante el proceso de compostaje. No obstante, se observa que la media es ligeramente menor que la mediana, lo que refleja una leve asimetría negativa, atribuida a la dispersión de valores hacia niveles más bajos de humedad.

Asimismo, se evidencia que entre el valor mínimo y el primer cuartil (40% - 48.9%) existe una mayor variabilidad, correspondiente a la etapa inicial del proceso, cuando el material aún no ha alcanzado un equilibrio hídrico. A partir del día 8, los valores se estabilizan y muestran pequeñas fluctuaciones en torno al rango medio, indicando un control adecuado de la humedad y reduciendo posteriormente hasta el día 45.

C. Gases

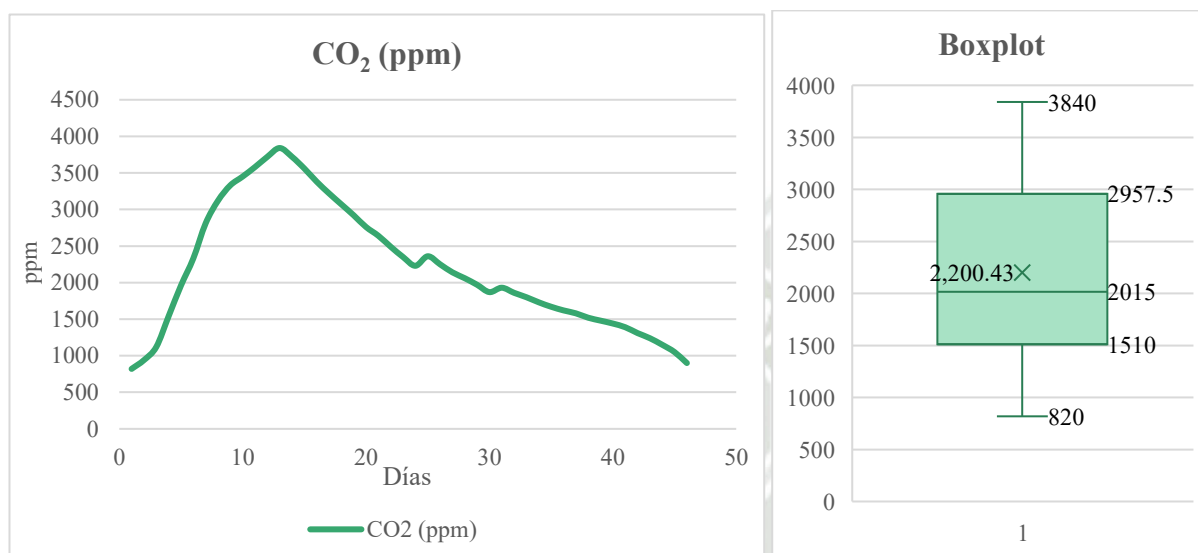
- **Dióxido de carbono - CO₂ (%)**

La Figura 28, la concentración de CO₂ muestra un aumento inicial del primer día desde 940 ppm hasta un pico máximo de aproximadamente 3840 ppm cerca del día 12, luego

presenta un descenso gradual hasta llegar alrededor de 900 ppm al final del periodo. Esto indica una alta actividad microbiana durante la fase inicial, generando CO₂ como producto de la respiración, seguida de una reducción paulatina conforme inicia la estabilización del compost.

Figura 28.

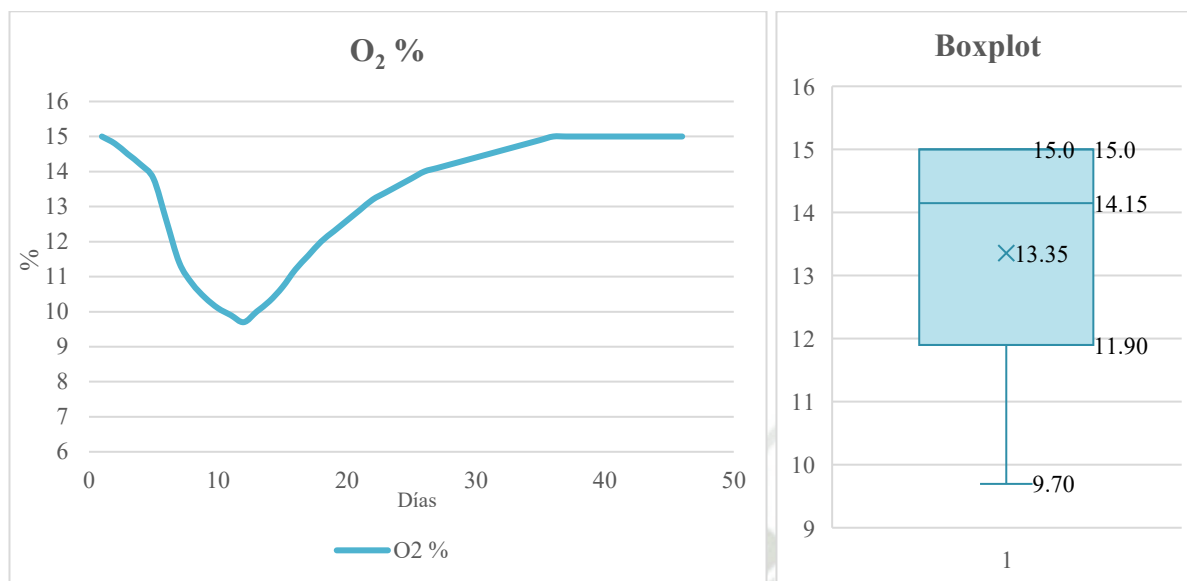
CO₂% durante el proceso inteligente.



En la Figura 28 de Boxplot muestra una concentración media de CO₂ de 2200 ppm, con un rango intercuartílico comprendido entre 1510 ppm y 2957.5 ppm, y valores extremos de 820 ppm (mínimo) y 3840 ppm (máximo). Se aprecia que la media (2015 ppm) se encuentra próxima al primer cuartil, lo que evidencia una ligera asimetría negativa en la distribución de los datos. Esto sugiere que la mayoría de las concentraciones de CO₂ se concentran en valores altos, mientras que algunos valores bajos, registrados principalmente al inicio y al final del proceso, reducen ligeramente el promedio general. Además, los bigotes presentan una leve asimetría, con mayor dispersión entre el tercer cuartil y el valor máximo, lo que refleja una variabilidad moderada en la fase de mayor actividad microbiana.

- **Oxígeno - O₂ (%)**

La Figura 29, muestra que la concentración de oxígeno inicia el primer día con un valor de 14.8%, disminuyendo durante los primeros días hasta alcanzar un mínimo cercano al 9.7%, la concentración se incrementa hasta estabilizarse alrededor del 15% hacia el día 45. Este comportamiento es característico del proceso de compostaje, donde el oxígeno es consumido por los microorganismos durante la fase activa de descomposición, y luego se recupera en la fase de enfriamiento, conforme disminuye la actividad microbiana.

Figura 29.*O₂% durante el proceso inteligente.*

La Figura 29 de Boxplot muestra una concentración media de oxígeno de 13.35%, con un rango intercuartílico entre 11.9% y 15.0%, y valores extremos de 9.7% (mínimo) y 15% (máximo). La media es ligeramente menor que la mediana, lo que indica una leve asimetría negativa en la distribución de los datos; esto sugiere que la mayoría de las concentraciones de oxígeno se agrupan en valores altos, mientras que algunas mediciones bajas (registradas en los primeros días del proceso, cuando la actividad microbiana es más intensa) reducen el promedio general. Asimismo, se observa que el valor máximo coincide con el cuartil superior (15%), lo cual evidencia una baja variabilidad en los valores más altos y una etapa de estabilidad en la concentración de oxígeno durante la fase de enfriamiento, reflejando un adecuado control del proceso aeróbico del compostaje.

- **Monóxido de carbono - CO (ppm), Sulfuro de hidrógeno - H₂S (ppm) y Metano CH₄ (%LEL)**

Durante el monitoreo automatizado, la concentración de CO (ppm) se mantuvo en cero, mientras que los valores de H₂S (ppm) y CH₄ (%LEL) fueron concentraciones muy bajas. Estos resultados confirman que el proceso de compostaje se desarrolló en condiciones aeróbicas adecuadas, sin evidencias de fermentación anaeróbica.

La ausencia de CO indica que no hubo reacciones de combustión incompleta. Asimismo, la no detección de H₂S refleja que no se generaron procesos de putrefacción ni olores desagradables, manteniéndose un equilibrio apropiado de humedad y oxígeno. Por

último, la inexistencia de CH_4 valida la eficiencia del sistema de aireación y el diseño del contenedor, asegurando la estabilidad aeróbica durante todo el proceso.

4.2.4.3. Tiempo de obtención de sustrato

Durante el proceso de compostaje, el sistema IoT permitió el monitoreo y control de variables más importantes del compostaje (temperatura y humedad), lo que facilitó mantener condiciones adecuadas para la descomposición de la materia orgánica. Pasado el día 45, se detuvo el proceso y la mezcla fue retirada del contenedor para su tamizado (Figura 30) y posterior almacenamiento por dos días. El compost obtenido presentó un color marrón oscuro, olor característico a tierra húmeda y una humedad adecuada, perceptible al tacto, que humedecía la palma de la mano sin llegar a aglomerarse ni mostrar goteo excesivo.

Figura 30.

Tamizado del compost final.



4.2.4.4. Análisis de la muestra final

Los resultados obtenidos posterior al análisis de la muestra de compost por el laboratorio ALAB resultaron positivos, pues todos los parámetros analizados se encontraron dentro los estándares de calidad de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), así como la Norma Técnica Peruana “NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES (Tabla 38).

Tabla 38.

Calidad de compost, según la FAO y NTP.201.208:2021.

Parámetro	Resultado obtenido	Norma FAO	NTP Peruana
Nitrógeno total (N)	1.65 %	0.3 – 1.5 %	0.8 – 1.5 %
Fósforo (P)	0.81 %	0.1 – 1.0 %	0.4 – 1.0 %
Potasio (K)	1.22 %	0.3 – 1.0 %	0.6 – 1.5 %
Relación C/N	28.6	15:1 – 35:1	-

Nota. La tabla presenta los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio y la comparación con las normas: Norma de la FAO (Román, et al., 2013) y la NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES (INACAL, 2021). Asimismo, se precisa que en el el Anexo 7 se adjunta el informe de ensayo del laboratorio.

La Tabla 38 muestra los resultados de los macronutrientes más importantes del compost y la relación C/N del mismo. Con respecto al contenido del P, se observa una concentración de 0.81%, lo que favorece el adecuado desarrollo radicular y la floración, así como el K que obtuvo una concentración de 1.22%, indicador de que el compost podría mejorar la resistencia de las plantas y la calidad de los frutos. En cuanto al N, su concentración supera ligeramente los estándares nacionales e internacionales por 0.15%, no obstante, dicha concentración no representa un riesgo, ya que el nitrógeno promueve el crecimiento y desarrollo foliar.

Finalmente, la relación C/N final, es de alrededor de 28.6, lo que difiere del cálculo teórico de 32.49, y aunque los valores sean diferentes ambos se encuentran dentro del rango óptimo recomendado por la literatura, evidenciando que el compost presenta condiciones adecuadas para su aplicación en suelos agrícolas.

4.2.4.5. Comparación de resultados

En la Tabla 39, se presenta una comparación entre los valores teóricos, los obtenidos en el compostaje realizado en la municipalidad y los del compostaje automatizado desarrollado en el presente estudio.

Tabla 39.

Comparación del proceso de compostaje teórico-práctico.

Temperatura (°C)			Humedad (%)			C/N	Tiempo (Días)
Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.		
Compostaje teórico							
20	45	65	40	50	60	25:1	90 - 150
Compostaje en la municipalidad							
26.7	34.4	44.3	43.3	53.7	63	23.7:1	120
Compostaje automatizado							
25	46.09	59.2	40	51.57	56	28.6:1	45

4.2.4.6. Análisis costo-beneficio

El análisis costo-beneficio permitió evaluar la viabilidad económica de la compostera inteligente proyectado a una mayor escala, ya que se consideraron la estimación de sus costos para el diseño, construcción y funcionamiento, así como los beneficios en el escenario donde el compost se venda a S/. 1.50 por cada kilogramo.

A. Costos para la obtención del compostaje inteligente.

Considerando que, el contenedor industrial es un cilindro con 1.60 m de diámetro, y un largo de 3 m, se halló un volumen total de 6.03 m³ y una superficie total de 17.67 m, por lo que los costos estimados en la Tabla 40, se hicieron en base a dichas dimensiones. Obteniendo un costo total estimado de S/. 23 280.00 en el diseño, construcción y funcionamiento del contenedor inteligente.

Tabla 40.

Costos asociados al contenedor inteligente (mayor escala).

Categoría	Descripción	Cantidad	Unid.	Costo unitario (S/.)	Veces al año	Costo (S/.)
Contenedor	Contenedor físico (lamina de fibra de vidrio reforzado 4mm)	18	m ²	160.00	1	2 880.00
	Componentes adicionales	1	-	1 000.00	1	1 000.00
Mecánica	Eje helicoidal de acero inoxidable	1	Und.	3 500.00	1	3 500.00

	Motor y accesorios	1	Und.	3 000.00	1	3 000.00
Electrónica	Placa	1	Und.	1 500.00	1	1 500.00
	Sensores	3	Und.	800.00	1	2 400.00
	Sistema Fotovoltaico	1	kid.	4 000.00	1	4 000.00
	Mecánico	1	Und.	1 000.00	1	1 000.00
Diseño	Electrónica	1	Und.	1 000.00	1	1 000.00
	Mano de obra y mantenimiento	1	Und.	1 000.00	1	1 000.00
	Mecánica	1	Und.	1 000.00	2	2 000.00
TOTAL						23 280.00

B. Beneficio de la obtención del compostaje inteligente.

El beneficio implicó el cálculo del ingreso total de residuos y la salida de compost del contenedor, estimando un ingreso de 2412.37 kg de mezcla al 80% de la capacidad del contenedor y una salida de compost de 1206.37 kg, considerando una eficiencia del 50% en el proceso.

Tabla 41.

Ingreso de mezcla y salida de compost.

Volumen del contenedor (m ³)	Densidad de la mezcla (kg/m ³)	Capacidad de almacenamiento de mezcla al 100% (kg)	Capacidad de almacenamiento de mezcla al 80% (kg)	Salida de compost (kg)
6.03	500	3015.93	2412.37	1206.37

Considerando el escenario en donde el kg de compost se comercialice a S/. 1.50 y la compostera genere 7 238.22 kg anualmente, se obtiene un ingreso de S/. 10 857.34 (Tabla 42).

Tabla 42.

Estimación de la venta de compost anualmente.

Tipo	Cantidad de compost (kg)	Venta a S/. 1.50 (S/.)	Nº de ventas/año	Cantidad de compost anual (kg/año)	Venta de compost anual (S/.)
Compostera proyectada	1 206.37	1 809.56	6	7 238.22	10 857.34

C. Valor Presente Neto (VPN).

La determinación del VPN consistió en el análisis de un periodo de 5 años y una tasa de descuento del 8%, correspondiente a la tasa de descuento establecida por el Ministerio de Economía y Finanzas. Siendo el beneficio los ingresos generados por la venta anual y los costos por la inversión (inicial de 23 280. 00 y mantenimiento anual de S/. 3 000.00).

Tabla 43.

Determinación del VPN.

Periodo de tiempo (t)	Beneficio en el tiempo (Bt)	Costo en el tiempo (Ct)	Tasa de descuento (r)	VPN
0	0	23 280.00		-23 280.00
1	10 857.34	3 000.00		7 275.31
2	10 857.34	3 000.00	0.08	6 736.40
3	10 857.34	3 000.00		6 237.41
4	10 857.34	3 000.00		5 775.38
5	10 857.34	3 000.00		5 347.57
			TOTAL	8 092.06

De la Tabla 43, se obtuvo un VPN de S/. 8 092.06, lo que significa que el sistema generaría beneficios superiores a sus costos durante los 5 años, esto demuestra su viabilidad económica y social. Además de ello, también demuestra beneficios ambientales, ya que emplea energía solar para auto sustentarse, obtiene compost en menor tiempo, y reduce los malos olores y problemas por vectores.

4.3. Discusión

En el marco del funcionamiento del sistema automatizado, el prototipo del contenedor inteligente demostró un desempeño adecuado durante el proceso experimental, ya que se logró medir los parámetros más importantes del compostaje, controlar la aireación y mantener los niveles de humedad en los rangos recomendados por la literatura, ello garantizó un proceso aeróbico y estable. De igual forma, durante todo el proceso se evidenció la ausencia del incremento de gases contaminantes externos e internos, y no se generaron olores ni lixiviados, lo cual es indicador de un control adecuado durante el proceso. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Diharja et al., (2025), quienes implementaron un sistema IoT para el monitoreo de temperatura, humedad y CH₄, y aunque los componentes empleados fueron distintos, el principio de funcionamiento del IoT fue similar, ya que integró un bot de Telegram que permitió gestionar y supervisar el proceso de forma remota. El compost obtenido en dicho estudio lo describen como de buena calidad, pues presentó características físicas semejantes a las de la presente investigación, tales como un color marrón oscuro, textura manejable y un olor terroso agradable.

Los parámetros de temperatura y humedad mostraron comportamientos similares a los reportados por Segovia, (2023) y Lai et al., (2023) en sus estudios sobre compostaje automatizado. En esta investigación, la temperatura alcanzó un mínimo de 25 °C durante la fase mesófila y un máximo de 59.2 °C en la fase termófila (día 21), con una temperatura promedio de 46.09 °C. Asimismo, la Figura 26, evidencia una tendencia similar a una curva de Gauss, coincidiendo con lo descrito por Nikoloudakis et al., (2018) en la distribución térmica de su compostera inteligente. En cuanto a la humedad, la Figura 27, muestra variaciones entre 40 % y 56 %, con un promedio cercano a 51.57 %, rango considerado óptimo para la actividad microbiana. Estos resultados demostraron que las condiciones del sistema se mantengan dentro de los límites recomendados para una rápida descomposición de los residuos, favoreciendo las condiciones para la reproducción y degradación de los microorganismos.

Al comparar los resultados con el proceso tradicional llevados a cabo en la Municipalidad de Yanahuara, se observó que las pilas alcanzaron temperaturas mínimas de 26 °C y máximas de 44 °C, inferiores a las obtenidas en el contenedor inteligente. Esto se debe a que el diseño cilíndrico y semi-cerrado de plástico industrial de la compostera permitió conservar mejor el calor, a diferencia del sistema en pilas, que al estar expuesto al

aire libre presenta mayores pérdidas de calor y humedad, ocasionando así menor eficiencia biológica.

La relación C/N obtenida en la compostera inteligente alcanzó una relación de 28.6 de manera práctica (en laboratorio) al finalizar el proceso, pero cuando se realizó el cálculo de manera teórica fue de 32.45 al inicio del proceso, esta diferencia se debe a que, durante el compostaje, parte del carbono se pierde como CO_2 y el nitrógeno se concentra, reduciendo naturalmente la relación C/N (Li et al., 2023). Además, al realizarse el cálculo inicial se emplean promedios referenciales de tablas de composición de residuos orgánicos, los cuales representan rangos generales y no las características reales de cada material. Por ello, es normal que el valor real sea menor al estimado teóricamente.

En comparación con los resultados anteriores, durante el compostaje en la Municipalidad de Yanahuara se obtuvo una relación C/N de 23.71, lo cual evidencia estar dentro de los rangos permitidos, evidenciando una madurez biológica completa del compost, en concordancia con los rangos recomendados por Caiza & Herrera, (2023) y Román et al., (2013), los cuales coinciden en que un buen compost debería encontrarse entre 15:1 y 35:1. La diferencia entre ambos valores se atribuye principalmente a los insumos utilizados, dado que el proceso municipal incorpora estiércol, material con alto contenido de nitrógeno, lo que tiende a disminuir la relación C/N del compost final, mientras que para la compostera inteligente únicamente se emplean residuos domiciliarios, los cuales tienen una relación C/N mayor.

El monitoreo del compostaje con IoT, en comparación con el método tradicional, permitió realizar un seguimiento continuo y en tiempo real a las condiciones fisicoquímicas del proceso, los cuales facilitaron conocer las condiciones actuales del proceso, identificar las fases del compostaje y conocer el grado de descomposición de la materia orgánica. En ese sentido, el seguimiento del H_2S y CH_4 resultaron ser clave para determinar si el compostaje se desarrolla bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas, ya que estos compuestos son indicadores directos de la actividad microbiana y por lo tanto de la degradación de la materia orgánica. Según Lamourou et al., (2023), un entorno sin presencia de oxígeno representa una mala señal para el compostaje domiciliario, ya que al entrar a un entorno anaerobio se generan gases contaminantes como el CH_4 y el H_2S , producto principalmente del exceso de humedad. En consecuencia, durante el monitoreo IoT se evidenció que el proceso se mantuvo en condiciones aeróbicas estables, registrándose bajas concentraciones

de H₂S y CH₄. Esta condición indicó una adecuada disponibilidad de oxígeno para la degradación microbiana, minimizando la formación de gases contaminantes y malos olores.

Por otro lado, los valores de O₂ y CO₂ mostraron una relación inversamente proporcional, atribuida al metabolismo de los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica. Ya que, a medida que los microorganismos consumen O₂ para oxidar los compuestos orgánicos, liberan CO₂ como producto de su respiración. Este comportamiento es característico de un compostaje aeróbico activo y eficiente, tal como lo señala Li et al. (2023), quienes destacan que la alternancia entre el consumo de O₂ y la generación de CO₂ refleja una actividad biológica controlada durante cualquier proceso biológico. Asimismo, el contenedor del prototipo demostró una adecuada capacidad de aislamiento, evitando la entrada de gases contaminantes externos, como el CO, cuyos valores se mantuvieron en niveles nulos durante todo el monitoreo.

En concordancia con lo anterior, Khandakar et al., (2025) resaltan la importancia del monitoreo de gases durante el proceso de compostaje no solo para evaluar la eficiencia del proceso, sino también para prevenir afectaciones en la calidad del aire y riesgos respiratorios en las personas. Los autores proponen la incorporación de sistemas IoT con algoritmos predictivos de aprendizaje automático, capaces de anticipar la madurez del compost y optimizar la gestión de emisiones. En ese sentido, los resultados del presente estudio evidencian el potencial del sistema IoT implementado para el seguimiento en tiempo real de los gases, alineándose con la tendencia actual hacia un compostaje inteligente, automatizado y ambientalmente seguro.

En lo que concierne al análisis de calidad del compost, los resultados de laboratorio mostraron un contenido de N de 1.65 %, P de 0.81 % y K de 1.22 %, resultados que al compararse con los criterios establecidos por la FAO (Román, et al., 2013) y la NTP 201.208:2021 – Fertilizantes (INACAL, 2021), se determinó que los resultados se encuentran dentro de los rangos de calidad permitidos. No obstante, el valor de N es 0.15 % mayor respecto a ambos estándares; sin embargo, según Román et al., (2013), este incremento no representa riesgo alguno si el compost es utilizado en plantas. Por tanto, el producto final se clasifica como un abono orgánico de buena calidad, apto para su aplicación en plantas ornamentales, huertos urbanos y cultivos similares.

En el análisis costo-beneficio se planteó un escenario teórico, similar al desarrollado por Aliaga et al. (2025), donde se evaluaron distintos escenarios de comercialización del

compost con precios variables. Bajo este enfoque, se proyectó una compostera inteligente de mayor tamaño, con un volumen de 6 m³, capaz de procesar aproximadamente 1.2 toneladas de residuos orgánicos por ciclo y generar una producción anual estimada de 7.2 toneladas de compost. Al comercializar el producto a S/. 1.50 por kilogramo, se obtendría un ingreso anual de S/. 10 857.34, lo que permitió calcular un VPN positivo de S/. 8 092.06, demostrando su viabilidad económica y sostenibilidad a largo plazo. Asimismo, se precisa que la implementación de un sistema de esta magnitud permitiría evitar la disposición inadecuada de más de 14 toneladas de residuos orgánicos al año, reduciendo la generación de metano (CH₄), gas con un potencial de calentamiento global 80 veces superior al dióxido de carbono (CO₂) (PNUMA, 2021).

Con respecto al diseño del prototipo desarrollado en la presente investigación, se precisa que, aunque difiera físicamente del contenedor propuesto por Nikoloudakis et al., (2018), coinciden en la incorporación del sistema IoT en un contenedor inteligente, capaz de registrar datos, almacenarlos, automatizar los actuadores cuando se superan los rangos establecidos y representar la información de manera visual. No obstante, mientras que la compostera de Nikoloudakis et al. (2018) logró reducir en un 30% el tiempo de compostaje respecto al método tradicional (obteniéndolo en 2 meses), el sistema desarrollado en esta investigación alcanzó una reducción cercana al 50% (obteniéndola en 45 días). Esta mejora se atribuye principalmente al tipo de material y dimensiones del contenedor, así como a la composición y proporción de la mezcla empleada. Por ello, dichos factores resultan fundamentales al momento de escalar el prototipo a una mayor capacidad operativa.

Del mismo modo, estudios como los de Abuthahir et al., (2024) consideran a la aireación y el tipo de residuo como los principales factores para acelerar el compostaje, desarrollando un sistema IoT similar al desarrollado en esta investigación, ya que emplearon sensores de temperatura, humedad, pH y O₂ para el seguimiento del compost, para ello desarrolló un prototipo en un contenedor de 20 L, y obtuvo compost en solo en 24 días, ello sin emplear algún tipo de microorganismos y únicamente controlando la aireación y el agua. La diferencia entre esta investigación, con la desarrollada en la presente tesis, se atribuye probablemente a la cantidad de residuos tratados y al volumen del contenedor.

Asimismo, es preciso mencionar que, cuando se realizó la revisión de la literatura se pudo observar que no parece haber una gran cantidad de proyectos de compostera inteligente con IoT a nivel regional o nacional, ya que la mayoría son iniciativas para acelerar el

compostaje mediante microorganismos o presentan únicamente prototipos mecánicos y electrónicos sin llegar a producir compost. Tal es el caso de Jeri, (2019), quien propone un diseño funcional desde el punto de vista mecánico–electrónico, pero sin realizar el proceso de compostaje ni obtener el compost, y de Carhuaricra & Soriano, (2025) cuyo diseño mecatrónico buscó reducir el tiempo de compostaje, aunque también sin llevar a cabo la producción del compost. En contraste, el prototipo desarrollado en la presente investigación constituye un aporte significativo, ya que no solo incorpora IoT al proceso de compostaje, sino que además produce compost en un tiempo reducido, validando su eficiencia mediante los valores obtenidos del N, P y K del sustrato. A nivel internacional, se identificaron prototipos implementados en países europeos y asiáticos principalmente, donde se evalúan sistemas automatizados de compostaje asistidos por sensores o tecnologías emergentes. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se enfocan en demostrar la viabilidad del prototipo o en monitorear variables operativas, pero sin realizar un análisis de la calidad del compost obtenido. Es por ello que, el presente trabajo sobre el compostaje automatizado con IoT también representa un avance frente a estas experiencias internacionales al completar el ciclo, obteniendo compost e incorporando la evaluación de sus macronutrientes esenciales, lo cual permite validar de manera integral la eficiencia del sistema propuesto.

En ese sentido, la ruta metodológica seguida en la presente investigación para el diseño y elaboración del prototipo puede ser empleada como base para su futura escalabilidad a mayor capacidad operativa, especialmente en programas municipales o institucionales de gestión de residuos orgánicos. Esto permitiría replicar el sistema automatizado en distintas escalas, optimizando el tiempo de compostaje y garantizando un control ambiental continuo mediante tecnologías IoT. Asimismo, el proyecto no solo demuestra ser técnica y económicamente viable, sino que también constituye una estrategia ambiental integral alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 y 13, al promover la valorización de residuos, el consumo responsable y la acción climática, consolidando así una alternativa innovadora para la transición hacia un modelo de economía circular y bajo en carbono.



CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

PRIMERO: El análisis de los parámetros obtenidos en el área de compostaje de la Municipalidad de Yanahuara permitió identificar las condiciones de temperatura promedio menores a los que indica la literatura, siendo la temperatura más alta menor a 43°C, esto debido a que el proceso se lleva a cabo en la intemperie y no cuenta con un control constante. En cuanto a la humedad, se observó un descenso progresivo desde los primeros días, atribuible a un exceso inicial de riego durante la conformación de las pilas (desde 63% a 43.3%) y a una posterior falta de suministro de agua en la frecuencia y volumen adecuados, lo que afectó la estabilidad del proceso y la actividad microbiana. Asimismo, se determinó que la municipalidad emplea mayor cantidad de insumos (tierra de chacra y estiércol) que residuos orgánicos, porcentaje mayor al 50% de la mezcla, lo que resulta en la limitación del manejo de residuos orgánicos.

SEGUNDO: Se concluye que el diseño de una compostera con forma cilíndrica y material plástico industrial de tipo semi-cerrado, permite una mejor conservación del calor durante la fase termófila, en comparación con el método tradicional en pilas. La estructura física fue diseñada para ser móvil y funcional, facilitando el acoplamiento de los componentes mecánicos y electrónicos optimizando el uso del espacio. Los cálculos estructurales y energéticos garantizaron un contenedor con características adecuadas de resistencia, estabilidad y eficiencia operativa (consumo energético del sistema de 37.5 W/día). Asimismo, los componentes electrónicos empleados resultaron económicamente accesibles y de fácil integración, destacando la PCB, que permitió la conexión efectiva de los sensores, y el microcontrolador ESP32, lo que demostró compatibilidad y facilidad de programación del sistema IoT.

TERCERO: La integración del sistema mecánico y de instrumentación electrónica, mediante el microcontrolador ESP32, sensores de CO₂, CH₄, O₂, H₂S, CO, Temperatura, humedad y actuadores como la minibomba y el motor conectado a una plataforma IoT, permitió monitorear y controlar los parámetros críticos del proceso. El sistema automatizado evidenció una respuesta autosuficiente física y energéticamente, las cuales permitieron mantener las condiciones aeróbicas durante el proceso de compostaje.

CUARTO: El sistema automatizado del contenedor inteligente permitió mantener los parámetros fisicoquímicos dentro de rangos recomendados por la literatura, lo que aseguró un proceso de compostaje eficiente y aeróbico. La interacción entre sensores, actuadores y la plataforma IoT garantizó el monitoreo y control de los parámetros, evitando la formación de olores, lixiviados o emisiones contaminantes. Como resultado, se obtuvo un compost en 45 días, con una relación C/N de 28.6 final y concentraciones de N(1.65%), P(0.81%) y K(1.22%), dentro de los estándares de calidad nacionales e internacionales, indicando un sustrato natural de buena calidad.



5.2. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se recomienda implementar el sistema en proyectos piloto municipales o comunitarios, con el fin de evaluar su aceptación social, costo-beneficio y potencial para reducir la disposición inadecuada de residuos orgánicos. Además, se deberá considerar las condiciones ambientales del lugar en donde se establecerá, ya que la temperatura y humedad ambiente influirán en el material del contenedor, así como en el proceso dentro de la compostera.

SEGUNDO: Se sugiere evaluar materiales con mejor aislamiento térmico y ventilación regulada, lo que podría mejorar la retención de calor sin comprometer la oxigenación. Además, implementar un sistema automático de volteo o mezclado de mayor capacidad controlado por el microcontrolador contribuiría a uniformar la temperatura y acelerar la descomposición. En relación con el sistema energético fuera de las horas de radiación solar, se recomienda dimensionar la batería considerando una autonomía mínima de 24 a 48 horas, de manera que el sistema pueda operar de forma continua durante periodos de nubosidad o ausencia prolongada de sol. Para ello, es aconsejable utilizar baterías LiFePO_4 , ya que su mayor eficiencia de carga, menor tasa de autodescarga y profundidad de descarga de hasta el 80 % permiten un aprovechamiento más estable de la energía almacenada.

TERCERO: Se recomienda que, para futuras investigaciones, se realicen estudios a mayor escala en instituciones públicas o privadas, considerando diferentes tipos de mezcla y evaluando el desempeño de los componentes del sistema IoT (sensores, microcontroladores y actuadores). Del mismo modo, se sugiere complementar el sistema con técnicas de Machine Learning, que permitan procesar grandes volúmenes de datos y predecir variables clave del compostaje, como la evolución de la temperatura, la humedad y la madurez del compost. Esta integración contribuiría a optimizar el control del proceso y fortalecer la toma de decisiones en tiempo real.

CUARTO: Para mejorar el rendimiento del proceso de compostaje, se recomienda reducir el tamaño de los residuos menos a 4 cm, ello ayudará a la rápida degradación de los mismos. Asimismo, se podrían agregar enzimas u otro tipo de catalizador, con el fin de mejorar la calidad y acelerar el proceso.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abuthahir Riazulhameed, A. A. M., Ranganathan, C. S., Pandey, P., B, S., Sasikala, K., & Murugan, S. (2024). *Smart composting solutions for organic waste management and soil enrichment in agriculture with IoT and gradient boosting*. In *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Expert Systems (ICSES)* (pp. 339–345). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSES63445.2024.10763259>
- Ajwani-Ramchandani, R., & Bhattacharya, S. (2022). Moving towards a circular economy model through I4.0 to accomplish the SDGs. *Cleaner and Responsible Consumption*, 7, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2022.100084>
- Aliaga Lordemann, J., Roca, L., & Feliciano Carvajal, N. (2025). *Análisis costo-efectividad en el Altiplano Sur de Bolivia: Caso del compost para la quinua* (Development Research Working Paper No. 02/2025). Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo (INESAD). <https://www.econstor.eu/handle/10419/311736>
- Ansys | Engineering Simulation Software. (2023). Limitless Possibilities. Recuperado 17 de octubre de 2023, de <https://www.ansys.com/>
- Babu, R., Veramendi, P. M. P., & Rene, E. R. (2021). Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste. *Case Studies In Chemical And Environmental Engineering*, 3, 100098. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100098>
- Balaganesh, P., Vasudevan, M., Rameswari, R., & Natarajan, N. (2021). Recent Trends in IOT-Enabled Composter for Organic Wastes. En *Lecture notes in civil engineering* (pp. 445-457). https://doi.org/10.1007/978-981-16-5543-2_36
- Banco Mundial. (2018). Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. *World Bank; Banco Mundial*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Bejarano Meza, M. E. (2018). Investigación experimental del equilibrio gaseoso e hídrico del Botadero de Quebrada Hoda—Yura—Arequipa 2016. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6333>

- Berrospi, L. K. (2020). Técnicas de aprovechamiento de residuos orgánicos como alternativa de uso sostenible. Repositorio Institucional – UCS. <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1540>
- Bhorkar, M., Samarth, A., Lanjewar, A., Narkhede, H., Agashe, J., & Nirwan, N. (2023). Development of modified compost unit for domestic biodegradable waste. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.11.024>
- Bilal, M. (2025). Environmental and Health Impacts of Solid Waste Management Amidst Climate Change. *Knowledge-Based Engineering And Sciences*, 6(1), 1-19. <https://doi.org/10.51526/kbes.2025.6.1.1-19>
- Bohórquez Santana, W. (2019). El proceso de compostaje (Nº1). Bogotá: Universidad de la Salle. Obtenido de: <https://n9.cl/n83y2>
- Caiza, W. P., & Herrera, C. A. (2023). Desarrollo de un dispositivo IoT en cloud para la elaboración de compostaje en invernaderos caseros. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24238>
- Capili, B., & Anastasi, J. K. (2024). An Introduction to Types of Quasi-Experimental Designs. *AJN American Journal Of Nursing*, 124(11), 50-52. <https://doi.org/10.1097/01.naj.0001081740.74815.20>
- Cárdenas D., Roper E., Puerto K., Sanchez K., Castro S., Ramírez J. (2020). Vulnerabilidad en la seguridad del internet de las cosas. *88 Mundo FESC*, 10(19), 162–179. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/download/542/572>
- Carhuaricra, J., & Soriano, R. (2025). *Diseño de un sistema mecatrónico para la gestión de residuos orgánicos en el ámbito doméstico en Huancayo, 2025* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/18492>
- CEPIS (2002). Manual de Compostaje para Municipios. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-compostaje-municipios>
- CEUPE. (2024). ¿Qué es la gasificación? Ceupe. European Business School. <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-gasificacion.html>

- Cheruvu, S., Kumar, A., Smith, N., & Wheeler, D. M. (2019). Connectivity Technologies for IoT. En *Apress eBooks* (pp. 347-411). https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2896-8_5
- Correal, M. & Rihn, A. (2022). Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas. *Banco Interbancario de Desarrollo*. <https://publications.iadb.org/es/hacia-la-valorizacion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe-conceptos-basicos-analisis>
- Decreto Legislativo N° 1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/06/ds_014-2017-minam_-RRSS.pdf
- Devendra, R., Prajwala, C., Hitesh, N., Varshitha, E., Ramakrishnaiah, C., & Manjunath, P. (2023). Quality control and assessment of compost obtained from open and In-Vessel composting methods. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.350>
- Diharja, S. P., Arimbawa, I. W. A., & Zubaidi, A. (2025). Monitoring System Design Based On Internet Of Things (IoT) For The Process Of Compost From Household Waste. *Jurnal Teknologi Informasi Komputer Dan Aplikasinya (JTika)*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.29303/jtika.v7i1.388>
- Doke, A., & Awate, A. (2022). Smart Sensors and their Applications in IoT. *International Journal For Research In Applied Science And Engineering Technology*, 10(3), 2370-2374. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41138>
- Dubey, A., & Yadav, S. K. (2024). Basics of Internet of Things. *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 08(10), 1-6. <https://doi.org/10.55041/ijrsrem37970>
- Dubey, S., Singh, P., Yadav, P., & Singh, K. K. (2020). Household Waste Management System Using IoT and Machine Learning. *International Conference on Computational Intelligence and Data Science*, 167, 1950-1959. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.222>

- Electromania Perú. (2025). Sensor de calidad de aire MQ135. https://www.electromania.pe/producto/___trashed/
- Elmroth, E., Leitner, P., Schulte, S., & Venugopal, S. (2017). Connecting Fog and Cloud Computing. *IEEE Cloud Computing*, 4(2), 22-25. <https://doi.org/10.1109/MCC.2017.29>
- Estrada-Ortiz, E., Gamboa-Salas, T., Szternberg, D., & Warrin-Browxn, A. (2019). BIOCUM, diseño de una solución eco amigable e inteligente para el manejo de residuos orgánicos en el hogar. *Revista IDI+*, 2(2), 22-31. <https://doi.org/10.18845/ridip.v2i2.4914>
- Filho, R. H., De Sousa, D. C. B., De Brito, W. A., De Sousa Chaves, J. L. M., Sá, E. L., & De Alencar Ribeiro, V. P. (2023). Increasing Data Availability for Solid Waste Collection Using an IoT Platform based on LoRaWAN and Blockchain. *Procedia Computer Science*, 220, 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.018>
- Finore, I., Feola, A., Russo, L., Cattaneo, A., Di Donato, P., Nicolaus, B., Poli, A., & Romano, I. (2023). Thermophilic bacteria and their thermozymes in composting processes: a review. *Chemical And Biological Technologies In Agriculture*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00381-z>
- García Martínez, A. (2021). Diseño e implementación de un sistema IoT mediante la plataforma ESP32 para la automatización del proceso de compostaje de residuos orgánicos domésticos. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), ix. <https://riunet.upv.es/handle/10251/174747>
- Garrido-Acosta, L. R., Florida-Rofner, N., Cipriano, J. N., & Rengifo-Rojas, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Producción + Limpia*, 18(1), 118-137. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a8>
- Glushakova, A. M, & Kachalkin, A. V. (2023). Yeast community succession in cow dung composting process. *Fungal Biology*, 127(6), 1075-1083. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2023.06.001>
- Guerrero, H., Fabian, C. & Acosta, P., (2020). Medio Ambiente y Sostenibilidad con la Mira en los ODS. *Ediciones Usta Universidad Santo Tomás 2020. ISBN 978-958-5471-64-1*. <https://www.researchgate.net/publication/349251212>

- Hackster.io (2023). Smart Compost Bin Monitoring System -Based on 4G IoT and. Recuperado de <https://www.hackster.io/DFRobotOfficial/smart-compost-bin-monitoring-system-based-on-4g-iot-and-206989>
- Hernández-Nazario, L., Benítez-Fonseca, M., & Bermúdez-Torres, J. M. (2018). Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 38(2), 369-379. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq14218.pdf>
- Homepage. (2023). LoRa Alliance®. Recuperado 17 de octubre de 2023, de <https://loralliance.org/>
- Ihsanullah, I., Alam, G., Jamal, A., & Shaik, F. (2022). Recent advances in applications of artificial intelligence in solid waste management: A review. *Chemosphere*, 309, 136631. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136631>
- INACAL (2021). Normas Técnicas Peruanas. <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Ishak, A. H., Hajjaj, S. S. H., Gsangaya, K. R., Sultan, M. T. H., Mail, M. F., & Hua, L. S. (2023). Autonomous fertilizer mixer through the Internet of Things (IoT). *Materials Today: Proceedings*, 81, 295-301. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.194>
- Jadhav, A., Ranpise, P. y Jadhav, O. (2024). Revisión de plataformas de hardware para el diseño de sistemas de Internet de las cosas (IoT). *Revista internacional de investigación multidisciplinaria*. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i02.18928>
- Jerí Silva, E. (2021). Diseño de un prototipo de máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos de la empresa Inversiones Dramar S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma]. URP–Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3957>
- Jiang, Y., Li, X., Yao, J., Wan, X., Zhang, J., & Dai, Y. (2022). Design and performance simulation of a distributed aerobic composting system assisted by solar PV/T heat pump. *Renewable Energy*, 196, 547-559. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.147>

- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. En *Washington, DC: World Bank eBooks*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Khandakar, A., Ashraf, A., Ayari, M. A., Esmaceli, A., Aljarrah, M., Michael, P., Nahiduzzaman, M., Kibria, H. B., Gerokosta, V. M., Shehbaz, A. A., Al-Mansoori, M. A. R. A., & Khattab, F. (2025). *Compost maturity prediction and gas emissions monitoring: A sensor-based and interpretable machine learning approach. Computers and Electrical Engineering, 123*(Part B), 110115. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2025.110115>
- Laghari, A., Wu, K., Laghari, R., Ali, M. & Khan, A. (2021). Una revisión y estado del arte de Internet de las cosas (IoT). *Archivos de métodos computacionales en ingeniería, 29, 1395-1413*. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09622-6> .
- Lai, J. C., Then, Y. L., Hwang, S. S., & Lee, C. S. (2023). Optimal aeration management strategy for a small-scale food waste composting. *Carbon Resources Conversion, 7*(1), 100190. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.06.002>.
- Lamourou, H., Karbout, N., Zriba, Z., & Zoghalmi, I. R. (2023). Stability and maturity indexes of organic fraction compost. *Emirates Journal Of Food And Agriculture*. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i2.3012>
- Ley y reglamento de residuos sólidos. (s. f.). Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos. <https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/nueva-ley-de-residuos-solidos/>
- Lhaj, M. O., Moussadek, R., Mouhir, L., Sanad, H., Manhou, K., Halima, O. I., Yachou, H., Zouahri, A., & Alaoui, M. M. (2025). Application of Compost as an Organic Amendment for Enhancing Soil Quality and Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Growth: *Agronomic and Ecotoxicological Evaluation. Agronomy, 15*(5), 1045. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051045>
- Lhaj, M. O., Moussadek, R., Zouahri, A., Sanad, H., Saafadi, L., Alaoui, M. M., & Mouhir, L. (2024). Sustainable Agriculture Through Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review of Composting's Impact on Soil Health in Moroccan Agricultural Ecosystems. *Agriculture, 14*(12), 2356. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122356>

- Li, Q., Koyama, M., & Nakasaki, K. (2023). Effect of storage time on organic matter decomposition during composting by inoculating enriched microorganisms. *Environmental Technology & Innovation*, 29, 102984. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102984>
- Li, X., Wang, P., Chu, S., Xu, Y., Su, Y., Wu, D., & Xie, B. (2023). Measures for controlling gaseous emissions during composting: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3587. <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/4/3587>
- Liao, H., Liu, C., Ai, C., Gao, T., Yang, Q., Yu, Z., Gao, S., Zhou, S., & Friman, V. (2023). Mesophilic and thermophilic viruses are associated with nutrient cycling during hyperthermophilic composting. *The ISME Journal*, 17(6), 916-930. <https://doi.org/10.1038/s41396-023-01404-1>
- Ludovica Maria Oliveri, Sergio Arfò, Agata Matarazzo, Diego D'Urso, Ferdinando Chiacchio. (2023). Improving the composting process of a treatment facility via an Industry 4.0 monitoring and control solution: Performance and economic feasibility assessment. *Journal of Environmental Management*, (345), <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118776>
- Mantuano Holguín, M. N. (2025). *Implementación de un banco de panel solar como energía alternativa para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de electrónica y robótica de la carrera de Tecnología en Electricidad y Electrónica de la Universidad Estatal del Sur de Manabí* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio Digital UNESUM. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/7326>
- Marchan-Solier, C. E., Zorrilla-Crespo, V. A., Cardenas-Quispe, M. A., & Pacheco, A. (2021). Contaminación por Residuos Sólidos Urbanos: Caso Comunidad de Occochaca, Huanta, Perú, 2021. *Scientific Research Journal CIDI*, 1(1), 1-14. <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.39>
- Márkus, A., Biro, M., Kecskeméti, G. y Kertész, A. (2021). Modelado del comportamiento de actuadores en simulación IoT-Fog-Cloud. *PeerJ Ciencias de la Computación*, 7. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.651>

- Maye, D. (2019). 'Smart food city': Conceptual relations between smart city planning, urban food systems and innovation theory. *City Food Governance*, 16, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2017.12.001>
- Melgarejo Quijandria, M. M. Ángel, Garay Peña, D. L. E., Anglas La Torre, M. F. C., & Wu Matta, M. J. (2021). Plan de valorización de residuos inorgánicos en una municipalidad de Lima-Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 12603-12623. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1272
- Mellado B., & Gabriel G. (2023). Desarrollo de una Aplicación para el cálculo de la Relación Carbono-Nitrógeno de una masa compostable (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias). Obtenido de: https://tesisfcp.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/18984/busajm-mellado-gonzalo-tesis.pdf
- Mena Roa, M. (2022). Infografía: Un mundo de residuos. Statista Daily Data; Statista. <https://es.statista.com/grafico/27140/desechos-solidos-municipales-generados-per-capita-al-ano/>
- MINAM (2021). Indicadores de la Generación de Residuos Sólidos. Perú: MINAM, 2021. Disponible en: <https://acortar.link/Pzbjw0>
- MINAM, (2019). Aprueban la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales, mediante Resolución Ministerial N°457-2018-MINAM.
- MINAM, (2023,b). Esto debes saber sobre los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos aprovechables. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/763484-esto-debes-saber-sobre-los-residuos-solidos-organicos-e-inorganicos-aprovechables>
- Mironov, V., Zhukov, V., Efremova, K. and Brinton, W. (2024). Enhancing aerobic composting of food waste by adding hydrolytically active microorganisms. *Front. Microbiol.* 15:1487165. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1487165>
- MMA, (2023). Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos - ENERO, Ministerio del Medio Ambiente de Chile. <https://economiecircular.mma.gob.cl/residuos-organicos/>
- Mukhopadhyay, S., Tyagi, S., Suryadevara, N., Piuri, V., Scotti, F. y Zeadally, S. (2021). Sensores basados en inteligencia artificial para aplicaciones de IoT de próxima

- generación: una revisión. *IEEE Sensors Journal*, 21, 24920-24932.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3055618>.
- Munir, M. T., Li, B., & Naqvi, M. (2023). Revolutionizing municipal solid waste management (MSWM) with machine learning as a clean resource: Opportunities, challenges and solutions. *Fuel*, 348, 128548.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128548>
- Murata, S., Matsumoto, N. y Yoshida, N. (2022). Redes de actuadores de IoT basadas en difusión dirigida inversa. *Journal of Computations & Modelling*.
<https://doi.org/10.47260/jcomod/1232>.
- Naylamp Mechatronics (2025). Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302). <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- Nikoloudakis, Y., Panagiotakis, S., Manios, T., Markakis, E., & Pallis, E. (2018). Composting as a Service: A Real-World IoT Implementation. *Future Internet*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/fi10110107>.
- Ning Hou, Luming Wen, Huiming Cao, Keran Liu, Xuejiao An, Dapeng Li, Hailan Wang, Xiaopeng Du, Chunyan Li, (2017). Role of psychrotrophic bacteria in organic domestic waste composting in cold regions of China. *Bioresource Technology*, (236), 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.166>.
- Organic Gardening Magazine, (2024). How to calculate the carbon-to-nitrogen ratio of your compost mix. *UC Agriculture and Natural Resources. The Garden Academy*.
<https://www.thegardenacademy.com/soils-fertility/the-cn-ratio/>.
- Pachón, S. A. P., & Sanabria, L. A. H. (2019). Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje. *Avances Investigación En Ingeniería*, 16(2), 52-63. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5439>
- PIGARS (2017). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa 2017 – 2028.
<https://muniarequipa.gob.pe/descargas/gestionmanejoresiduos/PIGARS%202017-2028/PIGARS%20final%202022%20de%20Diciembre.pdf>

- PNUMA (2021). *Las emisiones de metano están acelerando el cambio climático. ¿Cómo podemos reducirlas?*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/las-emisiones-de-metano-estan-acelerando-el-cambio-climatico-como>
- Qasim, W., Moon, B. E., Okyere, F. G., Khan, F., Nafees, M., & Kim, H. T. (2019). Influence of aeration rate and reactor shape on the composting of poultry manure and sawdust. *Journal Of The Air & Waste Management Association*, 69(5), 633-645. <https://doi.org/10.1080/10962247.2019.1569570>
- Raja, P., Kumar, D., Yadav, D. & Singh, T. (2023). Internet de las cosas (IdC): una revisión de conceptos, tecnologías y aplicaciones. *Revista internacional de tecnología de la información e ingeniería informática*. <https://doi.org/10.55529/ijitc.32.21.32> .
- Reyes, C. J., Pablos, M. M., Blanco, C. E., Acevedo, S., et al. (2022). Aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en hogares mediante la identificación de técnicas de clasificación, en el barrio Mazurén de la Localidad de Suba [Tesis de especialización, Universidad EAN]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/11842>.
- Reyes, F. P., Herrera, G. K., Hernández, J. W., Carnero, R. M., & Paredes, S. A. (2022). Smart Trash, Contenedores inteligentes de segregación para mejorar los hábitos de reciclaje. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://www.proquest.com/openview/d45dbc06d6d493a5adff873fc699bdfb/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Riazulhameed, A. A. M. A., Ranganathan, C. S., Pandey, P., B, S., Sasikala, K., & Murugan, S. (2024). Smart Composting Solutions for Organic Waste Management and Soil Enrichment in Agriculture with IoT and Gradient Boosting. *4th International Conference On Sustainable Expert Systems (ICSES)*, 339-345. <https://doi.org/10.1109/icses63445.2024.10763259>
- Richard, T., & Trautmann, N. (1996). Relación C/N compostaje. Obtenido de Cornell Waste Management Institute: http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html
- Rivas-Nichorzon, M., & Silva-Acuña, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *CIENCIA UNEMI*, 13(32), 87-100. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1007>

- Román P., Martínez M., & Pantoja A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*. ISBN: 978-92-5-307845. <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>
- Rubio, A. (2023). Sistema IoT para la monitorización de datos de compostaje. *Universidad de Málaga*. <https://www.riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/38410>
- Salehi-Amiri, A., Akbapour, N., Hajiaghaei-Keshteli, M., Gajpal, Y., & Jabbarzadeh, A. (2022). Designing an effective two-stage, sustainable, and IoT based waste management system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112031. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112031>
- Sandoval-Gutierrez, S., Giraldo-Vargas, L. F., Fuentes-Atencia, A. F. & Linero-Flores, A. C. (2020). Evaluación de la hidrólisis/acidogénesis para la degradación inicial de la FORSU. *RedBioLAC*, 4, 81-87.
- Sangeetha, K., Sweetline Shamini, S., & Lakshmi Devi, R. (2021). IoT based controlled decomposition process for organic materials. *International Conference on Materials, Manufacturing and Mechanical Engineering for Sustainable Developments-2020 (ICMSD 2020)*, 46, 3929-3932. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.403>
- Segovia Rosero, B. L. (2023). Sistema de control de condiciones del microclima para la prevención de contaminantes microbianos y producción de compost mediante un control inteligente automatizado para sistemas Microfarms [bachelorThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14573>
- Seker, S. (2022). IoT based sustainable smart waste management system evaluation using MCDM model under interval-valued q-rung orthopair fuzzy environment. *Technology in Society*, 71, 102100. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102100>
- Sepúlveda Cisneros, O., Acevedo-Juárez, B., Saldaña-Durán, C. E., Castro, W., De-la-Torre, M., Avila-George, H., (2021). Desarrollo de un sistema embebido para un compostero doméstico inteligente. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 41, 112-129. <https://doi.org/10.17013/risti.41.112-129>
- Shafique, K., Khawaja, B., Sabir, F., Qazi, S. & Mustaqim, M. (2020). Internet de las cosas (IoT) para sistemas inteligentes de próxima generación: una revisión de los desafíos actuales, las tendencias futuras y las perspectivas para los escenarios emergentes de

5G-IoT. *IEEE Access*, 8, 23022-23040.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970118>.

Sistema Peruano de Información Jurídica – SPIJ . (2023). Constitución Política, Leyes Orgánicas y Códigos\Legislación por Materia\Medio Ambiente.
<https://spijweb.minjus.gob.pe/>

SOLIDWORKS | 3D CAD Design Software. (2023). Recuperado 17 de octubre de 2023, de
<https://www.solidworks.com/home-page-2021>

Stipniece, A. A., Vladinovskis, V., Daugulis, P., Zemite, M., Vitola, L., & Mezule, L. (2022). Advantages and Challenges of Composting Reactors for Household Use: Smart Reactor Concept. *Sustainability*, 14(16), Article 16.
<https://doi.org/10.3390/su141610030>

Sun, Y., Hao, X., Xue, Q., Yang, S., Zhao, J. y Zhuo, J. (2022). Sistema de monitorización de actuadores eléctricos basado en IoT., 12332, 123320C - 123320C-5.
<https://doi.org/10.1117/12.2652445> .

Teh, B. H., Saruchi, S. A., Solihin, M. I., Seng, J. L. L., Halisno, N., Razap, A. N. A. A., & Izni, N. A. (2023). Intelligent Kitchen Waste Composting System via Deep Learning and IoT. *Research Square (Research Square)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2978777/v1>

Thien-Phuc Nguyen, Mitsuhiro Koyama, Kiyohiko Nakasaki. (2022). Effects of oxygen supply rate on organic matter decomposition and microbial communities during composting in a controlled lab-scale composting system. *Waste Management*, (153), 275-282. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.09.004>

Toskov, B., Toskova, A., Bogdanov, S. y Spasova, N. (2021). Puerta de enlace inteligente de IoT. *2021 Conferencia Internacional de Automática e Informática (ICAI)* , 374-377. <https://doi.org/10.1109/ICAI52893.2021.9639779>.

Valencia, V. A. O., & Cevallos, H. V. (2021). Oportunidades socioeconómicas de la gestión y caracterización de residuos sólidos en centros de abasto municipales. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(1), Article 1.
<http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/359/380>

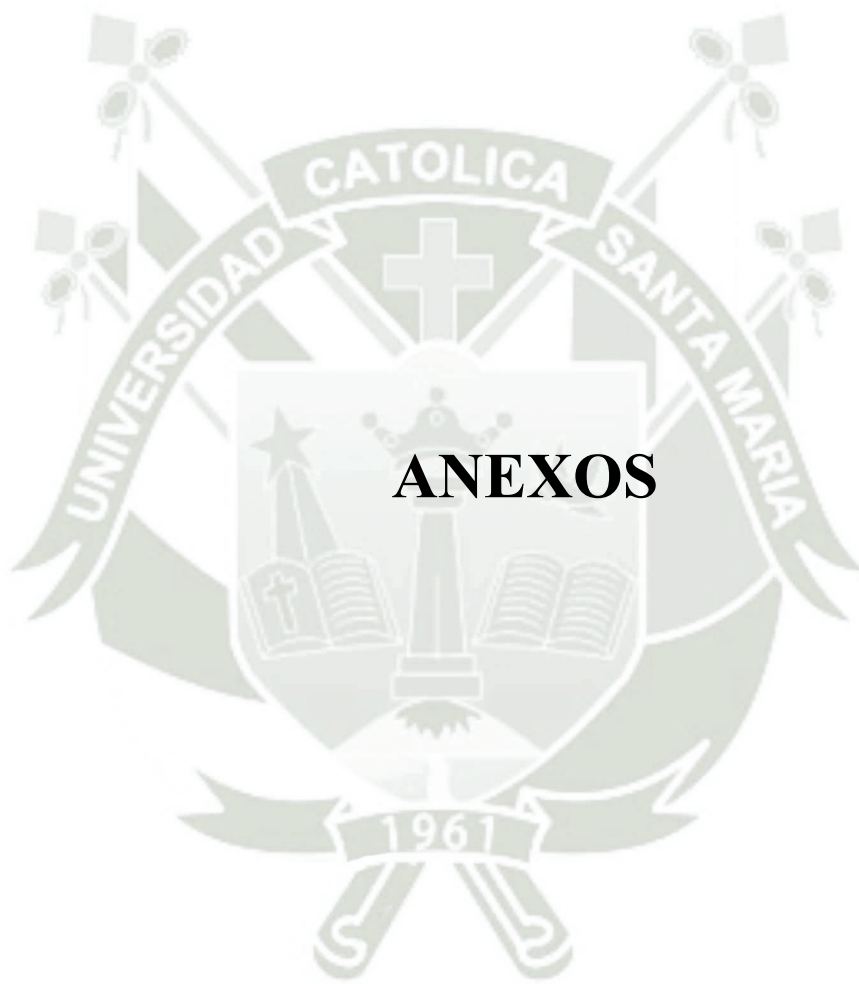
- Velvizhi, G., Shanthakumar, S., Das, B., Pugazhendhi, A., Priya, T. S., Ashok, B., Nanthagopal, K., Vignesh, R., & Karthick, C. (2020). Biodegradable and non-biodegradable fraction of municipal solid waste for multifaceted applications through a closed loop integrated refinery platform: Paving a path towards circular economy. *Science of The Total Environment*, 731, 138049. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138049>
- Visual Studio (2023). Visual Studio: IDE e Editor de Código para Desenvolvedores de Software e Teams. Recuperado 17 de octubre de 2023, de <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/>
- Wang, C., Qin, J., Qu, C., Ran, X., Liu, C., & Chen, B. (2021). A smart municipal waste management system based on deep-learning and Internet of Things. *Waste Management*, 135, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.028>
- Wang, J., Li, C., Zhu, Z., Zhu, X., Li, H., Nyambura, S. M., Feng, X., & Zhou, H. (2024). Bionic stirring device for horizontal composter to improve aeration efficiency: Design and optimisation using discrete and finite element methods. *Computers And Electronics In Agriculture*, 225, 109257. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109257>
- Wang, J., Ren, K., & Zhang, L. (2024). Design and Testing of a Small-Scale Composting Facility for Sheep Manure Utilizing Aeration and Thermal Treatment. *Agriculture*, 14(11), 2070. <https://doi.org/10.3390/agriculture14112070>
- Wenjie Chen, Ziwei Feng, Yuan Chang, Shaoqi Xu, Kaiyun Zhou, Xiong Shi, Zhigang Wang, Longli Zhang, Yuquan Wei, Ji Li, (2023). Comparing the bacterial composition, succession and assembly patterns in plastisphere and kitchen waste composting with PLA/PBAT blends. *Journal of Hazardous Materials*, (454). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131405>
- Winsen (2025). Módulo de detección de gases industriales 4 en 1 ZCE04B. <https://es.winsen-sensor.com/product/zce04b.html>
- Wu, Z., Qiu, K. y Zhang, J. (2020). Una arquitectura de microcontrolador inteligente para la Internet de las cosas. *Sensors (Basilea, Suiza)*, 20. <https://doi.org/10.3390/s20071821>.

Yuhan, P., Mengyang, L., Hongwei, G. Yuanyuan, L. & Ji, H. (2022). Influencing factors and reduction of domestic solid waste at university dormitory in Shanghai, China. *Sci Rep* 12, 570. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04582-0>

Yusro, M., Guntoro, N. A., & Rikawarastuti, N. (2021). Utilization of microcontroller technology using Arduino board for Internet of Things (a systematic review). *AIP Conference Proceedings*, 2331, 060004. <https://doi.org/10.1063/5.0041705>

Ziouzios, D., Baras, N., Dasygenis, M., & Tsanaktsidis, C. (2021). Envisioning IoT applications in a smart city to underpin an effective municipal strategy: The smartbin project. *SHS Web Of Conferences*, 102, 04020. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202110204020>







**ANEXO N° 1. Constancia de Prácticas en el
Área de Compostaje en Magnopata, Yanahuara**



CONSTANCIA DE VOLUNTARIADO

LA SUSCRITA, EN CALIDAD DE GERENTE DE DESARROLLO ECONÓMICO E INCLUSIÓN SOCIAL DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YANAHUARA Y EN MERITO AL PROGRAMA DE VOLUNTARIADO DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YANAHUARA, INSCRITA EN EL REGISTRO DE VOLUNTARIADO DEL MIMP, CON CÓDIGO 202320162586956.

HACEN CONSTAR:

Que, el señor voluntario **JACK ANTHONY RAMOS SONCCO** identificado con DNI N° 72745474, ha participado en el Programa de Voluntariado de la Municipalidad Distrital de Yanahuara, en la Sub Gerencia de Salubridad y Gestión Ambiental.

Habiendo realizado su voluntariado desde el día 29 de agosto al 29 de diciembre del año 2024, con el siguiente récord de jornadas y horas:

Cantidad de JORNADAS de voluntariado realizadas	Cantidad de HORAS de voluntariado realizadas
Setenta y cinco (75)	Doscientos veinticinco (225)

Se otorga la presente constancia para los fines que vea por conveniente.

Arequipa, 06 de febrero del 2025




Ps. Luz Hilda Quispe Yucra
(e) Gerencia de Desarrollo Económico e Inclusión Social



CONSTANCIA DE VOLUNTARIADO

LA SUSCRITA, EN CALIDAD DE GERENTE DE DESARROLLO ECONÓMICO E INCLUSIÓN SOCIAL DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YANAHUARA Y EN MERITO AL PROGRAMA DE VOLUNTARIADO DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YANAHUARA, INSCRITA EN EL REGISTRO DE VOLUNTARIADO DEL MIMP, CON CÓDIGO 202320162586956.

HACEN CONSTAR:

Que, la señorita voluntaria **MEELYN LIZBETH VILCA QUISPE** identificada con DNI N° 75383363, ha participado en el Programa de Voluntariado de la Municipalidad Distrital de Yanahuara, en la Sub Gerencia de Salubridad y Gestión Ambiental.

Habiendo realizado su voluntariado desde el día 29 de agosto al 29 de diciembre del año 2024, con el siguiente récord de jornadas y horas:

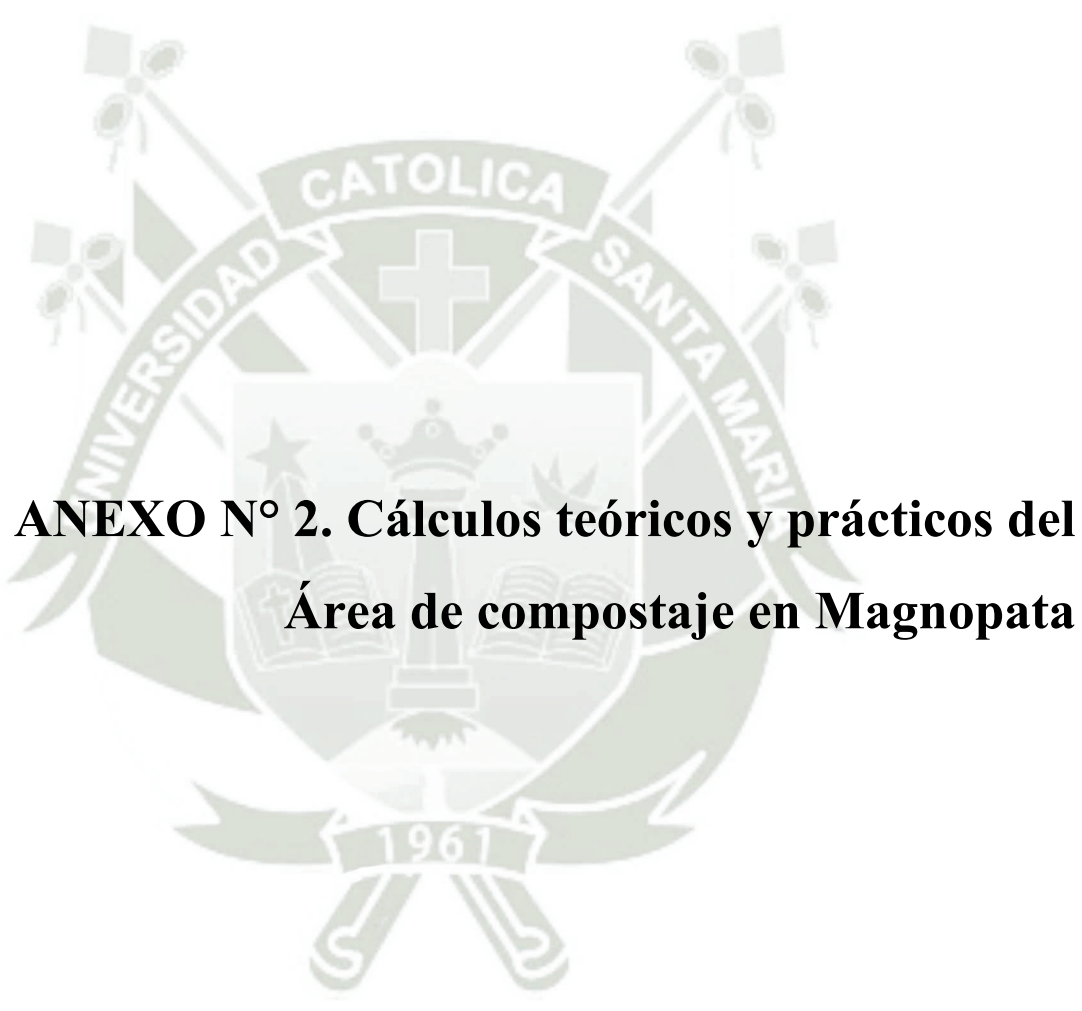
Cantidad de JORNADAS de voluntariado realizadas	Cantidad de HORAS de voluntariado realizadas
Setenta y cinco (75)	Doscientos veinticinco (225)

Se otorga la presente constancia para los fines que vea por conveniente.

Arequipa, 23 de enero del 2025

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YANAHUARA

Lic. Erika Patricia Cuba Díaz
Gerente de Desarrollo Económico e Inclusión Social



**ANEXO N° 2. Cálculos teóricos y prácticos del
Área de compostaje en Magnopata**

CÁLCULO TEÓRICO

1. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL PRISMA TRAPEZOIDAL (PILA DE COMPOST)

DETALLE	BASE MAYOR (m)	BASE MENOR (m)	TOTAL	0.5	LARGO (MTS LINEALES)	ALTURA (m)	m ³
HOJAS SECAS	2	1.8	3.8	1.9	10	0.2	3.8
PODA/MERCADOS	1.8	1.6	3.4	1.7		0.2	3.4
ESTIERCOL	1.6	1.45	3.05	1.53		0.15	2.29
TIERRA DE CHACRA	1.45	1.4	2.85	1.43		0.05	0.71
HOJAS SECAS	1.4	1.2	2.6	1.3		0.2	2.6
PODA/MERCADOS	1.2	1	2.2	1.1		0.2	2.2
ESTIERCOL	1	0.85	1.85	0.93		0.15	1.39
TIERRA DE CHACRA	0.85	0.8	1.65	0.83		0.05	0.41
TOTAL						1.2	16.8

TIPO	DETALLE	LA CANTIDAD TOTAL EN 1 PILA (m ³) AL 100%	LA CANTIDAD TOTAL EN 1 PILA (m ³) AL 90%	TOTAL, DEL TIPO (m ³)	PORCENTAJE DEL TIPO (%)
RESIDUOS	HOJAS SECAS	6.40	5.76		
	PODA/MERCADOS	5.60	5.04	12.00	71.43
INSUMOS	ESTIERCOL/CENIZA	3.68	3.31		
	TIERRA DE CHACRA	1.13	1.01	4.80	28.57
	TOTAL	16.80			

2. CALCULO DE PESO DE RESIDUOS E INSUMOS

CAJA								
TIPO	DETALLE	LARGO	ANCHO	ALTO	VOLUMEN DE LA CAJA (m ³)	PESO DE CAJA (Kg)	VOLUMEN (m ³)	DENSIDAD (Kg/ m ³)
RESIDUOS	HOJAS SECAS	0.29	0.22	0.39	0.025	1.56	1.00	62.70
	PODA PASTO	0.29	0.22	0.39	0.025	2.20	1.00	88.42
	ORGANICOS (MERCADO)	0.29	0.22	0.39	0.025	3.18	1.00	127.80
INSUMOS	ESTIERCOL	0.29	0.22	0.39	0.025	5.9	1.00	237.12
	TIERRA DE CHACRA	0.29	0.22	0.39	0.025	11.6	1.00	466.20

CÁLCULO DE PESO TEÓRICO QUE PUEDE INGRESAR				
TIPO	CANTIDAD DE RESIDUOS EN 1 PILA(Kg)	TOTAL	CANTIDAD EN LAS 3 PILAS (Kg)	TOTAL
RESIDUOS	361.13		1083.39	
	445.62	1450.88	1336.87	4352.64
	644.13		1932.38	
INSUMOS	784.27		2352.82	
	472.03	1256.30	1416.08	3768.90
TOTAL		2707.18	TOTAL	8121.54

CÁLCULO TEÓRICO DE RELACIÓN C/N PARA EL COMPSOTAJE AUTOMATIZADO					
DETALLE	MASA (KG)	CARBONO (%)	NITROGENO (%)	HUMEDAD (%)	RELACION C/N
R. de cocina	6	15	1	20	32.49
R. de vegetales	5	10	1	90	
R. almidón	5	15	1	72	
R. de poda	16	44	1	35	

CALCULO PRÁCTICO

1. CANTIDAD DE RESIDUOS QUE INGRESA



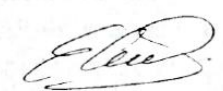
CARACTERÍSTICAS DE LAS TOLVAS DEL CAMIÓN				
CAMIÓN	LARGO	ANCHO	ALTO	TOTAL (m ³)
01	4.00	1.80	1.80	12.96
02	5.00	2.00	2.00	20.00

DETALLE	% QUE OCUPA EN LA TOLVA		VOLUMEN DE TOLVA OCUPADO (m ³)		CANTIDAD EN Kg / CAMIÓN / DÍA		CANTIDAD EN Kg /CAMIÓN / SEMANA	
	Camión 1	Camión 2	Camión 1	Camión 2	Camión 1	Camión 2	Camión 1	Camión 2
HOJAS SECAS	0.15	0.1	1.944	2	121.88	125.39	365.64	376.18
PODA PASTO	0.25	0.2	3.24	4	286.47	353.67	859.42	1,061.01
ORGANICOS (MERCADO)	0.05	0.02	0.648	0.4	82.82	51.12	248.45	153.36
ESPACIO LIBRE	0.55	0.68	7.128	13.6				
TOTAL	1	1			491.17	530.18	1,473.51	1,590.55
					1,021.35		3,064.06	

CÁLCULO DE PESO PRÁCTICO QUE INGRESA			
TIPO	DETALLE	CANTIDAD EN LAS 3 PILAS (Kg)	TOTAL (Kg)
RESIDUOS	Hojas secas	741.82	3,064.06
	Poda pasto	1,920.42	
	Orgánicos (mercado)	401.81	
INSUMOS	Estiércol	2352.82	3768.90
	Tierra de chacra	1416.08	
	TOTAL		6,832.96






**ANEXO N° 3. Ficha de Caracterización del
Área de Compostaje en Magnopata**

 FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL ÁREA DE COMPOSTAJE DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YANAHUARA		Responsable del Registro	
		JACK ANTHONY R. FLEBY VILCA Q.	
1. IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE GENERACIÓN			
Nombre del lugar:	ÁREA DE COMPOSTAJE DE YANAHUARA - MAGNOPATA		
Ubicación:	CALE FRANCISCO BOLOGNESI - MAGNOPATA - YANAHUARA		
Fecha de caracterización:	18 de SEPTIEMBRE, 2024	Hora:	10:00 am
2. DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS			
Nombre del Residuo:	RESIDUOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS Y COMERCIALES		
Origen:	<input type="checkbox"/> Restos de alimentos <input checked="" type="checkbox"/> Cáscara de frutas y verduras <input checked="" type="checkbox"/> Residuos de Poda/jardinería <input type="checkbox"/> Otros	Tipo:	<input checked="" type="checkbox"/> Domestico <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Institucional <input type="checkbox"/> Industria Agrícola
	Nota:		LOS RESULTADOS FUERON LA RECEPCION DE RESIDUOS DOMESTICOS (CASCARAS) Y RESILOS DE PODA PRINCIPALMENTE. EL ESTIERCOL ERA INSUITO
3. CARACTERISTICAS			
PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN / VALOR	OBSERVACIÓN EN CAMPO	
Estado físico	Ejem: Sólido - Semisólido - Líquido	SOLIDO	
Color	Ejem: Marrón claro - Verde - Negro - Otro	MARRÓN Y VERDE	
Olor	Ejem: Fermentado - Fuerte - leve.	LEVE	
Humedad	Ejem: Alta - Media - Baja	MEDIA	
Presencia de contaminantes	Ejem: plásticos - Vidrios - Metales	BOLSAS DE PLÁSTICOS	
Peso Total	Valor que estime	1021 KG	
Volumen Estimado	Valor que estime	16.8 m ³	
4. FRECUENCIA DE RECEPCIÓN		5. OBSERVACIONES ADICIONALES	
Frecuencia	UNA VEZ POR DÍA	EL PROCESO DE COMPOSTAJE EMPIEZA CON EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS, SIENDO LA MAYORIA RESTO DE PODA. EL ESTIERCOL LO UTILIZAN COMO INSUITO PARA ACELERAR EL PROCESO Y ENRIQUECER EL COMPOST.	
Cantidad promedio	1021 KG		
FIRMA		FIRMA	
	Encargado de la actividad		Supervisor / Responsable



**ANEXO N° 4. Seguimiento del Compostaje en
Magnopata**

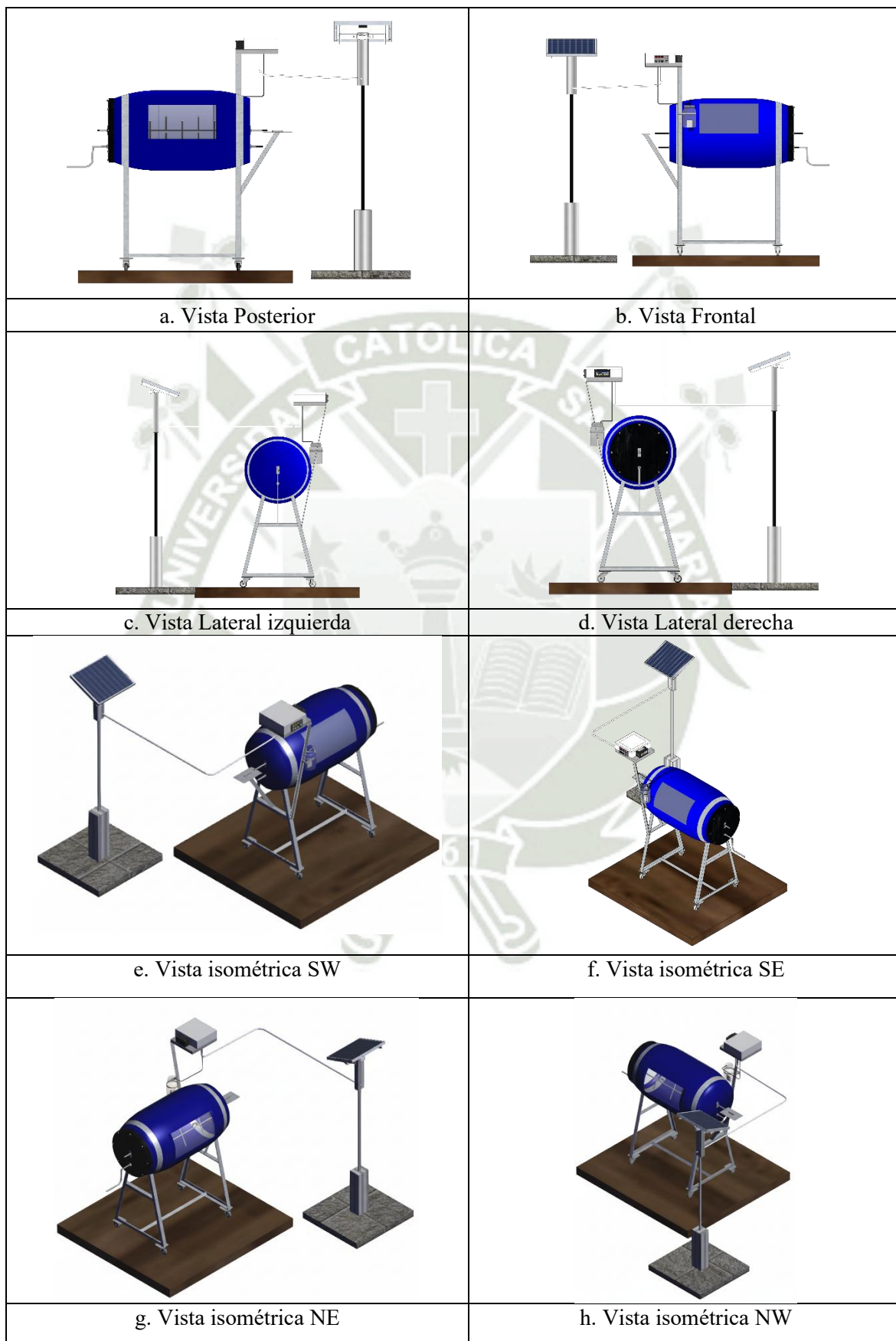
CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

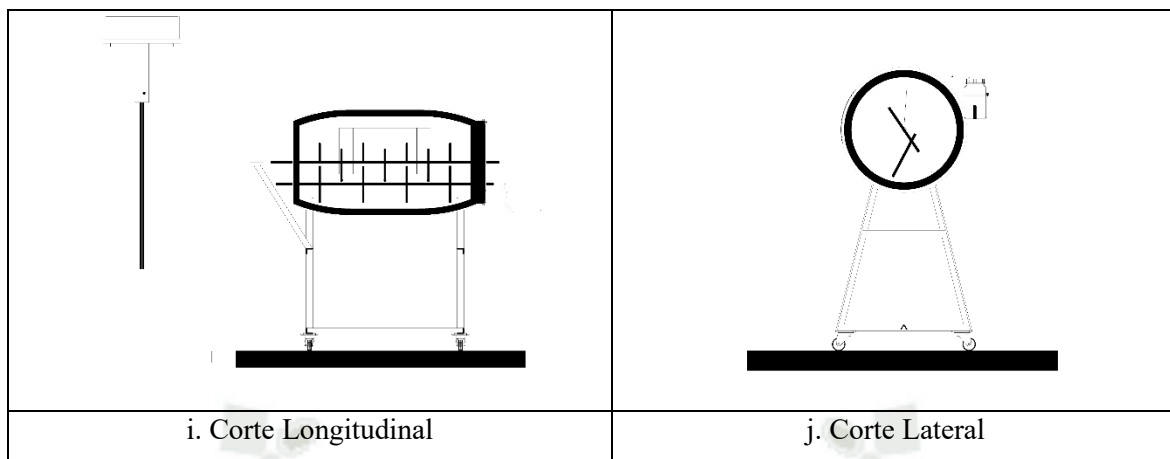
PILA 1													
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	1 VOLTEO	2 VOLTEO	3 VOLTEO	4 VOLTEO	5 VOLTEO		6 VOLTEO		7 VOLTEO		TOTAL, COMPOST OBTENIDO (KG)	FIRMA DEL ENCARGADO DE LA PLANTA
		SEMANA 1	SEMANA 3	SEMANA 5	SEMANA 7	SEMANA 9	SEMANA 11	SEMANA 13	SEMANA 15	SEMANA 17	SEMANA 19		
TEMPERATURA	oC	39	46	40	38	35	31	31	28	27	27	1 236	
HUMEDAD	%	64	64	61	58	55	52	50	48	46	45		
PH	rango	6.2	6.5	7	7.2	7.4	7.3	7.1	6.9	6.8	6.5		
PILA 2													
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	1 VOLTEO	2 VOLTEO	3 VOLTEO	4 VOLTEO	5 VOLTEO		6 VOLTEO		7 VOLTEO		TOTAL, COMPOST OBTENIDO (KG)	FIRMA DEL ENCARGADO DE LA PLANTA
		SEMANA 1	SEMANA 3	SEMANA 5	SEMANA 7	SEMANA 9	SEMANA 11	SEMANA 13	SEMANA 15	SEMANA 17	SEMANA 19		
TEMPERATURA	oC	38	43	42	39	35	32	29	29	26	27	1 043	
HUMEDAD	%	65	62	59	59	57	54	49	48	47	42		
PH	rango	6	6.5	7	7.2	7.5	7.2	7	6.8	6.7	6.5		
PILA 3													
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	1 VOLTEO	2 VOLTEO	3 VOLTEO	4 VOLTEO	5 VOLTEO		6 VOLTEO		7 VOLTEO		TOTAL COMPOST OBTENIDO (KG)	FIRMA DEL ENCARGADO DE LA PLANTA
		SEMANA 1	SEMANA 3	SEMANA 5	SEMANA 7	SEMANA 9	SEMANA 11	SEMANA 13	SEMANA 15	SEMANA 17	SEMANA 19		
TEMPERATURA	oC	39	44	42	40	37	35	30	28	27	27	1 138	
HUMEDAD	%	60	60	58	55	56	52	49	47	45	43		
PH	rango	5.8	6.4	6.9	7.4	7.7	7.5	7.3	7	6.8	6.6		




ANEXO N° 5. Planos del Diseño de la Compostera Inteligente

PLANO 3D







**ANEXO N° 6. Registro de datos de la Compostera
Inteligente**

REGISTRO DE DATOS

FechaHora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CO2 (%)	CO (ppm)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (ppm)
2025-08-28 17:00:00	30.75	54.3	1.28	0	18.47	0.0	0
2025-08-28 19:00:00	31.13	54.4	1.63	0	17.21	0.0	0
2025-08-28 21:00:00	29.96	55.8	1.87	0	17.67	0.1	0
2025-08-28 23:00:00	32.84	57.1	1.42	0	18.51	0.1	0
2025-08-29 01:00:00	29.92	54.5	1.56	0	18.24	0.0	0
2025-08-29 03:00:00	30.08	54.9	1.84	0	18.1	0.0	0
2025-08-29 05:00:00	31.3	56.5	1.6	0	18.4	0.0	0
2025-08-29 07:00:00	28.5	56.5	1.53	0	18.35	0.0	0
2025-08-29 09:00:00	29.73	55.2	1.4	0	17.88	0.0	0
2025-08-29 10:00:00	31.8	51.0	1.77	0	17.52	0.1	0
2025-08-29 11:00:00	30.04	56.8	2.16	0	18.01	0.0	0
2025-08-29 12:00:00	29.36	55.7	1.77	0	18.6	0.0	1
2025-08-29 13:00:00	33.76	57.0	1.74	0	17.79	0.0	0
2025-08-29 14:00:00	31.3	49.2	1.72	0	17.96	0.0	0
2025-08-29 15:00:00	31.82	59.2	1.77	0	17.42	0.0	2
2025-08-29 17:00:00	31.06	57.2	1.39	0	18.66	0.0	0
2025-08-29 19:00:00	30.3	56.2	1.58	0	17.67	0.0	1
2025-08-29 21:00:00	31.28	53.8	1.8	0	17.95	0.0	0
2025-08-29 23:00:00	31.44	54.6	1.6	0	17.97	0.0	0
2025-08-30 01:00:00	32.48	56.7	2.35	0	17.62	0.0	0
2025-08-30 03:00:00	33.89	55.3	2.01	0	17.13	0.0	0
2025-08-30 05:00:00	33.12	59.8	2.09	0	18.08	0.0	0
2025-08-30 07:00:00	30.97	55.4	1.9	0	17.76	0.2	0
2025-08-30 09:00:00	35.23	57.2	2.42	0	16.61	0.0	2
2025-08-30 10:00:00	33.45	57.4	2.03	0	17.58	0.1	0
2025-08-30 11:00:00	33.1	56.3	2.23	0	16.25	0.1	0
2025-08-30 12:00:00	32.9	52.7	1.84	0	18.23	0.1	0
2025-08-30 13:00:00	31.21	58.3	1.92	0	16.91	0.0	2
2025-08-30 14:00:00	32.43	52.7	2.22	0	18.09	0.0	0
2025-08-30 15:00:00	32.9	55.6	2.44	0	16.91	0.1	0
2025-08-30 17:00:00	34.26	54.9	2.11	0	17.16	0.0	0
2025-08-30 19:00:00	34.39	55.6	1.95	0	18.37	0.0	0
2025-08-30 21:00:00	33.04	58.2	2.4	0	17.76	0.0	0
2025-08-30 23:00:00	35.76	54.5	2.16	0	16.81	0.0	2
2025-08-31 01:00:00	33.11	57.4	2.19	0	18.21	0.0	1
2025-08-31 03:00:00	35.02	56.2	2.73	0	16.15	0.0	0
2025-08-31 05:00:00	33.96	54.4	2.26	0	17.45	0.0	0
2025-08-31 07:00:00	33.18	54.7	2.51	0	17.09	0.0	0
2025-08-31 09:00:00	36.21	54.7	2.46	0	16.8	0.1	0
2025-08-31 10:00:00	37.1	55.0	2.67	0	17.33	0.0	0
2025-08-31 11:00:00	35.04	52.8	2.7	0	17.02	0.0	0
2025-08-31 12:00:00	36.73	52.1	2.31	0	17.41	0.0	0
2025-08-31 13:00:00	35.85	58.2	2.07	0	18.39	0.2	0
2025-08-31 14:00:00	36.41	53.7	2.42	0	16.8	0.1	0
2025-08-31 15:00:00	36.0	53.0	2.34	0	16.6	0.0	1
2025-08-31 17:00:00	35.56	53.7	2.11	0	18.51	0.0	1
2025-08-31 19:00:00	31.84	58.3	2.29	0	17.07	0.0	0
2025-08-31 21:00:00	36.06	53.6	2.56	0	16.9	0.0	0

FechaHora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CO2 (%)	CO (ppm)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (ppm)
2025-08-30 21:00:00	33.04	58.2	2.4	0	17.76	0.0	0
2025-08-30 23:00:00	35.76	54.5	2.16	0	16.81	0.0	2
2025-08-31 01:00:00	33.11	57.4	2.19	0	18.21	0.0	1
2025-08-31 03:00:00	35.02	56.2	2.73	0	16.15	0.0	0
2025-08-31 05:00:00	33.96	54.4	2.26	0	17.45	0.0	0
2025-08-31 07:00:00	33.18	54.7	2.51	0	17.09	0.0	0
2025-08-31 09:00:00	36.21	54.7	2.46	0	16.8	0.1	0
2025-08-31 10:00:00	37.1	55.0	2.67	0	17.33	0.0	0
2025-08-31 11:00:00	35.04	52.8	2.7	0	17.02	0.0	0
2025-08-31 12:00:00	36.73	52.1	2.31	0	17.41	0.0	0
2025-08-31 13:00:00	35.85	58.2	2.07	0	18.39	0.2	0
2025-08-31 14:00:00	34.41	53.3	2.66	0	16.8	0.1	0
2025-08-31 15:00:00	36.0	53.0	2.34	0	16.6	0.0	1
2025-08-31 17:00:00	35.56	53.7	2.11	0	18.51	0.0	1
2025-08-31 19:00:00	31.84	58.3	2.29	0	17.07	0.0	0
2025-08-31 21:00:00	36.06	53.6	2.56	0	16.9	0.0	0
2025-08-31 23:00:00	36.22	57.0	2.5	0	17.55	0.2	0
2025-09-01 01:00:00	35.91	50.0	2.64	0	16.94	0.1	0
2025-09-01 03:00:00	38.61	52.2	3.04	0	15.58	0.0	2
2025-09-01 05:00:00	35.34	57.0	2.99	0	16.96	0.0	0
2025-09-01 07:00:00	38.08	57.8	2.52	0	16.98	0.0	0
2025-09-01 09:00:00	36.07	56.2	2.69	0	16.23	0.0	0
2025-09-01 10:00:00	37.71	56.7	2.92	0	16.91	0.0	1
2025-09-01 11:00:00	37.17	56.5	2.73	0	17.18	0.2	0
2025-09-01 12:00:00	38.55	55.7	2.46	0	15.54	0.0	0
2025-09-01 13:00:00	36.12	55.2	2.49	0	17.81	0.0	1
2025-09-01 14:00:00	36.76	54.9	2.79	0	16.94	0.1	1
2025-09-01 15:00:00	36.74	53.5	2.56	0	17.63	0.1	0
2025-09-01 17:00:00	37.93	51.6	3.01	0	15.7	0.0	0
2025-09-01 19:00:00	37.65	53.0	2.34	0	17.44	0.1	0
2025-09-01 21:00:00	35.68	55.4	2.98	0	16.78	0.0	0
2025-09-01 23:00:00	37.44	56.8	3.17	0	15.69	0.0	0
2025-09-02 01:00:00	37.87	53.0	3.08	0	15.82	0.2	0
2025-09-02 03:00:00	41.1	53.0	2.62	0	16.71	0.0	0
2025-09-02 05:00:00	38.81	56.1	2.9	0	16.86	0.1	0
2025-09-02 07:00:00	35.7	55.2	3.1	0	16.02	0.0	1
2025-09-02 09:00:00	38.83	53.8	2.92	0	16.7	0.0	0
2025-09-02 10:00:00	42.51	55.6	3.08	0	16.34	0.0	0
2025-09-02 11:00:00	38.6	51.8	2.87	0	16.26	0.2	0
2025-09-02 12:00:00	39.42	55.9	2.88	0	16.46	0.0	0
2025-09-02 13:00:00	39.0	55.0	3.25	0	16.14	0.0	0
2025-09-02 14:00:00	37.37	56.1	2.9	0	15.46	0.0	1
2025-09-02 15:00:00	40.92	55.4	3.28	0	16.3	0.0	0
2025-09-02 17:00:00	40.55	55.3	2.83	0	16.03	0.0	0
2025-09-02 19:00:00	41.62	55.2	3.44	0	14.98	0.0	0
2025-09-02 21:00:00	40.55	55.1	3.13	0	15.88	0.0	0
2025-09-02 23:00:00	38.34	53.6	3.41	0	15.64	0.0	0
2025-09-03 01:00:00	40.13	52.2	3.16	0	16.4	0.0	1
2025-09-03 03:00:00	37.81	52.5	3.66	0	15.57	0.0	0

FechaHora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CO2 (%)	CO (ppm)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (ppm)
2025-09-03 03:00:00	37.81	52.5	3.66	0	15.57	0.0	0
2025-09-03 05:00:00	38.7	53.6	3.36	0	16.7	0.2	0
2025-09-03 07:00:00	39.07	54.4	3.2	0	15.32	0.0	0
2025-09-03 09:00:00	39.43	53.7	3.48	0	15.69	0.0	0
2025-09-03 10:00:00	40.2	55.6	3.69	0	15.09	0.0	0
2025-09-03 11:00:00	41.98	53.3	3.55	0	15.99	0.1	0
2025-09-03 12:00:00	38.99	59.3	3.14	0	15.87	0.0	1
2025-09-03 13:00:00	41.26	52.6	3.66	0	16.69	0.0	0
2025-09-03 14:00:00	42.96	55.6	3.26	0	16.68	0.1	0
2025-09-03 15:00:00	38.66	56.3	3.4	0	16.03	0.2	0
2025-09-03 17:00:00	41.62	54.6	3.9	0	15.87	0.0	1
2025-09-03 19:00:00	39.53	55.1	3.65	0	15.21	0.0	0
2025-09-03 21:00:00	42.33	56.9	3.67	0	16.03	0.1	0
2025-09-03 23:00:00	42.07	53.9	3.53	0	14.98	0.0	0
2025-09-04 01:00:00	40.84	54.8	3.66	0	15.57	0.0	2
2025-09-04 03:00:00	42.45	53.4	3.78	0	16.45	0.0	0
2025-09-04 05:00:00	44.97	58.4	3.84	0	15.64	0.1	0
2025-09-04 07:00:00	40.54	56.1	3.59	0	16.83	0.0	0
2025-09-04 09:00:00	41.02	54.2	3.82	0	15.67	0.0	1
2025-09-04 10:00:00	43.74	54.6	3.9	0	15.61	0.0	0
2025-09-04 11:00:00	44.37	53.8	3.85	0	15.48	0.0	0
2025-09-04 12:00:00	41.48	53.0	4.11	0	15.02	0.1	0
2025-09-04 13:00:00	44.24	53.7	3.78	0	15.68	0.0	0
2025-09-04 14:00:00	43.49	52.6	3.93	0	14.02	0.0	0
2025-09-04 15:00:00	44.18	55.1	3.59	0	16.03	0.0	0
2025-09-04 17:00:00	42.73	55.5	3.98	0	15.11	0.0	1
2025-09-04 19:00:00	41.92	55.7	3.81	0	15.09	0.0	0
2025-09-04 21:00:00	43.3	51.0	3.59	0	16.69	0.0	0
2025-09-04 23:00:00	43.99	57.5	4.1	0	14.8	0.0	0
2025-09-05 01:00:00	43.75	58.3	4.05	0	15.56	0.1	0
2025-09-05 03:00:00	43.49	53.6	3.98	0	14.58	0.0	2
2025-09-05 05:00:00	44.98	56.1	4.15	0	14.72	0.0	0
2025-09-05 07:00:00	42.59	56.1	4.13	0	15.25	0.0	2
2025-09-05 09:00:00	44.02	55.3	3.63	0	14.75	0.0	0
2025-09-05 10:00:00	45.5	52.2	4.3	0	15.38	0.0	2
2025-09-05 11:00:00	45.22	54.8	3.99	0	15.33	0.0	0
2025-09-05 12:00:00	44.48	53.2	3.93	0	15.97	0.0	0
2025-09-05 13:00:00	43.39	53.5	4.26	0	15.11	0.1	0
2025-09-05 14:00:00	42.47	57.5	4.05	0	15.69	0.0	1
2025-09-05 1							



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																	
2025-09-09 12:00:00	50.22	53.1	5.58	0	14.12	0.0	0														
2025-09-09 13:00:00	55.35	57.4	5.35	0	13.28	0.0	0														
2025-09-09 14:00:00	49.3	54.7	5.52	0	12.79	0.0	0														
2025-09-09 15:00:00	52.08	54.9	5.54	0	13.25	0.1	2														
2025-09-09 17:00:00	52.88	54.1	5.35	0	12.66	0.2	0														
2025-09-09 19:00:00	52.31	54.7	5.36	0	14.32	0.2	2														
2025-09-09 21:00:00	51.89	52.3	5.55	0	13.28	0.0	0														
2025-09-09 23:00:00	53.47	57.9	5.73	0	14.17	0.0	0														
2025-09-10 01:00:00	54.44	53.7	5.51	0	13.73	0.0	0														
2025-09-10 03:00:00	54.46	53.8	5.75	0	13.08	0.0	2														
2025-09-10 05:00:00	52.15	56.4	5.69	0	13.33	0.0	0														
2025-09-10 07:00:00	54.68	59.3	5.8	0	13.48	0.0	0														
2025-09-10 09:00:00	53.68	56.5	5.91	0	13.6	0.1	2														
2025-09-10 10:00:00	53.96	55.6	5.93	0	13.05	0.0	0														
2025-09-10 11:00:00	55.78	57.6	5.61	0	13.61	0.0	0														
2025-09-10 12:00:00	53.06	58.1	5.78	0	13.79	0.0	2														
2025-09-10 13:00:00	54.84	55.1	5.93	0	12.33	0.0	0														
2025-09-10 14:00:00	53.8	53.5	5.76	0	13.07	0.0	0														
2025-09-10 15:00:00	53.85	55.9	6.03	0	12.5	0.0	0														
2025-09-10 17:00:00	55.57	59.0	5.69	0	13.35	0.0	0														
2025-09-10 19:00:00	56.45	54.3	5.93	0	11.96	0.0	0														
2025-09-10 21:00:00	55.67	52.3	5.85	0	13.29	0.0	0														
2025-09-10 23:00:00	55.29	57.4	5.66	0	13.15	0.0	0														
2025-09-11 01:00:00	55.1	52.9	5.84	0	13.11	0.0	1														
2025-09-11 03:00:00	53.89	57.4	6.38	0	11.25	0.0	0														
2025-09-11 05:00:00	53.76	57.0	5.9	0	13.4	0.0	0														
2025-09-11 07:00:00	57.16	52.2	5.96	0	12.96	0.0	0														
2025-09-11 09:00:00	56.52	54.4	6.07	0	12.82	0.0	0														
2025-09-11 10:00:00	56.6	54.5	5.7	0	13.61	0.1	0														
2025-09-11 11:00:00	55.72	57.7	6.09	0	12.54	0.0	2														
2025-09-11 12:00:00	54.47	56.1	5.97	0	13.49	0.0	2														
2025-09-11 13:00:00	56.01	55.9	6.03	0	12.93	0.0	0														
2025-09-11 14:00:00	54.96	59.3	6.43	0	12.39	0.0	0														
2025-09-11 15:00:00	57.51	53.7	5.9	0	12.28	0.0	0														
2025-09-11 17:00:00	54.97	55.1	6.12	0	12.24	0.0	0														
2025-09-11 19:00:00	56.98	58.1	6.37	0	11.95	0.1	2														
2025-09-11 21:00:00	55.28	56.1	6.35	0	13.44	0.0	0														
2025-09-11 23:00:00	57.04	54.3	6.2	0	13.52	0.0	1														
2025-09-12 01:00:00	56.12	52.9	6.07	0	12.75	0.2	0														
2025-09-12 03:00:00	54.81	59.1	6.91	0	11.36	0.1	0														
2025-09-12 05:00:00	56.06	54.6	6.08	0	13.33	0.1	0														
2025-09-12 07:00:00	57.76	55.6	6.47	0	12.77	0.0	0														
2025-09-12 09:00:00	58.74	56.7	6.51	0	13.34	0.0	0														
2025-09-12 10:00:00	57.29	53.8	6.37	0	11.62	0.0	1														
2025-09-12 11:00:00	57.58	54.7	6.41	0	12.94	0.0	1														
2025-09-12 12:00:00	56.18	55.6	6.51	0	12.76	0.0	0														
2025-09-12 13:00:00	57.74	54.5	6.48	0	11.74	0.0	0														
2025-09-12 14:00:00	57.41	58.2	6.03	0	13.27	0.0	0														
2025-09-12 15:00:00	58.41	56.0	6.44	0	12.44	0.1	0														

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																	
2025-09-12 15:00:00	58.41	56.0	6.44	0	12.44	0.1	0														
2025-09-12 17:00:00	58.78	56.3	6.54	0	11.75	0.1	0														
2025-09-12 19:00:00	57.82	55.4	6.59	0	13.12	0.2	0														
2025-09-12 21:00:00	59.0	55.8	6.72	0	12.33	0.0	0														
2025-09-12 23:00:00	58.29	53.9	6.64	0	11.64	0.0	2														
2025-09-13 01:00:00	58.00	57.5	6.98	0	10.85	0.0	0														
2025-09-13 03:00:00	57.95	55.6	6.68	0	12.0	0.2	0														
2025-09-13 05:00:00	60.08	55.5	6.72	0	11.85	0.0	0														
2025-09-13 07:00:00	61.11	56.1	6.54	0	12.5	0.0	0														
2025-09-13 09:00:00	59.17	56.5	6.84	0	11.3	0.0	0														
2025-09-13 10:00:00	58.13	55.8	6.84	0	11.65	0.0	0														
2025-09-13 11:00:00	61.13	57.6	6.41	0	12.9	0.2	0														
2025-09-13 12:00:00	56.63	56.3	6.68	0	12.43	0.2	0														
2025-09-13 13:00:00	56.57	54.7	6.54	0	11.47	0.0	2														
2025-09-13 14:00:00	56.93	52.6	6.44	0	12.45	0.1	0														
2025-09-13 15:00:00	54.63	54.6	6.65	0	11.03	0.0	0														
2025-09-13 17:00:00	56.66	53.8	7.2	0	12.31	0.0	0														
2025-09-13 19:00:00	58.3	58.3	6.46	0	11.83	0.0	1														
2025-09-13 21:00:00	59.19	52.6	6.96	0	10.88	0.0	0														
2025-09-13 23:00:00	56.4	57.4	6.45	0	12.56	0.1	0														
2025-09-14 01:00:00	55.75	54.7	7.16	0	11.29	0.1	0														
2025-09-14 03:00:00	59.49	53.4	6.63	0	12.25	0.1	1														
2025-09-14 05:00:00	55.13	54.8	6.3	0	12.27	0.0	0														
2025-09-14 07:00:00	57.51	53.2	6.91	0	11.65	0.0	0														
2025-09-14 09:00:00	55.27	56.4	6.66	0	11.76	0.0	1														
2025-09-14 10:00:00	56.76	54.3	6.89	0	11.65	0.0	0														
2025-09-14 11:00:00	57.66	58.5	6.69	0	11.47	0.2	0														
2025-09-14 12:00:00	57.71	54.2	6.94	0	11.66	0.0	0														
2025-09-14 13:00:00	56.96	55.4	6.72	0	11.54	0.0	0														
2025-09-14 14:00:00	58.56	56.9	6.82	0	11.26	0.0	0														
2025-09-14 15:00:00	56.01	52.2	6.71	0	12.07	0.0	0														
2025-09-14 17:00:00	57.78	51.9	7.1	0	11.87	0.0	0														
2025-09-14 19:00:00	58.65	53.9	6.96	0	11.86	0.0	0														
2025-09-14 21:00:00	55.26	53.9	6.91	0	11.93	0.0	1														
2025-09-14 23:00:00	58.05	58.1	7.51																		



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																	
2025-09-22 09:00:00	56.78	54.2	7.33	0	11.73	0.0	0														
2025-09-22 10:00:00	56.55	53.2	7.38	0	10.43	0.0	0														
2025-09-22 11:00:00	57.6	58.2	7.39	0	10.65	0.0	0														
2025-09-22 12:00:00	55.27	54.4	7.3	0	11.04	0.0	0														
2025-09-22 13:00:00	55.62	57.4	7.42	0	11.71	0.2	0														
2025-09-22 14:00:00	54.55	58.0	7.22	0	11.52	0.0	0														
2025-09-22 15:00:00	55.34	57.0	7.14	0	10.95	0.0	0														
2025-09-22 17:00:00	57.13	55.8	7.47	0	10.73	0.0	0														
2025-09-22 19:00:00	57.28	53.2	7.51	0	11.48	0.0	0														
2025-09-22 21:00:00	56.58	52.6	7.36	0	11.97	0.0	0														
2025-09-22 23:00:00	54.78	54.1	7.29	0	11.8	0.0	0														
2025-09-23 01:00:00	53.26	55.6	7.17	0	11.32	0.0	0														
2025-09-23 03:00:00	56.89	56.2	7.21	0	11.08	0.0	0														
2025-09-23 05:00:00	56.31	56.7	7.2	0	12.01	0.1	1														
2025-09-23 07:00:00	59.55	55.3	7.12	0	11.27	0.1	0														
2025-09-23 09:00:00	56.02	53.0	7.15	0	10.72	0.0	0														
2025-09-23 10:00:00	56.94	53.6	7.14	0	11.72	0.1	1														
2025-09-23 11:00:00	56.57	56.0	7.17	0	11.03	0.0	0														
2025-09-23 12:00:00	56.17	55.4	7.27	0	11.18	0.0	0														
2025-09-23 13:00:00	54.64	55.7	7.34	0	10.97	0.0	0														
2025-09-23 14:00:00	56.53	56.0	7.03	0	11.17	0.1	0														
2025-09-23 15:00:00	58.63	56.3	6.91	0	11.71	0.0	0														
2025-09-23 17:00:00	58.18	55.8	7.03	0	11.38	0.0	0														
2025-09-23 19:00:00	54.29	56.3	6.96	0	11.81	0.0	0														
2025-09-23 21:00:00	55.84	54.7	7.0	0	11.67	0.0	0														
2025-09-23 23:00:00	53.21	57.2	7.19	0	10.67	0.0	0														
2025-09-24 01:00:00	55.49	50.7	6.97	0	11.08	0.0	0														
2025-09-24 03:00:00	54.19	53.9	7.03	0	11.19	0.0	0														
2025-09-24 05:00:00	56.93	55.7	7.13	0	11.91	0.0	0														
2025-09-24 07:00:00	53.74	56.4	6.93	0	10.92	0.2	0														
2025-09-24 09:00:00	55.16	56.0	7.02	0	11.73	0.0	1														
2025-09-24 10:00:00	58.16	54.5	7.51	0	11.07	0.1	0														
2025-09-24 11:00:00	55.25	56.5	7.04	0	10.64	0.0	0														
2025-09-24 12:00:00	53.38	56.2	6.76	0	11.45	0.0	0														
2025-09-24 13:00:00	55.26	53.1	6.93	0	11.65	0.0	2														
2025-09-24 14:00:00	55.21	57.2	6.58	0	12.37	0.0	2														
2025-09-24 15:00:00	51.56	53.9	6.91	0	10.61	0.0	0														
2025-09-24 17:00:00	51.56	55.7	7.09	0	11.56	0.0	0														
2025-09-24 19:00:00	58.35	54.6	6.87	0	12.1	0.1	2														
2025-09-24 21:00:00	55.16	55.0	7.22	0	10.93	0.0	0														
2025-09-24 23:00:00	59.4	56.6	7.22	0	11.14	0.0	0														
2025-09-25 01:00:00	55.55	52.9	6.93	0	12.37	0.0	0														
2025-09-25 03:00:00	55.81	56.9	6.9	0	11.94	0.0	0														
2025-09-25 05:00:00	54.63	54.8	6.75	0	11.63	0.0	0														
2025-09-25 07:00:00	55.43	55.1	6.77	0	12.71	0.0	0														
2025-09-25 09:00:00	54.39	53.1	6.76	0	12.7	0.0	2														
2025-09-25 10:00:00	55.61	55.5	7.1	0	11.32	0.1	2														
2025-09-25 11:00:00	55.06	57.0	7.0	0	12.27	0.0	2														
2025-09-25 12:00:00	57.69	56.0	6.73	0	11.73	0.0	0														

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																	
2025-09-25 12:00:00	57.69	56.0	6.73	0	11.23	0.0	0														
2025-09-25 13:00:00	51.45	55.4	6.92	0	11.99	0.0	0														
2025-09-25 14:00:00	57.06	57.0	6.65	0	11.65	0.2	0														
2025-09-25 15:00:00	57.28	49.6	6.37	0	11.65	0.1	1														
2025-09-25 17:00:00	54.88	53.7	7.01	0	12.1	0.0	1														
2025-09-25 19:00:00	53.76	56.0	6.63	0	11.3	0.0	2														
2025-09-25 21:00:00	53.69	54.7	7.04	0	11.51	0.0	0														
2025-09-25 23:00:00	56.75	58.2	7.08	0	11.98	0.0	0														
2025-09-26 01:00:00	56.41	58.3	6.68	0	12.91	0.0	0														
2025-09-26 03:00:00	54.52	55.2	6.9	0	11.55	0.1	0														
2025-09-26 05:00:00	53.46	54.5	6.63	0	11.92	0.0	0														
2025-09-26 07:00:00	54.92	59.3	6.45	0	12.74	0.0	1														
2025-09-26 09:00:00	56.33	55.2	6.43	0	11.7	0.0	0														
2025-09-26 10:00:00	55.92	56.1	6.43	0	12.37	0.0	0														
2025-09-26 11:00:00	54.7	55.1	6.42	0	12.63	0.0	0														
2025-09-26 12:00:00	56.97	58.4	6.69	0	12.74	0.0	0														
2025-09-26 13:00:00	53.6	53.8	6.29	0	12.89	0.0	0														
2025-09-26 14:00:00	56.14	55.4	6.55	0	12.52	0.0	1														
2025-09-26 15:00:00	56.1	53.5	6.74	0	11.95	0.0	0														
2025-09-26 17:00:00	55.68	53.8	6.33	0	13.03	0.0	1														
2025-09-26 19:00:00	56.56	54.1	6.69	0	11.79	0.0	0														
2025-09-26 21:00:00	54.37	52.2	6.33	0	12.59	0.0	0														
2025-09-26 23:00:00	54.09	52.0	6.2	0	12.26	0.0	0														
2025-09-27 01:00:00	52.79	55.2	6.48	0	12.01	0.0	0														
2025-09-27 03:00:00	53.19	54.4	6.22	0	12.81	0.0	0														
2025-09-27 05:00:00	51.97	55.6	6.47	0	12.09	0.0	0														
2025-09-27 07:00:00	55.39	51.2	6.22	0	12.79	0.0	1														
2025-09-27 09:00:00	54.24	54.7	5.91	0	14.0	0.1	0														
2025-09-27 10:00:00	55.65	56.3	6.2	0	12.84	0.0	0														
2025-09-27 11:00:00	54.99	55.4	6.31	0	12.14	0.0	0														
2025-09-27 12:00:00	56.69	53.5	6.12	0	12.35	0.0	0														
2025-09-27 13:00:00	55.2	54.4	6.11	0	12.63	0.0	0														
2025-09-27 14:00:00	55.24	53.4	6.15	0	12.5	0.0	0														
2025-09-27 15:00:00	54.46	57.2	6.33	0	12.96	0.1	0														
2025-09-27 17:00:00	55.46	58.8	5.81</																		

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																	
2025-10-05 01:00:00	47.4	57.2	4.55	0	14.51	0.0	0	15.15	0.2	0											
2025-10-05 03:00:00	45.37	53.5	4.4	0	14.68	0.0	1	14.68	0.0	1											
2025-10-05 05:00:00	48.03	53.1	4.69	0	14.68	0.0	1	14.68	0.0	1											
2025-10-05 07:00:00	47.44	53.7	4.59	0	14.69	0.1	0	14.69	0.1	0											
2025-10-05 09:00:00	47.6	56.9	4.29	0	14.1	0.0	0	14.1	0.0	0											
2025-10-05 10:00:00	47.34	56.0	4.64	0	13.11	0.2	0	13.11	0.2	0											
2025-10-05 11:00:00	45.19	56.5	4.92	0	14.29	0.0	0	14.29	0.0	0											
2025-10-05 12:00:00	48.31	56.0	4.56	0	14.48	0.0	0	14.48	0.0	0											
2025-10-05 13:00:00	48.11	53.7	4.6	0	14.23	0.0	2	14.23	0.0	2											
2025-10-05 14:00:00	50.35	55.9	4.68	0	14.5	0.0	0	14.5	0.0	0											
2025-10-05 15:00:00	46.6	56.6	4.28	0	14.83	0.0	0	14.83	0.0	0											
2025-10-05 17:00:00	47.35	57.4	4.56	0	14.58	0.0	1	14.58	0.0	1											
2025-10-05 19:00:00	46.75	55.7	4.35	0	15.27	0.0	0	15.27	0.0	0											
2025-10-05 21:00:00	47.72	54.9	4.63	0	14.7	0.0	1	14.7	0.0	1											
2025-10-05 23:00:00	46.06	54.7	4.51	0	14.27	0.1	1	14.27	0.1	1											
2025-10-06 01:00:00	48.25	53.6	4.68	0	14.39	0.0	0	14.39	0.0	0											
2025-10-06 03:00:00	46.76	53.4	4.03	0	15.03	0.0	0	15.03	0.0	0											
2025-10-06 05:00:00	48.27	51.2	4.37	0	14.54	0.0	1	14.54	0.0	1											
2025-10-06 07:00:00	45.55	55.0	4.38	0	14.6	0.0	0	14.6	0.0	0											
2025-10-06 09:00:00	48.66	56.3	3.98	0	15.72	0.0	0	15.72	0.0	0											
2025-10-06 10:00:00	46.17	56.9	4.39	0	14.38	0.2	0	14.38	0.2	0											
2025-10-06 11:00:00	45.39	51.8	3.99	0	14.44	0.0	0	14.44	0.0	0											
2025-10-06 12:00:00	49.01	53.5	4.49	0	14.53	0.2	0	14.53	0.2	0											
2025-10-06 13:00:00	43.97	53.5	4.32	0	14.58	0.0	0	14.58	0.0	0											
2025-10-06 14:00:00	42.8	53.1	4.41	0	14.23	0.0	0	14.23	0.0	0											
2025-10-06 15:00:00	46.72	56.7	4.14	0	14.94	0.0	0	14.94	0.0	0											
2025-10-06 17:00:00	44.44	54.5	4.51	0	14.59	0.0	0	14.59	0.0	0											
2025-10-06 19:00:00	46.26	56.6	4.25	0	15.8	0.2	0	15.8	0.2	0											
2025-10-06 21:00:00	43.89	55.1	4.12	0	15.2	0.0	1	15.2	0.0	1											
2025-10-06 23:00:00	46.7	57.7	4.57	0	14.09	0.0	0	14.09	0.0	0											
2025-10-07 01:00:00	48.41	49.0	4.08	0	14.87	0.1	0	14.87	0.1	0											
2025-10-07 03:00:00	43.27	58.6	3.95	0	16.44	0.0	0	16.44	0.0	0											
2025-10-07 05:00:00	45.41	55.4	4.28	0	14.66	0.0	0	14.66	0.0	0											
2025-10-07 07:00:00	45.03	56.6	3.94	0	15.47	0.0	0	15.47	0.0	0											
2025-10-07 09:00:00	43.43	56.0	4.09	0	15.73	0.2	0	15.73	0.2	0											
2025-10-07 10:00:00	47.43	56.0	3.9	0	14.11	0.1	0	14.11	0.1	0											
2025-10-07 11:00:00	45.1	57.1	4.21	0	13.75	0.0	0	13.75	0.0	0											
2025-10-07 12:00:00	46.86	60.5	4.18	0	14.74	0.0	2	14.74	0.0	2											
2025-10-07 13:00:00	15.65	55.8	4.08	0	15.87	0.1	1	15.87	0.1	1											
2025-10-07 14:00:00	45.78	54.0	3.96	0	14.47	0.2	0	14.47	0.2	0											
2025-10-07 15:00:00	45.91	54.9	4.31	0	13.33	0.2	0	13.33	0.2	0											
2025-10-07 17:00:00	45.94	53.6	3.98	0	15.34	0.1	0	15.34	0.1	0											
2025-10-07 19:00:00	45.18	54.0	4.16	0	14.52	0.0	0	14.52	0.0	0											
2025-10-07 21:00:00	44.67	53.4	4.02	0	15.24	0.0	0	15.24	0.0	0											
2025-10-07 23:00:00	43.71	55.0	3.64	0	15.87	0.0	0	15.87	0.0	0											
2025-10-08 01:00:00	44.58	54.3	4.02	0	14.75	0.1	0	14.75	0.1	0											
2025-10-08 03:00:00	44.75	56.7	3.97	0	15.11	0.0	0	15.11	0.0	0											
2025-10-08 05:00:00	45.73	53.7	3.62	0	16.05	0.0	0	16.05	0.0	0											
2025-10-08 07:00:00	43.72	52.3	3.96	0	15.77	0.0	0	15.77	0.0	0											

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																	
2025-10-08 07:00:00	43.72	52.3	3.96	0	15.27	0.0	0	15.27	0.0	0											
2025-10-08 09:00:00	43.63	54.0	4.12	0	15.98	0.1	0	15.98	0.1	0											
2025-10-08 10:00:00	40.63	56.7	3.72	0	15.29	0.0	0	15.29	0.0	0											
2025-10-08 11:00:00	41.84	55.5	4.01	0	15.35	0.0	0	15.35	0.0	0											
2025-10-08 12:00:00	45.32	55.4	3.85	0	14.47	0.0	0	14.47	0.0	0											
2025-10-08 13:00:00	45.32	56.7	4.07	0	13.92	0.2	1	13.92	0.2	1											
2025-10-08 14:00:00	44.73	54.7	3.46	0	16.27	0.0	0	16.27	0.0	0											
2025-10-08 15:00:00	42.6	55.8	3.86	0	15.36	0.0	0	15.36	0.0	0											
2025-10-08 17:00:00	43.96	55.5	3.95	0	14.58	0.0	0	14.58	0.0	0											
2025-10-08 19:00:00	46.14	50.1	3.7	0	16.49	0.0	0	16.49	0.0	0											
2025-10-08 21:00:00	43.47	57.8	3.8	0	15.57	0.2	0	15.57	0.2	0											
2025-10-08 23:00:00	44.03	56.9	3.98	0	14.44	0.1	0	14.44	0.1	0											
2025-10-09 01:00:00	43.26	55.2	3.21	0	15.84	0.0	0	15.84	0.0	0											
2025-10-09 03:00:00	42.05	53.8	3.56	0	14.94	0.2	1	14.94	0.2	1											
2025-10-09 05:00:00	46.16	56.2	3.51	0	16.51	0.0	2	16.51	0.0	2											
2025-10-09 07:00:00	42.53	54.7	4.0	0	15.93	0.0	0	15.93	0.0	0											
2025-10-09 09:00:00	45.4	55.0	3.6	0	14.76	0.1	0	14.76	0.1	0											
2025-10-09 10:00:00	44.65	56.2	3.8	0	15.89	0.2	0	15.89	0.2	0											
2025-10-09 11:00:00	43.31	52.1	3.61	0	15.38	0.0	0	15.38	0.0	0											
2025-10-09 12:00:00	42.21	50.4	3.55	0	16.09	0.0	0	16.09	0.0	0											
2025-10-09 13:00:00	44.18	53.9	3.45	0	15.87	0.0	0	15.87	0.0	0											
2025-10-09 14:00:00	43.68	52.6	3.32	0	15.24	0.0	1	15.24	0.0	1											
2025-10-09 15:00:00	44.39	54.0	3.58	0	15.78	0.0	0	15.78	0.0	0											
2025-10-09 17:00:00	44.54	54.1	3.62	0	15.9	0.0	0	15.9	0.0	0											
2025-10-09 19:00:00	44.86	55.7	3.44	0	16.41	0.0	0	16.41	0.0	0											
2025-10-09 21:00:00	45.91	56.2	3.34	0	16.09	0.0	2	16.09	0.0	2											
2025-10-09 23:00:00	45.32	57.1	3.39	0	16.05	0.0	1	16.05	0.0	1											
2025-10-10 01:00:00	41.66	56.3	3.28	0	15.65	0.0	0	15.65	0.0	0				</							



**ANEXO N° 7. Análisis de laboratorio del
compost final de la Compostera Inteligente**



INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-44648

N° Id.: 0000185709

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

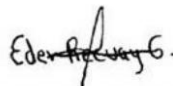
1.- RAZON SOCIAL	: VILCA QUISPE MEELYN LIZBETH
2.- DIRECCIÓN	: San José, Distrito Tiabaya, Arequipa S/N
3.- PROYECTO	: ANALISIS DE COMPOST PARA EL PROYECTO COMPOSTERA INTELIGENTE
4.- PROCEDENCIA	: arequipa
5.- SOLICITANTE	: VILCA QUISPE MEELYN LIZBETH
6.- PRODUCTO	: Fertilizante

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000007147-2025-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	2025-10-27

III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

1.- MUESTREO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
3.- NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
4.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2025-10-14
5.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: En buen estado de conservación y preservación
6.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2025-10-14 al 2025-10-27



Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pág. 1 de 3

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chelaca N° 1877,
Belavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellevista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP. SIOSUR Mz. E Lt. 9,
Arequipa.
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 Lt. 02,
Castilla - Piura.
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 476 130

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29,
Alto Salaverry - Trujillo.
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

 www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-44648

N° Id.: 0000185709

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales ICP-OES - Fertilizantes Organicos	EPA Method 3050 B rev.2, 1996 / EPA Method 200.7, Rev. 4, (Validated - Modified).	Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V, Zn, S. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Solis / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.
Nitrógeno Total	ISO 16634-2: 2016 (Validated - Modified) 2022.	Determination of Total Nitrogen Content by Combustion according to the Dumas Principle.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

"ISO" : International Organization for Standardization

Pág.2 de 3

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chelaca N° 1877,
Belavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt.3,
Bellevista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 Lt. 02,
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

 www.alab.com.pe



INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-44648

N° Id.: 0000185709

V.- RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-25-100541
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				NO APLICA
DESCRIPCIÓN ^(A)				TIABAYA/AREQUIPA
TIPO DE PRODUCTO ^(A)				Compost
SUB TIPO PRODUCTO ^(A)				
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)				14-10-2025 10:30
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)				14-10-2025
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Metales Totales ICP-OES - Fertilizantes Organicos				
Fosforo (**)	% P2O5	0,02	0,06	0,81
Potasio (**)	% K2O	0,010	0,030	1,218
Nitrógeno Total (**)	%	0,30	0,60	1,65

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado
L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Limite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

(A) Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Pág.3 de 3

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chelaca N° 1877,
Belavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt.3,
Bellevista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 Lt. 02,
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

 www.alab.com.pe



INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-44647

N° Id.: 0000185709

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- | | |
|------------------|---|
| 1.- RAZON SOCIAL | : VILCA QUISPE MEELYN LIZBETH |
| 2.- DIRECCIÓN | : San José, Distrito Tiabaya, Arequipa S/N |
| 3.- PROYECTO | : ANALISIS DE COMPOST PARA EL PROYECTO COMPOSTERA INTELIGENTE |
| 4.- PROCEDENCIA | : arequipa |
| 5.- SOLICITANTE | : VILCA QUISPE MEELYN LIZBETH |
| 6.- PRODUCTO | : Fertilizante |

II.- DATOS DEL SERVICIO

- | | |
|----------------------------------|------------------------|
| 1.- ORDEN DE SERVICIO N° | : 0000007147-2025-0000 |
| 2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: | 2025-10-27 |

III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- | | |
|----------------------------|---|
| 1.- MUESTREO POR | : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA |
| 3.- NÚMERO DE MUESTRAS | : 1 |
| 4.- FECHA DE RECEPCIÓN | : 2025-10-14 |
| 5.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN | : En buen estado de conservación y preservación |
| 6.- PERIODO DE ENSAYO | : 2025-10-14 al 2025-10-27 |

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pág. 1 de 3

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chelaca N° 1877,
Belavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3,
Belavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDOSUR Mz. E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 Lt. 02,
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 476 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29,
Alto Solavery - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe



INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-44647

N° Id.: 0000185709

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Relación C/N (Carbono y Nitrógeno)	MVAL-AGR-022. (Validated - Modified)	Calculated by ratio between TOC: NOM-021-RECNAT-2000, AS-07 (Validated Out of Scope) and Nitrogen: ISO 16634-2: 2016	IAS TL-833 CHALACA

Pág.2 de 3

📍 SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1677,
Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

📍 SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zaramilla Mz. D2 L1 3,
Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

📍 SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E L1 9,
Arequipa.
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

📍 SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 L1 02,
Castillo - Piura.
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

📍 SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1 29,
Alto Salaverry - Trujillo.
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

🌐 www.alab.com.pe



INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-44647

N° Id.: 0000185709

V.- RESULTADOS

ITEM	1			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-100541			
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS	NO APLICA			
DESCRIPCIÓN ^(A)	TIABAYA/AREQUIPA			
TIPO DE PRODUCTO ^(A)	Compost			
SUB TIPO PRODUCTO ^(A)				
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)	14-10-2025 10:30			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)	14-10-2025			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Relación C/N (Carbono y Nitrógeno) ²	no unidad	0,2	0,5	28,6

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

^(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Pág.3 de 3

SEDE PRINCIPAL
Av. Guarifa Chávesa N° 1677,
Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 979

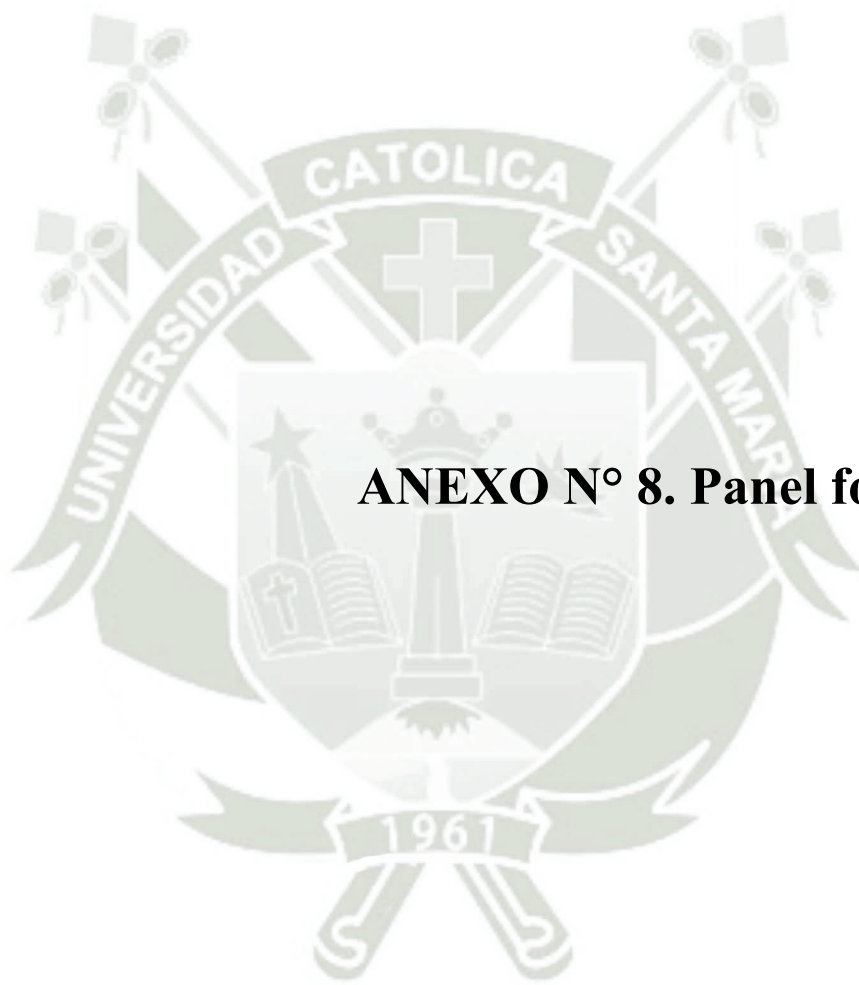
SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zaramilla Mz D2 L13,
Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COCOP SIDSUR Mz. E L1. 9,
Arequipa.
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 L1. 02,
Castillo - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1. 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe



ANEXO N° 8. Panel fotográfico

ÁREA DE COMPOSTAJE EN MAGNOPATA - YANAHUARA

RECURSOS



Estiércol



Residuos de poda



Tierra de chacra

ARMADO DE LAS CAMAS DE COMPOSTAJE



PILAS DE COMPOSTAJE



SEGUIMIENTO DEL COMPOST



Método del puño

Riego



Degradación de los insumos



Registro del pH y humedad



Registro de temperatura

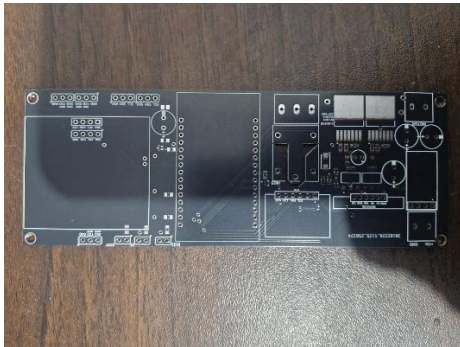
FASE DE MADURACIÓN DEL COMPOST



Fase final del compost

COMPOSTERA INTELIGENTE

COMPONENTES ELECTRONICOS Y MECANICOS



Placa impresa



Componentes del electrónicos



Soporte mecánico



Ventana de compostera



Puerta de ingreso de los materiales

COMPONENTES ELECTRÓNICOS DE LA COMPOSTERA



Sistema electrónico



Kit Solar



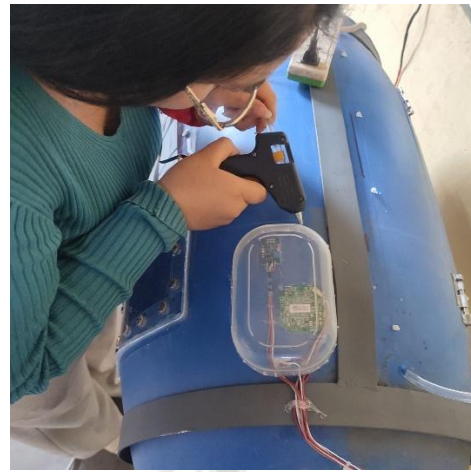
Sistema de riego



Sistema electrónico integrado al contenedor



Intervención humana para integrar el sistema de riego



Intervención para la protección de los componentes

COMPOSTERA INTELIGENTE



Vista frontal



Vista posterior



Paletas mecánicas internas

TRITURACIÓN Y PESADO DE RESIDUOS



Trituración de los residuos orgánicos



Residuos de cocina



Residuos vegetales con almidón



Residuos vegetales frescos



Restos de poda

INGRESO DE RESIDUOS EN LA COMPOSTERA INTELIGENTE



Incorporación de residuos de poda



Integración de residuos de cocina



Integración de residuos con almidón



Incorporación de residuos vegetales frescos



Degradación de residuos orgánicos

PLATAFORMA IOT



Registro de datos en tiempo real



Almacenamiento de datos

OBTENCIÓN DE COMPOST DE LA COMPOSTERA INTELIGENTE



Etapas de maduración del compost



Producto final del compostaje



Proceso de cernido



Cernido del compost



Muestra del compost