

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



**Gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos diseñando una
planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba, Arequipa 2025**

Tesis presentada por la Bachiller:
Navarrete Valdivia, Maricarmen

ORCID: 0009-0000-4007-5099

para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor (a):

Mg. Benegas Llanos, Rosario Carolina

ORCID: 0000-0002-1728-4949

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 04 de Diciembre del 2025

Dictamen: 013601-C-EPIA-2025

Visto el borrador del expediente 013601, presentado por:

2017802152 - NAVARRETE VALDIVIA MARICARMEN

Titulado:

**GESTIÓN SOSTENIBLE DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DISEÑANDO UNA PLANTA
DE COMPOSTAJE EN EL DISTRITO DE YARABAMBA, AREQUIPA 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO AMBIENTAL

**43297964 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**29519918 - BEJARANO MEZA MARIA ELIZABETH
DICTAMINADOR**



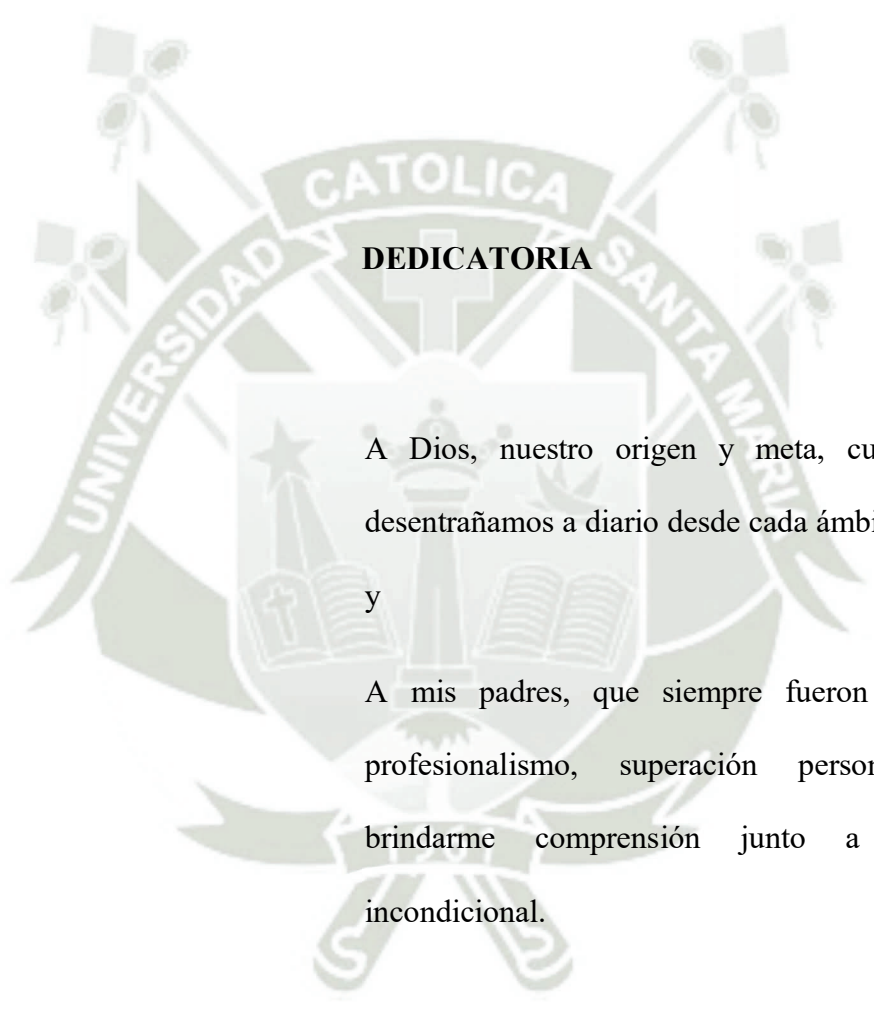
Gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos diseñando una planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba, Arequipa 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	16%	12%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
7	dominiodelasciencias.com Fuente de Internet	<1 %
8	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %



DEDICATORIA

A Dios, nuestro origen y meta, cuya sabiduría
desentrañamos a diario desde cada ámbito de la vida,
y

A mis padres, que siempre fueron ejemplo de
profesionalismo, superación personal y por
brindarme comprensión junto a su apoyo
incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A todo el Equipo Docente y Administrativo de la Universidad Católica de Santa María – Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental que con vocación y dedicación ejecutan una formación profesional para tantas generaciones de jóvenes.

A los directivos de la Municipalidad Distrital de Yarabamba, al Gerente de Medio Ambiente el Ing. Jonathan Durand y al Ing. Alonso Pérez que me apoyaron en el proceso de estudio de campo y en la propuesta de planta de compostaje.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue diseñar una planta de compostaje para la gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos en el Distrito de Yarabamba – Arequipa 2025. Se trata de una investigación de enfoque cuantitativo, tipo básico, nivel descriptivo y diseño no experimental. La información se recabó de fuente primaria y secundaria con las técnicas del análisis documental y los instrumentos fichas de análisis. La Municipalidad de Yarabamba posee unas pozas de compostaje provisionales y bastante limitados. El material orgánico se recoge una vez por semana de cocinas y jardines domésticos, restaurantes, establecimientos comerciales, instituciones y espacios públicos, el cual, se deposita de manera indiscriminada en el botadero de la ciudad. Son 1352 familias que generan un promedio de 0.360 kgs de residuos por día, de los cuales el 62% es material orgánico dando como resultado la producción de 2264.32 kgs de residuos orgánicos diarios. El compost que actualmente se produce es rico en algunos componentes y deficiente y hasta dañino en otros por falta de adecuado tratamiento. Atendiendo a la mencionada situación se ha diseñado una planta que compostaje en un área de 1222.56 m² con la construcción de espacios adecuados para el tratamiento de los residuos orgánicos, se implementará herramientas y maquinarias con un costo económico de s/ 257600.00. Además, se ampliará la recolección de residuos orgánicos y se ofrecerá un tratamiento técnico de los residuos para su adecuada maduración. El impacto ambiental del proyecto se ha medido utilizando la Matriz Conesa que hace uso de la apreciación objetiva de expertos en todas las fases del proyecto que son construcción, funcionamiento y cierre. En el funcionamiento de la planta se tiene en cuenta la sostenibilidad económica porque ofrece superávits económicos a la municipalidad, tiene sostenibilidad social porque genera fuentes de trabajo y sobre todo ayuda a la conformación

de una cultura del buen uso de los recursos naturales y favorece plenamente a la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: planta de compostaje, residuos orgánicos, sostenibilidad ambiental.



ABSTRACT

The objective of this research was to design a composting plant for the sustainable management of organic waste in the Yarabamba District of Arequipa, Peru, by 2025. This is a quantitative, basic, descriptive, and non-experimental study. Data was collected from primary and secondary sources using document analysis techniques and analysis sheets. The Municipality of Yarabamba has only a few temporary and quite limited composting pits. Organic material is collected once a week from kitchens and gardens, restaurants, commercial establishments, institutions, and public spaces, and is indiscriminately deposited in the city's landfill. There are 1,352 families that generate an average of 0.360 kg of waste per day, of which 62% is organic material, resulting in the production of 2,264.32 kg of organic waste daily. The compost currently produced is rich in some components and deficient, or even harmful, in others due to a lack of proper treatment. In response to the aforementioned situation, a composting plant has been designed for an area of 1222.56 m². This includes the construction of suitable spaces for the treatment of organic waste, and the implementation of tools and machinery at a cost of S/ 257,600.00. Furthermore, the collection of organic waste will be expanded, and technical treatment of the waste will be offered to ensure its proper maturation. The environmental impact of the project has been measured using the Conesa Matrix, which incorporates the objective assessment of experts at all phases of the project: construction, operation, and closure. The plant's operation takes into account economic sustainability, as it generates revenue surpluses for the municipality; social sustainability, as it creates jobs; and, above all, its contribution to fostering a culture of responsible natural resource use and its full environmental sustainability.

Keywords: composting plant, organic waste, environmental sustainability.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I..... 3

1. Planteamiento del problema 3

1.1. Problemática de la investigación 3

1.2. Justificación 6

1.3. Objetivos de la investigación..... 8

CAPÍTULO II..... 9

2. Fundamento teórico..... 9

2.1. Antecedentes de la investigación..... 9

2.2. Marco teórico 22

2.2.1. Gestión sostenible..... 22

2.2.1.1. Definición de gestión sostenible 22

2.2.1.2. Definición de las dimensiones de desarrollo sostenible..... 24

2.2.1.3. Objetivo del desarrollo sostenible 25

2.2.1.4. Desarrollo sostenible y práctica de economía circular..... 26

2.2.1.5. Historia de la Gestión Sostenible 27

2.2.1.6. Objetivo de la sostenibilidad..... 27

2.2.1.7. Procedimiento para una adecuada gestión sostenible 28

2.2.1.8. Estrategias de Sostenibilidad 30

2.2.1.9. Teorías de la Sostenibilidad..... 31

2.2.1.10. Beneficios de la Gestión Sostenible 32

2.2.2. Residuos Sólidos..... 33

2.2.2.1. Definición de residuos sólidos. 33

2.2.2.2. Residuos sólidos orgánicos..... 34

2.2.2.3. Residuos orgánicos o residuos biodegradables 35

2.2.2.4 Importancia de la gestión de residuos sólidos urbanos 35

2.2.2.5. Aportes de los residuos sólidos agrícolas al medio ambiente..... 35

2.2.2.6. Impacto medio ambiental del mal manejo de los residuos..... 36

2.2.3. El compostaje.....	36
2.2.3.1. Definición de compost.....	36
2.2.3.2. Inicio del uso técnico del compost.....	37
2.2.3.3. Beneficios del Compost para el suelo y para las plantas.....	38
2.2.3.4. Planta de compostaje.....	40
2.2.3.5. Proceso de tratamiento de los residuos orgánicos (dimensiones).	41
2.2.3.6. Partes de la planta de compostaje.....	47
2.2.3.7. Componentes químicos necesarios en el compostaje.....	48
2.2.3.8. Fases del compostaje.....	49
2.2.3.9. Beneficios del compostaje.....	53
2.3. Marco legal.....	53
CAPÍTULO III.....	57
3. Metodología propuesta.....	57
3.1. Tipo y nivel de la investigación.....	57
3.1.1. Tipo de investigación.....	57
3.1.2. Nivel de investigación.....	57
3.1.3. Enfoque de investigación.....	58
3.1.4. Diseño de investigación.....	58
3.2. Población y muestra.....	59
3.3. Contexto del estudio.....	60
3.3. Técnicas, instrumentos y fuente de recolección de información.....	61
3.3.1. Técnica.....	62
3.3.2. Instrumentos.....	62
3.3.3. Fuente de información.....	64
3.4. Operacionalización de las variables.....	65
3.5. Métodos de la investigación.....	68
3.6. Procedimientos de obtención de información.....	78
CAPÍTULO IV.....	80
4. Resultados y discusión.....	80
4.1 Resultados para el objetivo específico 1.....	80
4.2. Resultados para el objetivo específico 2.....	97
4.3. Resultados para el objetivo específico 3.....	116
4.3.1. Matriz de Conesa aplicada al tratamiento de residuos orgánicos.	116
4.3.2. Estrategia de detección de riesgos e impactos.....	141

4.4. Resultados para el objetivo específico 4	149
4.4.1. Propuesta de sostenibilidad económica.	150
4.4.2. Propuesta de sostenibilidad social.....	153
4.4.3. Propuesta de sostenibilidad ambiental.....	155
4.5 Discusión de los resultados	158
CAPÍTULO V.....	166
5. Conclusiones y recomendaciones.....	166
5.1. Conclusiones.....	166
5.2. Recomendaciones.....	168
REFERENCIAS.....	169



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01 Diferencias entre el compostaje a campo abierto y a campo cerrado.....	44
Tabla 02 Variables de control de calidad del compost según FAO Y NTP.....	59
Tabla 03 Población de estudio	59
Tabla 04 Operacionalización de variables	65
Tabla 05 Formato de recogida de información de SIGERSOL.	69
Tabla 06 Formato de caracterización de los residuos sólidos orgánicos	70
Tabla 07 Formato para el análisis biológico-químico del fertilizante orgánico.	71
Tabla 08 Esquema de actividades de la fase de operación	73
Tabla 09 Esquema para la identificación de factores ambientales	73
Tabla 10 Formato para las actividades de identificación de factores ambientales	74
Tabla 11 Esquema para la evaluación de las diversas fases del proceso.	75
Tabla 12 Esquema de requerimientos y costos de la planta de compostaje	76
Tabla 13 Esquema de los costos económicos de la capacitación de estudiantes y familias.....	77
Tabla 14 Sistema de información de recojo de residuos sólidos (SIGERSOL) Yarabamba 2023 y 2024.....	84
Tabla 15 Caracterización de los residuos sólidos orgánicos de la Municipalidad de Yarabamba.....	86
Tabla 16 Análisis físico-químico del fertilizante orgánico (compost) de la Municipalidad de Yarabamba.....	93
Tabla 17 Requerimientos básicos de la planta de compostaje.	114
Tabla 18 Proceso de ejecución del proyecto	115
Tabla 19 Actividades de la fase de diagnóstico y diseño de la planta de compostaje ..	117
Tabla 20 Actividades de la fase de construcción e implementación	118
Tabla 21 Actividades de la fase de operación	119
Tabla 22 Actividades de la fase de cierre.....	121
Tabla 23 Actividades de identificación de factores ambientales	122
Tabla 24 Criterios de calificación del impacto	124
Tabla 25 Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección al aire.	127
Tabla 26 Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección al agua.....	129
Tabla 27 Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección al suelo.....	131
Tabla 28 Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección a la flora.	133

Tabla 29 Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección a la fauna.....	135
Tabla 30 Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección a la salud humana.....	137
Tabla 31 Análisis prioritario de los puntajes más altos de impacto contra la gestión sostenible.....	139
Tabla 32 Plan de contingencias de la planta de compostaje.....	145
Tabla 33 Requerimientos y costos de la planta de compostaje.....	150
Tabla 34 Costos económicos de la capacitación de estudiantes y familias.....	154



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 Procedimientos para una adecuada gestión sostenible.....	28
Figura 02 Compostaje a campo abierto y a campo cerrado.....	45
Figura 03 Fases del compostaje.....	50
Figura 04 Mapa De Ubicación Del Distrito De Yarabamba.....	60
Figura 05 Vista de ubicación de la planta.....	61
Figura 06 Ocho pozas de compostaje.	81
Figura 07 Pozas de compostaje con depósito de agua.....	81
Figura 08 Vivero municipal descuidado.....	82
Figura 09 Botadero de Quebrada Honda con residuos orgánicos e inorgánicos.	83
Figura 10 Generación de residuos sólidos per cápita diarios en el Distrito de Yarabamba.....	89
Figura 11 Proporción de residuos orgánicos en los residuos domiciliarios del Distrito de Yarabamba.....	90
Figura 12 Proporción de los residuos orgánicos en los residuos no domiciliarios.	91
Figura 13 Proporción de los residuos orgánicos en los residuos totales del Distrito de Yarabamba.....	92
Figura 14 Plano de ubicación de la planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba.	100
Figura 15 Diseño de la planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba – primer nivel.	101
Figura 16 Diseño de la planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba – segundo nivel.	102
Figura 17 Planta de compostaje en 3D desde una vista aérea.....	103
Figura 18 Diagrama de flujo de la producción de compost.....	106
Figura 19 Recolección de residuos orgánicos.	107
Figura 20 Máquina trituradora de ramas y maderas.....	108
Figura 21 Lona plastificada para cubrir el material en proceso de descomposición	109
Figura 22 Máquina volteadora de compost autopulsado.....	111
Figura 23 Báscula electrónica industrial de 100 kgs de capacidad.	113
Figura 24 Gestión sostenible.....	149

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 01</i> Solicitud y respuesta de documento de caracterización de los residuos orgánicos	178
<i>Anexo 02</i> Matriz de consistencia	179
<i>Anexo 03</i> Evidencias fotográficas del compostaje que se realiza en el Distrito de Yarabamba	182



INTRODUCCIÓN

La población se incrementa, también se multiplican las actividades domésticas, económicas y de las instituciones privadas y públicas con diversas consecuencias, una de las cuales es la generación progresiva de residuos orgánicos e inorgánicos traducido en miles de toneladas diarias, el cual, cuestiona la capacidad organizativa de los gobiernos locales, regionales y nacionales. En muchos casos se recurre a la solución fácil de crear botaderos y quemarlos con las consecuencias de despreciar la segunda utilidad de los residuos, continuar con la tradicional economía lineal de extraer-producir-utilizar-desechar, favorece la emisión de óxidos de carbono y de metano, favorece el efecto invernadero, contamina el suelo y las aguas subterráneas, satura los rellenos sanitarios, desaprovecha los recursos, genera impactos contra la salud humana y provocar conflictos sociales (Díaz et al., 2011).

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018) indica que el aprovechamiento de los residuos orgánicos contribuye a la reducción de los gases de efecto invernadero gracias a la descomposición aeróbica, favorece la mejora de suelos y la recuperación de otros generando fertilizantes naturales y productos saludables, promueve la economía circular mediante la reutilización de residuos, favorece la salud pública reduciendo los malos olores y la proliferación de vectores, propicia la conciencia ambiental. Todo esto va en la dirección de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y más específicamente el objetivo 11 de ciudades sostenibles, el objetivo 12 de producción y consumo responsable y el objetivo 13 de acción por el clima en el planeta (ONU, 2015).

El problema expuesto es actual y se está dando en muchos gobiernos locales de Arequipa, es así que se planteó el objetivo de diseñar una planta de compostaje para la gestión

sostenible de tratamiento de residuos orgánicos en el Distrito de Yarabamba – Arequipa 2025. Para cumplir este objetivo se ha planteado los siguientes pasos:

Capítulo I: Planteamiento del problema. Se plantea la rápida emergencia de los residuos orgánicos y la dificultad de los gobiernos locales para gestionarlo adecuadamente, unos de los cuales es el Gobierno Municipal de Yarabamba. El problema se plantea en forma de interrogantes, objetivos y con su debida justificación.

Capítulo II: Fundamento teórico. El tema de estudio es actual, pero tiene antecedentes de investigación en diversos tanto a nivel local, nacional e internacional. En este capítulo se da a conocer los antecedentes y la teoría acerca de cada uno de las variables y sus respectivas dimensiones.

Capítulo III: Metodología. Se precisa que la investigación es cuantitativa, descriptivo propositiva, no experimental. La información se recabó de fuente secundaria con la técnica del análisis documental y con los instrumentos de fichas de análisis.

Capítulo IV: Resultados. Se presenta los resultados para cada uno de los objetivos comenzando por el diagnóstico del tratamiento de los residuos orgánicos, la propuesta de diseño de planta de compostaje, el análisis de impacto ambiental y los procedimientos de gestión sostenible.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones. Se ofrece las conclusiones conforme a la exigencia de los objetivos y se ofrece recomendaciones prácticas. También se presenta las referencias bibliográficas que respaldan la información teórica expuesta.

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1. Problemática de la investigación

La actividad del compostaje es un asunto reconocido a nivel global y nacional desde el año 1963 porque es una excelente estrategia de tratamiento de residuos orgánicos y una buena fuente de obtención de fertilizante natural para el cultivo agrícola o para la jardinería, por tanto, también se convierte en un proyecto de inversión con buenos réditos económicos (Fajardo & Sosa, 2021).

La sociedad en general aún no ha comprendido la importancia y los beneficios que ofrece el compostaje por desconocimiento del proceso de compostaje, de las condiciones estructurales y laborales que esto implica, por esta razón, algunos gobiernos locales no optan decididamente a favor de la industrialización de los residuos orgánicos, hay poco apoyo a los emprendimientos relacionados con el compostaje y se genera potenciales focos infecciosos debido a la presencia de insectos y roedores.

Debido al inadecuado manejo de residuos sólidos que se ha presentado a lo largo de los años. Es imperiosa la necesidad de entablar una interacción sustentable entre el desmedido aumento de la población, la cultura consumista y la demanda disparatada de los recursos naturales (Pereira, 2016). Algunas de las razones de este descuido generalizado son el desconocimiento acerca de la utilidad de los residuos, la falta de conciencia del progresivo incremento de los residuos sólidos y la existencia de legislaciones demasiado exigentes y que perpetúan los procedimientos burocráticos. Aún así, en esta investigación, se considera que es viable el tratamiento y el reuso de los residuos sólidos orgánicos.

Es altamente perjudicial la visión negativa de los residuos sólidos orgánicos, esto conduce a la creación de inmensos montículos que dan mal aspecto y se convierten en grandes focos infecciosos por la presencia de insectos, roedores, emisión de carbono y otros elementos contaminantes del aire. Por otra parte, ante la falta de fertilizantes naturales para la labor agrícola y hortícola se seguirá produciendo fertilizantes químicos a costa de la sobre utilización de los recursos naturales, la desertificación del planeta y, finalmente, en grave perjuicio a la salud humana (MINAM, 2021). Todo esto contribuye a agotar los recursos del planeta, es una búsqueda de bienestar económico y social que indudablemente tendrá grandes y graves costes a mediano y largo plazo, es algo que va absolutamente en sentido contrario a la gestión sostenible de los recursos.

Por las razones indicadas se ha decidido realizar esta investigación de gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos implementando una planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba. La investigación responde a la siguiente interrogante: ¿Es posible diseñar una planta de compostaje para la gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos en el Distrito de Yarabamba – Arequipa 2025?

Este proyecto de investigación es relevante en los siguientes aspectos:

Relevancia a nivel global. - Según el Banco Mundial (2018) se produce 17 mil millones de toneladas anuales de residuos sólidos, esto se incrementará a 27 mil millones de toneladas anuales para el 2050. Esto quiere decir que el incremento es bastante alto y que su descuido puede derivar en suciedad, contaminación y enfermedades. No obstante, el informe del estado actual de la gestión de los residuos sólidos municipales en el Perú (2010-2011) indica que se genera por día 20 000 toneladas de residuos sólidos. Los habitantes de la costa son los que producen la mayor cantidad de residuos en el Perú (Ortega y Torres, 2016). En el Perú una persona genera diariamente 0.58 kg de los cuales

el 57.5% son residuos orgánicos (MINAM, 2021). Y esto hace que los GEI aumente dañando y perjudicando al planeta tierra donde habitamos al igual que provocando daños a la salud por una mala gestión de los residuos sólidos que se producen dentro de ellos los orgánicos que pueden ser valorizados, ya que si recuperamos los residuos orgánicos, los valorizamos evitamos que terminen en rellenos sanitarios y por ende estamos evitando que se genere metano haciendo valorización que contribuye a su vez a reducir los GEI y combatir el cambio climático. La Organización de las Naciones Unidas informa que, casi diez mil millones de toneladas de residuos anuales se generan en todas las ciudades y se recolectan menos de la mitad además solo se recuperan el 20 % para la elaboración de compost y reciclaje (Banco Mundial, 2018).

Relevancia a nivel nacional. En 2002, se generaron a nivel nacional 12,986 t/día de residuos sólidos municipales en el país; solo el 73,7% se recolectó y el 19,7% se dispuso en rellenos sanitarios, causando problemas de sanidad pública y contaminación ambiental, informa el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2016).

Relevancia a nivel regional. En la ciudad de Arequipa el botadero de Quebrada Honda (efectos contaminación paisajística) se encuentra en problemas debido a su mala gestión que está teniendo. Como producto que este tenga que ser reconvertido puesto que su capacidad útil se encuentra llena, este es un problema que se suscitó debido a que la mayoría de municipalidades de Arequipa llevan sus R.S. a este lugar incluida la Municipalidad Distrital de Yarabamba.

Relevancia a nivel puntual. El Distrito de Yarabamba cuenta con áreas verdes considerables además de ello el 50% aproximadamente de los pobladores se dedican a la agricultura y ese es uno de los puntos más destacables, además presenta una larga distancia para llevar sus residuos hasta Quebrada Honda lo cual demanda tiempo y mano

de obra. Debemos tener en cuenta que la cultura medioambiental de las personas aún es pobre al igual que la aplicación de tecnologías limpias que muchas veces es por falta económica y termina provocando este grave problema a una escala mayor, siendo depositados en lugares mal controlados o no controlados. (MINAM, 2021).

1.2. Justificación

Ambiental: Como sabemos actualmente la población está aumentando lo que a su vez provoca que se genere mayor cantidad de residuos tanto orgánicos como inorgánicos los cuales al almacenarse en lugares que no están acondicionados adecuadamente provocan la contaminación de suelo ya que en algunos de estos puntos críticos se producen lixiviados de igual forma la contaminación de agua por estos lixiviados que suelen infiltrarse a las aguas subterráneas y también se da la contaminación del aire debido a la emisión de distintos gases dentro de ellos el metano o el carbono debido a la quema de residuos, ambos son nocivos para la capa de ozono. En el distrito de Yarabamba con esta planta de tratamiento de residuos orgánicos se quiere minimizar el impacto de los residuos orgánicos al igual que la contaminación de suelo, agua, aire.

Social: Respecto al ámbito social cabe destacar que la cultura Medio Ambiental aun es pobre tanto a nivel de Departamento como a nivel del distrito de Yarabamba, mas este es un punto sumamente importante ya que el ser humano cambiando sus acciones puede lograr un cambio, por ejemplo, esto se ve desde algo simple como botar la cascara de mandarina a la calle y contaminar, o por ejemplo como botar la cascara de mandarina en un tacho de basura adecuado que llevara ese residuo a ser valorizado.

Este plan de diseño de planta de compostaje permitirá que desde el Distrito de Yarabamba se avance en la ejecución de los objetivos de desarrollo sostenible que el Perú ha firmado en el plano internacional en vistas de favorecer el desarrollo reutilizando los residuos y

evitando recurrir al uso de elementos químicos que no sólo dañan el suelo, sino también la producción agrícola que se consume en las ciudades.

Económica: En general es muy importante un buen manejo de los residuos sólidos para evitar problemas presentes y futuros. Por ello el implementar una planta de compostaje en la municipalidad de Yarabamba ayudará a minimizar los residuos orgánicos que van a dar al botadero de Quebrada Honda teniendo así un ahorro en el pago mensual ya que se disminuirán las toneladas de residuos que van al botadero de Quebrada Honda. No obstante, cabe resaltar, un punto fundamental es tener una adecuada planta de compostaje para el manejo adecuado de residuos sólidos orgánicos, mediante la cual la Municipalidad de Yarabamba podrá optimizar los recursos económicos con el uso de compost para la jardinería del distrito o para la venta a los particulares. Asimismo, con esta importante labor, la municipalidad podrá ganar el Programa de Incentivos (PI) a la mejora de la Gestión Municipal.

Institucional: En este punto el implementar una planta de residuos sólidos orgánicos en el distrito de Yarabamba será beneficioso tanto para las familias del distrito como de la municipalidad ya que a su vez impulsara con mayor porcentaje de eficiencia que se logre ganar el compromiso 3 de “Implementación de un Sistema Integrado de Residuos Sólidos Sostenible” del MINAM (Ministerio del Ambiente) en coordinación del MEF (Ministerio de Economía y Finanzas), además de ello que sería una de las pocas plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Arequipa y contribuirá a disminuir los residuos orgánicos del distrito ya que estos se valorizaran.

Técnica: Se conoce como compostaje a la acción de utilizar desechos orgánicos para que estos sean convertidos en compost, que es un fertilizante natural para las cosechas aportan elementos nutritivos proporcionan nutrientes. El tema del compostaje que actualmente

apenas empiezan a ganar poco a poco fuerza y a convertirse en algo utilizando como una de las estrategias para reducir la cantidad de desechos orgánicos que se generan, se realizan diariamente en todo el mundo y se obtiene un beneficio de las técnicas, el cual es el abono (Fajardo & Sosa, 2021).

Metodológica: El diseño del modelo de compostaje para el Distrito de Yarabamba será un modelo que en gran medida puede servir de referencia para ser replicado por otras investigaciones de tesis o adaptado por las municipalidades para crear su propia planta de compostaje, dado que el común de las municipalidades es carecer de una planta de tratamiento de los residuos orgánicos o sufren de exceso de material orgánico. En este contexto, muchos recurren a la quema indiscriminada de residuos, lo cual perjudica a la sociedad y al medioambiente.

1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo general:

"Diseñar la infraestructura técnica y operativa de una planta de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos en el distrito de Yarabamba – Arequipa 2025, integrando el modelado digital y la planificación para su gestión sostenible."

Objetivos específicos:

- 1.-. Evaluar la caracterización de los residuos orgánicos generados en el distrito de Yarabamba 2020-2024.
- 2.- Diseñar la planta de compostaje utilizando la plataforma de modelado 3D en un software informático.
- 3.- Determinar los impactos ambientales del proyecto de compostaje.
- 4.- Elaborar los procedimientos para una adecuada gestión sostenible.

CAPÍTULO II

2. Fundamento teórico

2.1. *Antecedentes de la investigación*

En seguida se presenta los antecedentes internacionales, nacionales y locales respecto al tema de investigación.

Oviedo-Ruiz et al. (2021) en Bogotá realizaron una investigación de artículo científico sobre la basura como alimento para la tierra mediante el aprovechamiento ecológico integral de residuos sólidos orgánicos. El objetivo fue determinar la utilidad del compost a base de materia orgánica cruda y viruta de madera. Fue una investigación cuantitativa, longitudinal y experimental. La técnica utilizada fue la observación con el instrumento guía de observación. Resultados: para el experimento se recolectó 1525 kg de materia orgánica cruda y 610 kg de viruta de madera.

El material se depositó en camas y se le dio el tratamiento de volteado y mojado. El compost ideal se obtuvo en un periodo de 61 días. La bondad del material orgánico se comprobó utilizándolo en una huerta comunitaria, lo cual, permitió el pronto crecimiento y producción de hortalizas, tubérculos, plantas hornamentales y aromáticas. El producto fue validado y verificado por los campesinos de la comunidad y por los profesionales de agricultura porque contienen macronutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo, y micronutrientes como hierro, manganeso, cobre y zinc, y metales pesados como cromo, cadmio, plomo y níquel.

Ubillús-Farfán et al. (2024) realizaron una investigación de artículo de revisión literaria sobre las estrategias aplicadas en la gestión de residuos sólidos en Latinoamérica. El objetivo fue conocer las estrategias que hasta ahora se han aplicado en la gestión de residuos sólidos en las investigaciones de latinoamérica. Es una investigación cualitativa,

de fuente secundaria, de revisión documental. Se revisó 24 artículos con antigüedad menor a 5 años, procedentes de revistas como Scopus, Scielo, Web of Science y Proquest, se halló los siguientes resultados: se aplica las estrategias de implementar políticas públicas para la preservación del medio ambiente, se impulsa la colaboración entre el sector privado y público, se incentiva la producción de energía mediante la combustión de residuos sólidos, recolección de residuos sólidos mediante sistemas automatizados y selectivos, creación de plantas de compostaje y de reciclaje de residuos sólidos, implementación de políticas públicas favorables al medio ambiente, creación de cultura ambiental y de gestión de residuos sólidos, creación de cooperativas formales e informales para el reciclaje y se crea conciencia de producir menos residuos sólidos.

Dávila et al. (2024) realizaron la investigación de artículo científico acerca de la gestión de residuos sólidos y sostenibilidad ambiental en la ciudad de Lambayeque. El objetivo fue analizar la sostenibilidad ambiental y la gestión de residuos. Fue una investigación cualitativa que con motivo de la reflexión de autoridades y ciudadanía sobre la agenda de avances y retos de gestión ambiental y desastres se recabó información importante con las técnicas de entrevista y revisión documental de 33 documentos publicados en reconocidas revistas. Resultados: se requiere mayor financiamiento estatal para la gestión ambiental, debe haber un centro piloto municipal para el acopio de residuos, formalización de personas naturales y asociadas para el reciclaje, generación de una mejor cultura de gestión y manejo de residuos mediante programas de sensibilización, el MINAM debe asumir un papel protagónico en la gestión de residuos.

Arellano et al. (2023) realizaron una investigación titulada “Compost obtained from organic waste in the city of Lima, 2022” con el objetivo de conocer la calidad de la práctica del compostaje en base a los residuos orgánicos producidos por los ambulantes

y las familias en la ciudad de Lima. Fue una investigación descriptiva y no experimental. se descubrió que los residuos inadecuadamente gestionados tienen un impacto negativo en el suelo y se convierte en potencial de riesgo sanitario. En respuesta a este problema una empresa recolecta los residuos y realiza el tratamiento de compostaje obteniendo fertilizante natural de calidad en relación a los parámetros dados por la Organización Mundial de la Salud y con la normativa chilena respetando los procesos, los límites adecuados de humedad, ph, temperatura y otras características físico químicas. Este hallazgo va en coherencia con otros hallazgos obtenidos en investigaciones realizadas en el Perú.

Manea et al. (2024) realizaron una investigación de artículo científico que titula “Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: current practices and potential improvements”, el objetivo fue abordar la brecha de la investigación para la optimización del proceso de compostaje ya que con innovaciones en conocimientos, técnicas y tecnologías es posible llegar a una mejor eficiencia en el proceso de compostaje. La investigación fue descriptiva exploratoria de revisión sistemática. Mediante el Google Scholar y Scopus se pudo identificar 173 artículos científicos publicados entre los años 2021, 2022 y 2023 que pasaron por un análisis mediante la metodología PRISMA. Resultados: los residuos orgánicos provienen principalmente de la jardinería y de los hogares residenciales y comerciales, entre estos hay papel, cartón, plantas, telas biodegradables, plásticos biodegradables, periódicos, cuadernos, libros, trozos de madera, viruta de madera, algodón, seda, estiércol humano y de animales con altos contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zing, azufre, boro, manganeso y cobre. Estos residuos son en su mayor parte biodegradables que son susceptibles al tratamiento recuperativo mediante para pasar a la economía circular y la reducción de las emisiones de gases contaminantes. El proceso de

descomposición se da gracias a la acción termófila que puede oscilar entre 45° y 80°. En este contexto de altas temperaturas se inmunizan y desinfectan las semillas, malezas y microorganismos. Hay adecuada disposición de material orgánico cuando hay altas concentraciones de nitratos y de sustancias húmicas. Mediante la compostería los residuos de las prácticas de jardinería y de los servicios domésticos entran en el proceso de gestión sostenible, se contribuye al enriquecimiento de los suelos, a la producción de alimentos y de la ornamentación y con ello transiciona hacia la economía circular. Sin embargo, el proceso de compostaje también requiere de una regulación legislativa básica orientada a la sostenibilidad.

Policastro & Cesaro (2023) hicieron la investigación de artículo científico titulado “Composting of Organic SolidWaste of Municipal Origin: The Role of Research in Enhancing Its Sustainability” con el objetivo de conocer el papel que cumple la investigación para la calidad del compost y para la sostenibilidad del proceso de compostaje de residuos orgánicos. La investigación es de tipo descriptiva exploratoria y no experimental. Esta investigación es de revisión sistemática, por eso, se revisó 68 artículos científicos con la metodología PRISMA. Resultados: las investigaciones experimentales y no experimentales cumplieron un papel decisivo para la mejora de la calidad del compostaje y la sostenibilidad de la misma. Las investigaciones por sí solas llegan a lectores de diversos contextos, son replicables y permiten confirmar la eficacia de las diversas estrategias de compostaje. Las investigaciones son medios de innovación por excelencia en el campo de la generación de compost para el tratamiento de los residuos orgánicos, no sólo permite conocer los beneficios industriales, sino también los cambios que internamente se operan en el proceso de compostaje y que se pueden observar y medir como parte del proceso de compostaje.

En Brasil, Gouveia & Freitas (2024) realizaron una investigación de artículo científico titulado “O uso da compostagem na educação ambiental: uma alternativa para redução do descarte de resíduos orgânicos” con el objetivo de conocer el uso del compostaje como una estrategia de educación ambiental. Fue una investigación descriptiva, explicativa y experimental. Se pone a consideración que el compostaje es una práctica milenaria que tiene como finalidad transformar los residuos orgánicos en un elemento útil para la mejora de los suelos y que también es un buen medio para ofrecer educación ambiental. La mayoría de veces los residuos sólidos son descartados de manera inapropiada o colocados de manera inapropiada, esto perjudica la vida útil de los rellenos sanitarios y provoca irreversibles impactos ambientales. Es importante que los docentes ayuden a desarrollar una buena educación ambiental enseñando el reciclaje, la reutilización y el compostaje a sus estudiantes. La selección, reutilización y el compostaje han demostrado ser eficaces para generar en los estudiantes la preservación del medio ambiente.

Álvarez-Alonso et al. (2024) realizaron una investigación de tesis titulada “Municipal solid waste management in a decentralized composting scenario: assessment of the process reproducibility and quality of the obtained composts” con el objetivo de analizar dos contextos diferentes de compostaje comunitario de residuos orgánicos urbanos para conocer su calidad, eficacia y reproducibilidad de los procesos aplicados. Fue una investigación descriptiva y no experimental. Se analizó los procesos de compostaje y las características del compost producido en aspectos como lo ambiental, agronómico e higiénico sanitario. Resultados: se determinó que hay buena similitud entre los dos escenarios de producción de compost, en los procesos, en la calidad, eficacia y reproducibilidad, además, se encontró buena calidad sanitaria, baja toxicidad y comportamiento favorable a la salud humana, a la agricultura y al medio ambiente.

Xiaoxia et al. (2023) realizaron la investigación que titula “Municipal solid waste compost: global trends and biogeochemical cycling” con el objetivo de conocer las tendencias mundiales sobre la producción de compost. Es una investigación descriptiva realizada mediante el método de revisión sistemática. Se revisó 59 artículos científicos mediante la técnica de análisis documental: resultados: por lo general en el mundo se hace compost de residuos verdes de las podas de plantas y árboles, con baja humedad y alto contenido de materia orgánica, así también se utiliza desechos de comestibles. Influye bastante el clima, las estaciones, los estilos de alimentación, las festividades como navidad y año nuevo. Hay tecnologías que se utilizan acelerar la biodegradación y la madurez del compost, estos son los hongos, el agua. Dependiendo de todo lo indicado hay compostajes que tardan 8 meses en madurar en Ghana y hasta 35 días en India. Los diversos componentes del compost mejoran la calidad de los suelos y la remediación ambiental en general, incrementa la disponibilidad de minerales, genera un mejor balance de carbono, hay más nitrógeno, fósforo, benceno y tolueno, inmoviliza los contaminantes orgánicos. Es importante cuidar el compost de la presencia de plásticos y microplásticos porque pueden quitar la calidad de nutriente orgánico. En China se ha experimentado la técnica del biosecado que permite la obtención de compost en 15 a 20 días en sistema de canaletas continuas que reemplazan a las hileras convencionales, también para este fin se está aplicando inóculos microbianos y ceniza. Hoy la sustitución de los fertilizantes químicos por el fertilizante orgánico del compost está beneficiando económica y ambientalmente, conecta la circularidad de los nutrientes entre los residuos urbanos y la agricultura y la horticultura. Esta investigación ha proporcionado un panorama general de las tendencias que se está dando en el mundo en la producción de compost, los factores que influyen en la producción de compost, las ventajas y desventajas, las estrategias de uso eficiente y las perspectivas futuras de los usos que puede tener el uso del compost.

Manea et al. (2024) en Rumania realizaron la investigación de artículo de revisión sistemática titulado “Compostings as a sustainable solution for organic solid waste management: current practices and potential improvements” con el objetivo de conocer las innovaciones en la producción de compost a partir de residuos orgánicos. Es una investigación descriptiva exploratoria y no experimental. Para la obtención de información se utilizó la técnica del análisis documental y se descubrió que en la producción de compost se está utilizando inóculos microbianos y compostaje en recipientes, esto ayuda a mejorar la calidad y eficiencia del compost; sin embargo, aún no se ha afrontado el tema de los contaminantes metálicos pesados y la presencia de plásticos y microplásticos que perjudican los resultados. A nivel cultural hace falta la participación y las políticas públicas para estimular el sistema de compostaje que tanto bien hace a la práctica agrícola y a la sostenibilidad ambiental.

Blanco (2023) en Bolivia realizó la investigación de artículo científico sobre la práctica del vermicompostaje como alternativa para potenciar la agricultura urbana. El objetivo fue revisar los beneficios del vermicompostaje para su aplicación a la producción de compost. Es una investigación descriptiva y no experimental realizada con la técnica del análisis documental de 99 artículos científicos publicados entre los años 2000 y 2022. Resultados: la vermicultura es una técnica de producción de fertilizante orgánico mediante el uso de lombrices de humus, los cuales se alimentan de residuos sólidos orgánicos y los transforman. El humus de estas lombrices es proceso ecotecnológico de costo económico, acelera la bio-oxidación, la degradación de los residuos orgánicos, estabiliza los componentes químicos, garantiza la sostenibilidad de la agricultura urbana y es una alternativa para la producción de fertilizante orgánico.

Castro (2023), en Brasil, es autor de una investigación de artículo científico titulado “Compostagem: produção de composto, a partir dos resíduos orgânicos gerados no Instituto Federal do Amazonas - IFAM- campus Manaus Distrito Industrial” con el objetivo de producir compost de los residuos orgánicos de cocina y de jardinería utilizando dos métodos. Fue una investigación experimental, transversal y de enfoque cualitativo para analizar la eficacia de cada uno de los métodos, el método de compostaje de suelo y el método de compostaje casero o doméstico. La técnica utilizada fue de la observación, el tiempo fue de 4 meses. Resultados: mediante ambos métodos se obtuvo fertilizante orgánico de calidad satisfactoria, con adecuadas características físicas de apariencia, color, textura y olor, adecuadas características químicas de pH y macronutrientes.

En Brasil, Rodriguez & Alves (2024) realizaron una investigación de artículo científico que titula “Opportunities and Barriers to Composting in a Municipal Context: A Case Study in São José dos Campos, Brazil” cuyo objetivo fue conocer las oportunidades y barreras de compostaje en Brasil. Fue una investigación descriptiva y no experimental. La información se recopiló con la encuesta y el cuestionario. La muestra se identificó mediante la técnica de la bola de nieve. Resultados: para la práctica del compostaje, la infraestructura, la educación y la influencia social son factores de suma importancia. La resistencia ciudadana para contribuir al compostaje es debido a la desconfianza en las autoridades, hay falta de apoyo, de diálogo y de acciones significativas que promuevan su práctica. La falta de espacio no es un determinante para la práctica del compostaje. Hay compostaje doméstico pero es sólo del 3% de la población. La necesidad de fertilizante es tan grande que no es competitivo con los fertilizantes químicos en la ciudad. El vermicompost podría ser una buena alternativa de compost doméstico. Son cruciales el

conocimiento de las fases de compostaje, por eso, los gobiernos locales deberían implementar redes de apoyo en temas de compostaje.

Ríos-Velásquez & Florida-Rofner (2023) realizaron una investigación de artículo científico sobre la caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la Provincia Leoncio Prado en el Perú. El objetivo fue conocer las características de los residuos orgánicos que se desecha en los seis distritos porque sin esos criterios técnicos los rellenos sanitarios agudizarán su situación de colapso produciendo daño a la salud y al medio ambiente. Es una investigación descriptiva y no experimental. Resultados: se descubrió que el 40% de distritos no aplican los indicadores físico químicos de compostaje exigidos por la norma de la OMS, la norma colombiana (nº 5167) y la norma chilena (NCH 2880), esto quiere decir que en los seis distritos de estudio la calidad de compostaje es intermedia, pueden servir para la mejora de los suelos de algunos cultivos, si bien no presentan riesgo ambiental, tienen niveles bajos de P, Ca, K y Mg, pero tienen valores elevados de pH y de humedad.

Coronel-Sarmiento & Ramón-Poma (2022) realizó una investigación acerca de una planta de compostaje y reciclaje con el fin de lograr una mejor gestión de residuos sólidos en Río Blanco – Ecuador el año 2022. Es una investigación descriptiva que propone la puesta en marcha de una Planta de Compostaje y Reciclaje como una forma de utilizar los desechos, ayudando a minimizar los efectos adversos en el medio ambiente causados por el tratamiento incorrecto de los residuos, y al mismo tiempo, generando ventajas sociales y económicas. El diseño sugerido se fundamenta en el sistema de compostaje en pilas con volteo del material, que implica un sistema que disponga de una máquina que realice el proceso de triturado, los residuos orgánicos se ubicarán en un área denominada trituración, que incluye una máquina que reduce el tamaño del material con el objetivo

de promover su descomposición; luego se ubica en la pila 1, para el comienzo del proceso de compostaje. Durante las dos primeras semanas del proceso, se llevará a cabo el volteo diario del material para incrementar los niveles de oxígeno y, consecuentemente, la generación de microorganismos. Desde la semana tres, el material se sitúa en una nueva pila, conocida como pila 2, para dar comienzo y espacio a una nueva pila 1 y reanudar el proceso. En la pila dos, el material experimenta una notable reducción de volumen; en la pila dos, el material experimentará una notable reducción de volumen.

Larrea et al. (2025) realizaron una investigación de artículo de revisión científica acerca de la evaluación de métodos de compostaje para la transformación de desechos orgánicos en nutrientes, con el fin de conocer la viabilidad y la eficacia de proyectos de compostaje para gestionar adecuadamente los residuos orgánicos. Fue una investigación exploratoria y de revisión documental. La información se recolectó de 66 artículos publicados entre el 2020 y el 2024 analizándolos con la metodología PRISMA y PICO. Las investigaciones dejaron entrever que existe una importancia mundial sobre el tema del compostaje, y el compostaje es una de las mejores estrategias de gestión de residuos sólidos orgánicos, contribuye a la reducción de los vertederos, favorece el mejoramiento de la calidad de los suelos, a la sostenibilidad ambiental y a la salubridad pública. Es innegable los beneficios que brinda la tecnología del compostaje, es necesario implementarlo generando los espacios adecuados y atendiendo a la proporción del material que se produce diariamente ya sea en los pueblos como en las ciudades.

Tagle-Zamora et al. (2025) realizaron la investigación de artículo científico sobre el compostaje descentralizado de residuos orgánicos en viviendas urbanas priorizando la viabilidad económica y ambiental. El objetivo fue evaluar la viabilidad económica y ambiental del proyecto. Fue una investigación descriptiva, no experimental y de estudio

de campo. En la escala de prioridades de lucha contra la contaminación ambiental de México, la gestión de residuos sólidos es la segunda en orden de prioridades, la prioridad es casi similar en muchos países, de aquí la importancia de no descuidar la estrategia del compostaje. Se ha analizado los costos económicos del compostaje del presente estudio comparando con los datos del Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos de León. Se llegó a la conclusión de que esta estrategia contribuye a la disminución de emisiones de gases contaminantes, a la reducción del gasto público de la municipalidad y en un alto incremento de utilidades. El compostaje descentralizado es viable económicamente porque disminuye los gastos de tratamiento e incrementa los ingresos económicos, también es viable ambientalmente porque contribuye a la mitigación de la contaminación ambiental. Por tanto, es importante que las autoridades de la municipalidad acojan y ejecuten el proyecto de compostaje.

Gómez (2023) hizo una investigación de diseño de una planta de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos en Petén (CUDEP) durante el año 2023. Se propone un plan que podría utilizar en gran medida los desechos sólidos producidos diariamente en la Universidad. Para la transformación de los residuos, es necesario considerar la categorización de cada uno y determinar en qué sector podría resultar más beneficioso. En relación a las dimensiones y capacidad de la planta, el objetivo fue llevar a cabo una investigación sobre la naturaleza de los residuos producidos diariamente en el centro y categorizar qué desechos pueden o no ser empleados en el proceso de compostaje. Se trata de una planta de tratamiento especializada en reciclar desechos orgánicos a través de técnicas biológicas, o sea, una degradación producida por la acción de microorganismos, que transforman estos desechos en fertilizante orgánico. En relación a las dimensiones y capacidad de la planta, el objetivo fue llevar a cabo una investigación sobre la naturaleza

de los residuos producidos diariamente en el centro y categorizar qué desechos pueden o no ser empleados en el proceso de compostaje.

Asimismo, Cruz et al. (2023) realizaron una investigación de artículo científico acerca de un estudio de prefactibilidad para diseñar una planta de compostaje en una municipalidad del Perú-2023. Fue una investigación descriptiva y no experimental. Se consideró que el primer aspecto a tener en cuenta en el análisis técnico es la ubicación del proyecto de la planta de compostaje, considerando aspectos como: la distancia y el tiempo de transporte de los desechos, y los gastos asociados al transporte. Además, se consideró las limitaciones de ubicación conforme al Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314. Según el Decreto Supremo N° 057 – 2004 – PCM, Artículo 69° en la Normativa de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos - LGRS (24,25), la localización debe estar a una distancia superior a 1000 metros de zonas habitadas, avícolas, granjas, entre otros. No obstante, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) tiene la facultad de autorizar distancias más cortas o exigir distancias más largas, basándose en los porcentajes establecidos.

Por su parte, Dominguez (2023) realizó una investigación de propuesta de diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales para la obtención de humus en el Distrito de Reque, 2023. Fue una investigación descriptivo-propositiva. Se consideró que la producción de desechos sólidos orgánicos es un problema medioambiental que impacta a la población, motivo por el cual numerosos municipios llevan a cabo programas de segregación para reducir su impacto negativo. Un caso ilustrativo es el distrito de Reque, que generó en 2020 un total de 4 845 128,26 kg de desechos, de los cuales el 51,57%, o sea 2 498 632,64 kg, fueron de origen orgánico. De esta materia se puede extraer humus, un producto, que se considera uno de los fertilizantes

orgánicos que proporcionan más nutrientes a la tierra y que se utiliza por los agricultores orgánicos de Perú. Se estableció como el mercado meta a los . A nivel nacional, se registraron productores orgánicos con una demanda de 10 868,49 toneladas. La idea de una planta industrial posibilitará la producción de humus en el distrito de Reque, a través de la separación de desechos y la utilización de tecnología apropiada, generando un costo beneficio de 2,06, lo que lo hace viable desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. El humus es reconocido como uno de los fertilizantes orgánicos que proporciona mayor cantidad de nutrientes a la tierra. Es ampliamente utilizado por los agricultores orgánicos de Perú, seleccionados como mercado meta. La demanda actual de humus alcanzó las 10 868,49 toneladas, de las cuales se tomó en cuenta el 18,09%. Esto implica que para el año 2027, la demanda del proyecto sea de 1 966 458,65 kg, con sacos de 25 kg disponibles 78 658 paquetes.

Todas las investigaciones coinciden en que la iniciativa de compostaje tiene múltiples beneficios: el primer beneficio es que contribuye a la sostenibilidad ambiental, el segundo está en la industrialización de los residuos orgánicos y la consiguiente optimización económica, el tercero es la satisfacción de la necesidad de fertilizantes orgánicos para la gran agricultura y para la agricultura urbana.

No se ha encontrado más investigaciones actuales y afines al tema de la presente investigación.

2.2. Marco teórico

2.2.1. *Gestión sostenible*

2.2.1.1. Definición de gestión sostenible

La voz gestión procede de la voz latina *gestare* que significa llevar a cabo algo, manejar, administrar. Se refiere a la dirección de proyectos, recursos y actividades, planificar, tomar decisiones y controlar (RAE, 2014). En cambio, sostenible es aquello que puede conservarse por largo tiempo sin hacer daños y sin agotar los recursos, en tal sentido, la sostenibilidad consiste en asegurar la satisfacción de las necesidades presentes sin perjudicar a las generaciones futuras, cuidando el medio ambiente, el desarrollo social y económico (BBVA, 2025).

La World Commission on Environment and Development (WCED, 1987) lo define como un proceso integral que consiste en tomar decisiones estratégicas con el fin de lograr resultados a largo plazo que beneficien al medio ambiente, a la sociedad y a la economía al tiempo que garanticen la satisfacción de necesidades de las generaciones presentes y futuras. Es una definición enfocada en la toma de decisiones.

Por su parte, Elkington (1997) indica que la gestión sostenible es la utilización responsable y eficiente de los recursos naturales manteniendo un equilibrio entre el desarrollo económico, la equidad social y la conservación del medio ambiente de tal manera que se asegure su disponibilidad para las futuras generaciones. Es una definición de gestión sostenible con equilibrio entre el desarrollo y la conservación.

Además, Dyllick & Hockerts (2002) lo definen como la adopción de prácticas dirigidas a minimizar el impacto ambiental de manera que el desarrollo económico

respete los límites ecológicos del planeta, favorezca la equidad social y asegure la rentabilidad a largo plazo. Es una definición que enfatiza en la gestión sostenible dentro de la organización.

Según Adelman (2018) la gestión sostenible es aquella que favorece la sostenibilidad, esto implica la gestión ecológica y es incompatible con los actuales patrones de producción, consumo y crecimiento económico que descuidan las condiciones de vida saludables para todos.

Sin embargo, hay que precisar que no sólo es una respuesta a las crisis medioambientales, sino también es una estrategia integral para el desarrollo global. La sostenibilidad se enmarca dentro de una visión holística que busca integrar con el medio ambiente todas las dimensiones de la humanidad, tanto lo económico y lo social, las actividades de las empresas privadas y las públicas, la oferta de productos y de servicios, el bienestar de las presentes generaciones y el de las futuras generaciones.

En esta investigación se asume la definición dada por la World Commission on Environment and Development (WCED) el año 1987 y confirmada por Elkington en 1997 y Dyllick & Hockerts el año 2002 quienes hacen énfasis en una gestión sostenible como utilización responsable y eficiente de los recursos naturales para satisfacer las necesidades presentes y futuras conservando el equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental. Por tanto, sus dimensiones son la sostenibilidad económica, social y ambiental.

2.2.1.2. Definición de las dimensiones de desarrollo sostenible

Según la WCED (1987), Elkington (1997) y Dyllick & Hockerts (2002) las dimensiones de desarrollo sostenible son: gestión económica, gestión social y gestión ambiental.

Dimensión de gestión Económica. La gestión económica dentro del marco de la sostenibilidad se refiere al uso eficiente de los recursos para promover un desarrollo económico que sea capaz de generar beneficios a largo plazo. Implica la optimización de los procesos productivos, la creación de valor económico y la distribución justa de los beneficios, todo mientras se aseguran prácticas financieras que no agoten los recursos naturales ni generen impactos negativos sobre las futuras generaciones. La gestión económica sostenible también busca incorporar criterios de rentabilidad a largo plazo, así como la inversión en innovaciones tecnológicas que favorezcan la eficiencia (Elkington, 1997).

Dimensión de gestión social. La gestión social en el contexto de la sostenibilidad se centra en la creación de condiciones de equidad y justicia social dentro de una comunidad o sociedad. Esta dimensión busca asegurar que los beneficios del desarrollo se distribuyan de manera justa, garantizando el acceso a derechos fundamentales como los servicios básicos, la salud, la educación, la vivienda y el trabajo digno. La gestión social también aboga por la inclusión de todas las partes interesadas, especialmente las comunidades vulnerables, en los procesos de toma de decisiones y la gestión de los recursos (Sen, 1999).

Dimensión de gestión ambiental. La gestión ambiental dentro de la sostenibilidad se refiere a la administración responsable de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Su objetivo es mitigar los impactos negativos

de las actividades humanas sobre el entorno natural, promoviendo prácticas que reduzcan la contaminación, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento de los recursos. La gestión ambiental sostenible implica el uso racional de los recursos, la adopción de tecnologías limpias y la implementación de políticas públicas que favorezcan la conservación y el desarrollo de sistemas naturales equilibrados (Dresner, 2008).

Estas dimensiones son fundamentales para lograr un desarrollo sostenible que no solo garantice el bienestar económico, sino también la equidad social y la preservación del medio ambiente, estableciendo una base sólida para las generaciones futuras.

2.2.1.3. Objetivo del desarrollo sostenible

Según Dourojeanni (2000) el objetivo del desarrollo sostenible es promover el crecimiento económico, la equidad en los aspectos social, económica y ambiental, y la conservación del medio ambiente. (Dourojeanni, 2000). Esta es una definición que enfatiza en el equilibrio entre crecimiento económico y cuidado del medio ambiente.

Algo similar dice la ONU (2015): El objetivo del desarrollo sostenible es erradicar la pobreza, fomentar el crecimiento económico, satisfacer necesidades sociales de salud, educación y empleo protegiendo el medio ambiente y combatiendo el cambio climático (ONU, 2015). Parte de la conciencia del desabastecimiento que se da en una gran parte de la población mundial, el cual, va de la mano con el descuido del medio ambiente, tan evidente.

2.2.1.4. Desarrollo sostenible y práctica de economía circular

La práctica de la economía circular consiste en dejar de lado la extracción desmesurada de los recursos naturales, en diseñar y fabricar con criterios de respeto, durabilidad y reparación mediante los procesos de reducción, reciclaje, reutilización y recuperación (4Rs) (BBVA, 2025).

Por otra parte, la economía circular es un modelo de producción y de consumo con criterios de usar, reutilizar, renovar, reparar y reciclar los productos todas las veces que sea posible para optimizar su rendimiento y generar un valor añadido, extendiendo de esta manera, el ciclo de vida de los productos (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Por su parte, kirchherr et al. (2017) lo definen como el paradigma económico que reemplaza el fin de vida de los productos mediante la restauración, la utilización de energías renovables, evitando el uso de los productos químicos tóxicos y eliminando los residuos tras un proceso de tratamiento cuidadoso y sistemático. (Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017).

Según Stahel (2016) la economía circular es un modelo de gestión de recursos que tiene el objetivo de mantener el valor de los productos, recursos y materiales en la economía durante el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos y promoviendo una sociedad basada en servicios en lugar de propiedad.

Las tres definiciones de economía circular coinciden en la idea de extender el ciclo de vida útil de los productos mediante los procesos de uso, recuperación y reutilización de los residuos sólidos durante el mayor tiempo posible para evitar la explotación indiscriminada y la escasez de recursos. Por otra parte, la economía

circular favorece el énfasis en los servicios más que en los productos, en servicios ofrecidos con criterios de desarrollo sostenible.

El desarrollo sostenible, el uso racionalizado y óptimo de los recursos se opone al uso indiscriminado, depredadora y a la visión inmedatista de los recursos. La visión depredadora no sólo va contra el uso indiscriminado de recursos, sino que también favorece la conservación de las especies, incentiva la limpieza y la salubridad, pero principalmente ofrece múltiples beneficios como réditos económicos, conservación del medio ambiente y el retroceso de la contaminación.

2.2.1.5. Historia de la Gestión Sostenible

La gestión sostenible surge como una respuesta a la creciente preocupación por los impactos ambientales negativos de la industrialización y el crecimiento económico sin control. A principios del siglo XX, la noción de sostenibilidad estaba vinculada principalmente a la conservación de los recursos naturales; sin embargo, tras la publicación del informe de Meadows et al. (1972) sobre "Los Límites del Crecimiento" y la adopción del concepto de desarrollo sostenible por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMED) en 1987, la sostenibilidad comenzó a incorporar aspectos sociales y económicos dentro de su definición. Este enfoque fue ampliado posteriormente por la Agenda 21 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU en 2015, que proporcionaron un marco global para la sostenibilidad.

2.2.1.6. Objetivo de la sostenibilidad

El objetivo principal de la sostenibilidad es promover el desarrollo económico, social y ambiental de manera equilibrada, de modo que las generaciones futuras puedan disfrutar de las mismas oportunidades que las presentes. La sostenibilidad

implica la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. Esto se logra mediante la adopción de prácticas responsables en la producción, el consumo y el uso de los recursos naturales, con la finalidad de proteger el medio ambiente, garantizar la justicia social y asegurar una economía próspera y equitativa.

2.2.1.7. Procedimiento para una adecuada gestión sostenible

El Banco Interamericano de Desarrollo (2022) precisa el procedimiento para la instauración de la gestión sostenible. En seguida se presenta cada uno de los puntos más importantes.

Figura 01

Procedimientos para una adecuada gestión sostenible.



Nota: Banco interamericano de desarrollo (2022).

Según la figura 5, el primer paso a considerar en el proyecto de gestión sostenible es el marco social y ambiental del proyecto, esto tiene una influencia mutua: lo ambiental tiene efecto en lo social y lo social influye en lo ambiental.

El segundo paso es la identificación de riesgos e impactos. Se trata de conocer los potenciales riesgos, la gravedad de los mismo y el impacto que este podría tener.

El tercero son los programas de gestión. Se trata de hacer uso de líneas base y matrices de riesgo priorizando los riesgos críticos y estableciendo mecanismos de prevención de riesgos físicos, ambientales y comunitarios.

El cuarto es la capacidad y competencias organizativas. Las personas y la organización deben estar dotadas de capacidad para proponer alternativas de solución acordes a su economía y a la gestión sostenible.

El quinto es la preparación y respuesta ante las emergencias. Se trata de practicar la actitud preventiva y de mitigación de riesgos contando con personal sensibilizado, material necesario y acciones eficaces.

El sexto es la participación de las partes interesadas. Se trata de mantener diálogo permanente con la comunidad del entorno, con los representantes del gobierno local, socialización de las acciones a ejecutar y la atención a los quejas y reclamos provenientes de los diversos frentes.

El séptimo es el seguimiento y la evaluación. Consiste en el monitoreo de la ejecución de las diversas acciones de gestión sostenible aprobadas por la directiva y asignadas a los diversos actores. La evaluación debe verificar la ejecución del procedimiento en cantidad, calidad y en el tiempo previsto.

La adecuada gestión sostenible va desde el diagnóstico y el planeamiento hasta el monitoreo y la evaluación del cumplimiento de todo lo implementado.

2.2.1.8. Estrategias de Sostenibilidad

Para el establecimiento de productividad sostenible hay formas de acción que pueden facilitar una ejecución pertinente. En seguida se expone algunas:

- Las estrategias para lograr la sostenibilidad pueden variar dependiendo del contexto y la organización, pero generalmente se enfocan en los siguientes aspectos:
- Reducción de la huella ecológica. Se trata de implementar prácticas que minimicen el impacto ambiental, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de energías renovables y la gestión adecuada de los residuos, asimismo, la creación de las condiciones legislativas y normativas a todo nivel para prohibir la tala de árboles, los incendios y el uso cuidadoso de la madera.
- Eficiencia en el uso de los recursos. Optimizar el consumo de recursos naturales como el agua y los materiales, promover el reciclaje y el uso eficiente de la energía.
- Responsabilidad social corporativa (RSC). Adoptar prácticas que favorezcan el bienestar de las comunidades locales, mejoren las condiciones laborales y respeten los derechos humanos, con un enfoque en la inclusión y la equidad.
- Innovación sostenible. Fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías y productos que sean ambientalmente responsables, económicamente viables y socialmente justos.

- Transparencia y gobernanza. Adoptar modelos de gobernanza que incluyan la participación de todos los actores clave y aseguren la rendición de cuentas.

Estas estrategias de sostenibilidad son de tipo general, sin embargo, en los contextos concretos pueden precisarse con mayor diversidad.

2.2.1.9. Teorías de la Sostenibilidad

Existen diversas teorías de la sostenibilidad que han sido propuestas a lo largo del tiempo, y que abordan la relación entre el ser humano y el entorno de diferentes maneras:

Teoría del Capital Natural. Esta teoría considera que los recursos naturales son un capital económico valioso y, por lo tanto, deben ser gestionados de forma que su valor se conserve a lo largo del tiempo (Daily, 1997). Se enfoca en la importancia de los ecosistemas como activos clave para la vida humana en el presente y en el futuro.

Teoría de la triple cuenta de resultados (Triple Bottom Line). Esta teoría, popularizada por John Elkington (1997), sostiene que las empresas deben evaluar su desempeño no solo en términos financieros, sino también considerando su impacto social y ambiental.

Teoría del Desarrollo Humano Sostenible. Esta teoría, promovida por Amartya Sen (1999), subraya la importancia de la libertad humana y el desarrollo social como parte integral del desarrollo sostenible. Sostiene que el objetivo de la sostenibilidad no es solo el crecimiento económico, sino la mejora de las capacidades humanas y el acceso equitativo a las oportunidades.

Además, hay otras teorías que en el fondo repiten o puntualizan los elementos propuestos por las teorías aquí mencionadas. Si bien, todas las teorías son aportes excelentes para la comprensión del desarrollo sostenible, la teoría que mejor se adapta a la presente investigación es la del Triple resultado final (Triple Bottom Line) que son gestión económica, gestión social y gestión ambiental.

2.2.1.10. Beneficios de la Gestión Sostenible

La implementación de una gestión sostenible ofrece varios beneficios tanto para las organizaciones como para la sociedad en general:

Reducción de costos. La eficiencia en el uso de recursos y la optimización de procesos pueden llevar a ahorros significativos en el consumo de energía, agua y materias primas, lo que resulta en una mejora de la rentabilidad.

Mejora de la reputación y competitividad. Las empresas que adoptan prácticas sostenibles suelen mejorar su imagen ante los consumidores y otros actores clave, lo que puede traducirse en una ventaja competitiva.

Acceso a nuevos mercados. La sostenibilidad abre la puerta a nuevos mercados, ya que la demanda de productos y servicios responsables está en aumento entre los consumidores.

Beneficios sociales y comunitarios. La gestión sostenible promueve la inclusión, la equidad y la mejora de las condiciones laborales, lo que beneficia directamente a las comunidades locales.

Mitigación del riesgo. Las empresas que adoptan prácticas sostenibles están mejor preparadas para hacer frente a los riesgos asociados con el cambio climático, las regulaciones ambientales y las expectativas sociales.

2.2.2. Residuos Sólidos.

2.2.2.1. Definición de residuos sólidos.

Los desechos sólidos son objetos, materiales, elementos o sustancias que disminuyen su valor de utilización o valor sentimental para quien los produce, y por ello son eliminados. Estos desechos representan una demanda creciente de sistemas y procedimientos que faciliten su tratamiento apropiado, además, esto conlleva un aumento en la utilización de suelos para su disposición final. También es importante señalar que la degradación de estos desechos en los vertederos provoca la producción de gases como el dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno que resultan en la generación de gases producen un posible efecto perjudicial en el medio ambiente, a causa de la polución atmosférica, así como por su influencia en el cambio climático, formando gases que potencian el efecto invernadero. (Coronel-Sarmiento & Ramón-Poma, 2022).

Los residuos sólidos se componen de los siguientes elementos:

- Papel blanco y de colores.
- Cartones de diversa contextura como envoltura de electrodomésticos, tetrapacks.
- Plásticos de diversos tipos: plásticos rígidos como envases, botellas, baldes y objetos. Plásticos no rígidos como bolsas y productos sintéticos como mallas, telas, prendas de vestir.
- Metales ferrosos como envases de latas, calamina, hojalata, aparatos de metal, herramientas y otros objetos.
- Vidrio en forma de objetos, vitrales y focos de luz.
- Pilas de diversos tamaños para aparatos portátiles y equipos.

- Caucho en forma de calzado, llantas y otros objetos.
- Madera en forma de ramas, troncos secos, restos de carpintería y de construcciones.
- Cuero en forma de zapatos, prendas de vestir y carteras.
- Restos de comestibles como verduras, comidas, huesos y grasa.
- Material inerte como tierra, polvo, piedras, bloques de cemento, retazos de ladrillos y tejas.
- Material orgánico como restos de comida, restos de vegetales comestibles, ramas y hojas de plantas.

En las ciudades estos residuos pueden ser de labores municipales y de actividades domésticas, algunos en estado seco, otros en estado húmedo y en diversas cantidades.

2.2.2.2. Residuos sólidos orgánicos

Los desechos orgánicos son uno de los sólidos que se producen más en cualquier zona del planeta debido al elevado consumo que se manifiesta, no obstante, en la actualidad, los países cuentan con un alto nivel de consumo. Existen leyes que asisten en la administración de los desechos orgánicos para su protección del entorno natural y la salud humana. La administración de los desechos representa un reto para las organizaciones comprometidas con el cuidado del medio ambiente y el bienestar de las personas, el acto de no reciclar y no utilizar los desechos orgánicos ha provocado deterioro o perjuicio en ciertas fuentes de agua, por lo que el desafío radica en el uso lógico o reciclaje estable y estructurado (Fajardo & Sosa, 2021).

2.2.2.3. Residuos orgánicos o residuos biodegradables

Los residuos biodegradables son los residuos de plantas, frutas, verduras, cáscaras, huesos, restos de alimentos, papel y telas que se pueden descomponer gracias a la acción natural de la humedad, las bacterias, lombrices y hongos del suelo (Galvis, 2016).

En cambio, los residuos no degradables o que no se desdoblán son aquellas que no se pueden descomponer de manera natural o lo hacen de manera muy lenta, estos son los que proceden de productos minerales como metales, cristales o pilas, y de productos sintéticos como los plásticos.

2.2.2.4 Importancia de la gestión de residuos sólidos urbanos

La gestión de los desechos sólidos urbanos es un asunto importante que necesita una resolución inmediata a nivel global. El crecimiento poblacional irregular es un elemento que ha agravado esta circunstancia, el Banco Mundial (2018) señala que el aumento de los residuos globales se incrementará en un 70% para el año 2050. Por esta razón, es imprescindible implementar acciones de emergencia para tratar de frenar este escenario. Aunque los países de primer mundo representan únicamente el 16% de la población, estos producen el 34% de los residuos, Asia y el Pacífico producen el 23% y en África se anticipa una expansión triplicada para el año 2050. Además, los municipios desempeñan un papel crucial en la gestión de desechos sólidos urbanos, ya que son ellos los responsables de proporcionar este servicio a toda la población. (Bartra & Delgado, 2020)

2.2.2.5. Aportes de los residuos sólidos agrícolas al medio ambiente.

Aproximadamente el 80% de la energía que se utiliza en el planeta es proveniente de restos fósiles, de fuentes de carbón, petróleo y gas. Este consumo se incrementa

anualmente. Sin embargo, este tipo de energía se está agotando y su agotamiento provocará el incremento de precios (Gonzáles, 2020).

Otro tanto hay que decir de los fertilizantes: los fertilizantes químicos son costosos y, a la vez, dañinos para la salud humana. Es necesario hacer un viraje hacia los biofertilizantes como el compost y el humus que proceden de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos. Estos residuos son de considerable cantidad y se los puede obtener en los residuos sólidos de origen domiciliario, en residuos de la jardinería urbana y en los residuos de las actividades agrícolas. La mejor alternativa es hacer el viraje hacia los biocombustibles.

2.2.2.6. Impacto medio ambiental del mal manejo de los residuos

La administración incorrecta de los residuos está causando la polución de los mares del mundo, bloqueando los drenajes y provocando inundaciones, propagando enfermedades, incrementando las afecciones respiratorias debido a la quema, dañando a los animales que ingieren residuos, y perjudicando el crecimiento económico como, por ejemplo, al dañar el turismo. (Bartra & Delgado, 2020)

2.2.3. El compostaje.

2.2.3.1. Definición de compost

El compostaje se define como el proceso de fermentación y descomposición de los residuos orgánicos gracias a la participación de muchos tipos de microorganismos termófilos y mesófilos, y de bacterias como hongos, protozoos y celulóticas que actúan incrementando la temperatura y provocando la degradación.

El vocablo compost proviene del latín, *compositus*, que se traduce como "unir". Durante el proceso de compostaje, varios elementos orgánicos se fusionan para generar un fertilizante abundante en nutrientes; hay diversas técnicas de compostaje, tales como el método de pilas, en el que los residuos se acumulan en grandes cantidades, o el compostaje en tambor, que facilita la rotación y combinación eficaz de los materiales.

Los componentes de descomposición, tales como bacterias, hongos y microorganismos, desempeñan un rol vital en la conversión de los desechos orgánicos en compost. Estos seres descomponedores degradan la materia orgánica, expulsando nutrientes vitales para las plantas. La temperatura, la humedad y la correcta proporción de carbono y nitrógeno son elementos esenciales que determinan la efectividad del proceso de compostaje. Así pues, el compost es la combinación de residuos orgánicos que pasan por un proceso de fermentación, resultando en un producto de tonalidad marrón oscura, inodoro o con un aroma a humus. El compost cuando está madurado es estable, lo que significa que en el proceso de fermentación ya ha concluido. (Fernández, 2024)

2.2.3.2. Inicio del uso técnico del compost

El compostaje es un procedimiento controlado por profesionales de ingeniería ambiental, y su objetivo es obtener abono orgánico de alta calidad por su adecuada composición microbiológica y fisicoquímica, prioriza el cuidado ambiental y tiene en cuenta los parámetros de calidad. Un elemento a considerar permanentemente en este proceso es la oxigenación, también la humedad que debe variar entre un 40 % y 60 % (Cumpa, 2021). La evolución del método de compostaje a gran escala se originó en la India, gracias a las vivencias realizadas por Albert Howard, un inglés, desde 1905 hasta 1947. Su triunfo se basó en fusionar sus saberes

científicos con los saberes tradicionales de los agricultores. Su técnica, conocida como Indore, consistía en fermentar una combinación de residuos vegetales y excrementos de animales, y humedecerla de manera regular.

2.2.3.3. Beneficios del Compost para el suelo y para las plantas

El compost es un fertilizante orgánico generado a base de materia orgánica (una porción de la cual se asemeja a la del abono orgánico resultante, humus del suelo) y de otros nutrientes como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio, Hierro y otras sustancias esenciales para la supervivencia de las plantas (US Composting Council, 2018).

El compost ejerce una serie de beneficios físico-químicos fundamentales en el suelo, convirtiéndose en uno de los mejoradores orgánicos más eficientes dentro de la agricultura sostenible. Desde el punto de vista físico, la incorporación de compost favorece la formación de agregados estables, lo que mejora significativamente la estructura del suelo. Esto se traduce en un aumento de la porosidad, una reducción de la compactación y una mayor aireación, condiciones que facilitan tanto la germinación como el desarrollo radicular. Además, la materia orgánica del compost actúa como una esponja natural al incrementar la capacidad de retención de agua del suelo, reduciendo la evaporación y permitiendo una mayor disponibilidad hídrica para las plantas, especialmente en climas secos o suelos arenosos (Brady y Weil, 2017).

Estamos tratando acerca de un producto vivo, con una alta densidad y diversidad de microorganismos que producen enzimas, vitaminas, hormonas, entre otros. Y que tienen un impacto positivo en el balance biológico del terreno. incrementando su habilidad para retener agua, lo que le otorga resistencia frente a la sequía; potenciando su porosidad, lo que favorece su aireación y, por ende, la respiración

de las raíces; y potenciando su capacidad para respirar; la permeabilidad y la infiltración del suelo al optimizar la estructura del terreno. En conclusión, la existencia de materia orgánica promueve el desarrollo de las raíces y la proliferación de la misma retención de agua (Brady y Weil, 2017).

Proporciona a las plantas los tres componentes fundamentales - nitrógeno, potasio y fósforo- se encuentran en porcentajes relativamente reducidos pero muy balanceados, y contribuyen a la formación de un equilibrio óptimo una significativa contribución de elementos como el hierro, manganeso, zinc, boro, molibdeno, cobre, entre otros, cuyo impacto en el crecimiento de los cultivos se intensifica constantemente más evidente, son elementos esenciales para la mayoría de las enzimas. Asimismo, durante su oxidación lenta, se genera gas carbónico, que ayuda a la solubilizar ciertos componentes minerales del terreno, lo que favorece su asimilación por las plantas (US Composting Council, 2018).

Desde el punto de vista químico, el compost juega un papel esencial al aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC), es decir, la habilidad del suelo para retener y suministrar nutrientes esenciales como el potasio (K), el calcio (Ca) o el magnesio (Mg). Esta mejora evita la pérdida de nutrientes por lixiviación y contribuye a un suministro más eficiente y equilibrado de minerales. Asimismo, el compost posee un efecto amortiguador del pH, ayudando a estabilizar suelos ácidos o alcalinos y creando un ambiente más favorable para la actividad microbiana y el crecimiento vegetal (US Composting Council, 2018).

El compost también es una fuente de nutrientes esenciales, liberados de manera gradual mediante procesos de mineralización. Aporta nutrientes primarios como fósforo, nitrógeno y potasio, también aporta nutrientes secundarios como azufre, calcio y magnesio, así como micronutrientes necesarios en pequeñas cantidades

para la salud vegetal. Esta liberación lenta evita problemas de sobrefertilización y promueve una nutrición continua y equilibrada (Diacono y Montemurro, 2010).

Estos efectos físico-químicos repercuten directamente en el desarrollo de las plantas. Los suelos enriquecidos con compost permiten un mejor crecimiento radicular, lo que se traduce en una mayor absorción de agua y nutrientes. La mejora en la estructura del suelo y su equilibrio químico contribuyen a que las plantas sean más resilientes frente al estrés hídrico, ya que disponen de un reservorio de humedad más estable. Además, un suelo equilibrado y rico en materia orgánica favorece la actividad microbiana beneficiosa, la cual compite con microorganismos patógenos, reduciendo indirectamente la incidencia de enfermedades del suelo (Brady y Weil, 2017).

En síntesis, la aplicación de compost mejora la fertilidad global del suelo, fomenta un ambiente químicamente equilibrado y físicamente adecuado, y promueve un crecimiento vegetal vigoroso, sostenible y saludable. Estas propiedades hacen del compost un insumo clave para la agricultura regenerativa y el manejo sostenible de los suelos.

2.2.3.4. Planta de compostaje

La planta para el proceso de compostaje es una instalación técnicamente diseñada para el tratamiento de los residuos orgánicos mediante el proceso de tratamiento biológico que da lugar a la obtención del abono orgánico o compost. El tratamiento biológico es por descomposición aeróbica, es decir, contando con la presencia de oxígeno, adecuada temperatura y humedad que permiten la intervención de hongos, protozoos, bacterias, rotíferos y la consecuente

generación del ácido húmico, de esta manera producen un material estable, higienizado y rico en humus:

El sistema más común de compostaje es mediante la organización de los residuos orgánicos en camas largas de aproximadamente dos metros de profundidad donde el material se voltea y humedece con cierta frecuencia.

A la ‘planta de compostaje’ también se le denomina ‘unidad de valorización de residuos orgánicos’ y se refiere a la infraestructura y los procesos diseñados para transformar los residuos orgánicos en un producto valioso que es el compost y el reingreso del residuo en la economía circular.

2.2.3.5. Proceso de tratamiento de los residuos orgánicos (dimensiones).

El tratamiento que se da a los residuos orgánicos tiene principalmente las siguientes fases: Recolección de residuos orgánicos, selección de residuos orgánicos, caracterización de los residuos orgánicos, características estructurales de la planta de compostaje, monitoreo del proceso de descomposición de los residuos orgánicos, comercialización y uso del compost, evaluación de los riesgos contra el medio ambiente y diseño de instrumento de gestión ambiental.

Recolección de residuos orgánicos. Esta fase consiste en el proceso sistemático de recogida de materiales biodegradables generados principalmente en hogares, cocinas familiares, jardines, mercados, restaurantes, industrias alimentarias y zonas agrícolas, estos residuos pueden ser hojas verdes, hojas secas, cáscaras, tallos, verduras, frutas, aserrín, estiércol, etc. Este proceso debe realizarse de manera diferenciada, evitando que se mezcle con residuos inorgánicos como plásticos, metales, losetas, escombros de cemento o piedras, todo esto a fin de preservar su potencial de valorización. Una recolección eficiente reduce el

volumen de desechos que son conducidos a los rellenos sanitarios y facilita su aprovechamiento mediante compostaje u otras tecnologías sostenibles (González-Torre & Adenso-Díaz, 2021).

Selección y preparación de residuos orgánicos. Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2020) la selección o segregación de residuos consiste en clasificar los residuos en el mismo punto de generación, separando aquellos con potencial de degradación biológica de los materiales contaminantes o no biodegradables. Esta fase también implica cortar, triturar o picar los residuos grandes para facilitar su descomposición. En la selección se debe combinar residuos vegetales de diversos componentes para equilibrar la relación carbono-nitrógeno entre 25:1 y 30:1. Se trata de una etapa crucial para el aseguramiento de la calidad del compost producido y prevenir riesgos sanitarios o ambientales durante el proceso.

Caracterización físico-química de los residuos orgánicos. Implica la evaluación de parámetros como humedad, pH, relación carbono/nitrógeno (C/N), contenido de materia orgánica, y presencia de metales pesados o contaminantes. Esta caracterización es esencial para determinar la aptitud de los residuos para el compostaje y establecer condiciones óptimas del proceso. El análisis permite controlar la calidad del producto final y minimizar impactos negativos (Vásquez, Soto, & Fernández, 2019).

Características estructurales de la planta de compostaje. Se refiere a los aspectos técnicos y físicos de la instalación donde se realiza el compostaje, como tamaño del área, sistema de ventilación, drenaje, accesibilidad, capacidad de carga, y disposición de zonas para almacenamiento y maduración del compost.

Una planta bien diseñada debe cumplir con normativas ambientales y de seguridad, permitiendo un flujo eficiente del proceso (Morales & Estévez, 2022).

Ingresado del material orgánico a la compostera. También se le llama formación de pilas. Se trata de organizar el material orgánico en su lugar de descomposición en pilas de aproximadamente 1.5 mts de altura.

El sistema de compostaje puede ser a campo abierto (al aire libre) o cerrado (cubierto). La diferencia entre las dos modalidades es bastante grande en aspectos como el control del ambiente, la contaminación y la eficiencia del proceso. El que más conviene para la Municipalidad de Yrabamba es el diseño cerrado porque es más rápido, eficaz, con menores impactos ambientales y, dada la frecuente acumulación de material orgánico, permite una rápida rotación del material orgánico.

Tabla 01

Diferencias entre el compostaje a campo abierto y a campo cerrado.

<i>Aspecto</i>	<i>Compostaje a campo abierto</i>	<i>Compostaje a campo cerrado</i>
Ubicación	Al aire libre, en contacto directo con el entorno.	En instalaciones cerradas (galpones, túneles, cubierto con material impermeable, etc.).
Control ambiental	Bajo o nulo control por lo que dependerá del clima.	Alto control de temperatura, humedad y ventilación.
Tiempo de compostaje	Más largo, debido a la variabilidad del clima.	Más corto, porque las condiciones son controladas.
Olores	Mayor emisión de olores al entorno, comporta un riesgo ambiental	Menor emisión y posibilidad de control con filtros. Es más higiénico y sostenible.
Riesgo de vectores	Alto, con presencia de moscas, roedores, aves, etc.	Bajo, debido a que el ambiente cerrado no lo permite.
Costo de implementación	Menor costo económico porque no requiere instalaciones.	Mayor porque requiere inversión en infraestructura.
Calidad del compost	Variable, depende del manejo y clima.	Mejor, más uniforme y controlada.
Impacto ambiental	Mayor riesgo de lixiviados y gases sin tratar.	Menor, si cuenta con sistemas de captura y tratamiento.
Zonas	Rurales	Urbanos

Nota: Tomado de Díaz, Savage, Eggerth, & Goleuke (2007) y Jiménez & López (2015).

*Figura 02**Compostaje a campo abierto y a campo cerrado.**Nota: tomado de Google.com/imágenes*

Monitoreo del proceso de descomposición de los residuos orgánicos. Este monitoreo implica el control periódico de variables críticas como temperatura, humedad, pH, oxigenación y evolución de la materia orgánica durante el proceso de compostaje. Tiene un papel crucial la aireación del material y la toma de precaución para evitar la compactación del material, para esto se debe voltear todo el material en periodos de tiempo de 7 a 15 días. La finalidad de este proceso es garantizar condiciones óptimas para la actividad microbiana y lograr un producto estable, maduro y seguro. Se emplean instrumentos y protocolos estandarizados para seguimiento y ajuste del proceso (Haug, 2018).

Uso del compost. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) hace referencia a las estrategias para la distribución, venta y aplicación del compost producido (FAO, 2021). El uso puede orientarse hacia la agricultura orgánica, jardinería urbana o en la recuperación de suelos. El compost se puede comercializar considerando los estándares de madurez y seguridad sanitaria, las normativas de calidad, etiquetado, certificación, y canales de distribución sostenibles.

Evaluación de los riesgos ambientales de la planta de compost. La OEFA (2023) que esto implica la identificación, análisis y mitigación de posibles impactos ambientales negativos derivados del funcionamiento de la planta, como emisiones de gases, lixiviados, vectores biológicos y malos olores. Se realizan estudios de impacto ambiental y análisis de riesgo, con el fin de prevenir la contaminación del suelo, aire y agua, protegiendo la salud pública y la biodiversidad.

Elaboración del instrumento de gestión ambiental. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2020) se refiere a la creación de herramientas formales como PMA, EIA y PAMA que son instrumentos fundamentales para la gestión y control ambiental de proyectos en Perú, buscan asegurar el cumplimiento de las normas ambientales establecidas por las autoridades competentes. El Plan de Manejo Ambiental (PMA) establecido por el MINAM (2011) como un instrumento técnico que ofrece medidas correctivas y preventivas en caso de actividades que afecten al medio ambiente, esta herramienta se realiza cada cinco años, en el proceso de evaluación de impacto ambiental, durante la vida útil de un proyecto. El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es un IGA (instrumento de gestión ambiental) preventivo, fue establecido en la ley 27446 y evalúa los efectos de una actividad o proyecto sobre el medio ambiente, identifica, predice, evalúa y analiza la propuesta de mitigación de los impactos ambientales, por eso, para la autorización de ciertos proyectos se puede solicitar EIA semidetallado o detallado, se realiza antes del inicio de un proyecto con el fin de identificar posibles impactos negativos. El Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) establecido por el MINAM (2009), que contienen medidas específicas (acciones y plazos) para prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales del proyecto. Este

instrumento es exigido por la normativa ambiental nacional y forma parte de la planificación estratégica para garantizar la sostenibilidad, se trata de un IGA (instrumento de gestión ambiental) correctivo, esto se realiza durante la ejecución del proyecto para eliminar o mitigar los impactos negativos que se ha identificado con el fin de cumplir las normativas.

En el caso del diseño de una planta de compostaje, como es el presente caso, aplica el Estudio de Impacto Ambiental porque se realiza antes del inicio de un proyecto.

2.2.3.6. Partes de la planta de compostaje.

Las partes más importantes de la planta de compostaje son la zona de tratamiento de los residuos orgánicos, las camas de compostaje, la zona de tamizaje, el depósito y la administración (Agroforestales C. A., 2024).

-Zona de tratamiento de los residuos orgánicos. Es el lugar de paso donde se descarga los residuos vegetales recogidos del distrito, se realiza el pesado, se selecciona lo que es útil de lo que no es útil y se realiza el picado.

-Camas de compostaje. También se les denomina pilas, literas o windows (en inglés) son los depósitos largos donde se ingresa los residuos orgánicos para su descomposición. Estos, generalmente son largos porque deben contener los residuos y permitir el volteado, el riego y el control del compostaje.

-Zona de tamizaje. Es el lugar adecuado para controlar la uniformidad del compost y para separar los bloques grandes, metales, fierros y plásticos.

-Depósito o almacén del producto orgánico. Cuando el producto orgánico ha alcanzado su punto de maduración debe retirarse y de las camas de compostaje y

debe disponerse en un almacén adecuadamente ventilado y asequible para la venta o la dispensación del producto, este es el papel del almacén.

-La administración. Es la oficina desde donde se controla el ingreso de material orgánico, el proceso de compostaje y la salida del producto. Debe estar provisto de una estrategia de contabilidad. Además, desde allí se debe atender a los visitantes, contratos y proyectos de mejora y de ampliación. (Agroforestales C. A., 2024)

2.2.3.7. Componentes químicos necesarios en el compostaje.

Se trata de los elementos esenciales que facilitan a los microorganismos el trabajo de descomposición eficiente de la materia orgánica. Según Díaz et al. (2007) estos elementos son:

Carbono (C). cumple la función de dotar de energía a los microorganismos descomponedores. El carbono se encuentra en los residuos secos como el aserrín, las hojas secas, cartón y papel. El carbono debe estar presente en mayor proporción frente al nitrógeno: relación de 25:1 a 30:1.

Nitrógeno (N). Este componente favorece la síntesis de proteínas y el crecimiento de microorganismos. Se puede encontrar en los restos de frutas, estiércol fresco, vegetales y césped cortado. Su deficiencia ralentiza la descomposición y su exceso provoca malos olores por la presencia de amoníaco.

Oxígeno (O₂). Es un componente indispensable para el compostaje aeróbico, favorece la respiración microbiana, y esto se facilita con el volteado del compost y con el diseño de estructuras aireadas para el compostaje. Su deficiencia genera condiciones anaeróbicas y malos olores.

Agua (H_2O). la humedad mantiene la actividad microbiana y la descomposición.

La condición óptima es cuando se da entre 40% y 60%. Su exceso favorece la anoxia o falta de oxigenación, y su carencia detiene el proceso biológico.

En el compostaje también hacen falta micronutrientes como fósforo (P) que apoya la reproducción microbiana, azufre (S), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) que favorecen las funciones metabólicas de los microorganismos, potasio (K) que mejora la calidad del compost como fertilizante.

La composición química más importante se da en la relación carbono (C) – nitrógeno (N). Proporción de C/N menor a 20/1 indica que hay exceso de nitrógeno y genera mal olor. Proporción de C/N mayor a 40/1 indica carencia de nitrógeno. Una relación fuera del rango ideal impide que el compostaje sea eficiente (Bernal, Albuquerque, & Moral, 2009).

2.2.3.8. Fases del compostaje.

El compostaje se desarrolla en cuatro fases, el primero es la fase mesofílica, la segunda la fase termofílica, el tercero la fase de enfriamiento, y el cuarto la fase de maduración (Díaz, Savage, Eggerth, & Goleuke, 2007). En seguida se hace una representación gráfica de las cuatro fases del compostaje.

Figura 03

Fases del compostaje.



Nota: Tomada de Agroforestales C. A. (2024).

Fase mesofílica. Es la fase en que los microorganismos se adaptan al medio y se reproducen gracias a la una temperatura y humedad adecuadas. Esta fase de inicio puede durar entre 3 y 5 primeros días, la temperatura va entre 20° y 40°C (Bernal, Albuquerque, & Moral, 2009).

Fase termofílica. Gracias a la acción de los microorganismos se incrementa la temperatura, esto puede ser de 40° a 70°C (Sundberg & Jönson, 2008), con este incremento de la temperatura se multiplican las bacterias termofílicas. Esta fase puede durar de 1 a 4 semanas. En esta fase los microorganismos termófilos degradan la celulosa, la hemicelulosa, las grasas y las proteínas complejas, esto permite que se llegue a la máxima degradación del material orgánico en tratamiento, también llamado descomposición activa. Se da la sanitización o destrucción de patógenos y de semillas.

Fase de enfriamiento. Es la etapa de lenta maduración del compost porque desciende progresivamente la temperatura hasta encontrarse entre 25° y 40°C. En esta fase los microorganismos mesófilos reaparecen y continúan su trabajo de descomponer el material resistente como también la lignina o la pared celular rígida, resistente y leñosa. Esta fase puede durar semanas o meses, dependiendo de las características del material orgánico (Haug, 1993).

Fase de Maduración o Curado. Es la etapa de humificación y de estabilización del material orgánico reduciendo su toxicidad y alcanzando su estado definitivo de humus (Bernal, Albuquerque, & Moral, 2009). La temperatura va de 20° a 25°C (temperatura ambiente) y el volteado del material es menos intensivo; sin embargo, se debe evitar que se seque o fermente. Esta fase puede durar de 1 a 3 meses.

Fase de cernido y almacenamiento. Esta ya es una fase complementaria en vistas de la comercialización del compost. Se trata de separar, cernir o depurar el compost maduro de las partículas grandes y no descompuestas. Finalmente, el compost se almacena en un lugar seco y sombreado y con suficiente ventilación. El siguiente paso es el uso del compost. En caso de que se comercialice, requiere de envasado y etiquetado donde se informe sus propiedad físico-químicas (pH y nutrientes) (Díaz, Savage, Eggerth, & Goleuke, 2007).

Considerando los tiempos desde la fase de inicio hasta la maduración el proceso de compostaje puede durar entre tres y cuatro meses, además de ello debemos considerar las variables según la FAO. (2021). y la (NTP, 2021) presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 02: Variables de control de calidad del compost según FAO y Norma Peruana (NTP 201.208:2021)

Variable	Unidad	FAO (valores referenciales)	Norma Peruana (NTP 201.208:2021)
pH	-	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Humedad	%	30 – 40 %	35 – 50 %
Materia orgánica (MO)	%	> 20 %	≥ 20 %
Relación C/N	-	10:1 – 15:1	≤ 25 (referencial de madurez)
Nitrógeno total (N)	%	0.3 – 1.5 %	Según especificación del producto
Fósforo (P₂O₅)	%	0.1 – 1.0 %	Según especificación del producto
Potasio (K₂O)	%	0.3 – 1.0 %	Según especificación del producto
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	< 3 dS/m	Parámetro obligatorio (sin rango fijo general)
Densidad aparente	kg/m ³	No especificado	550 – 850 kg/m ³
Tamaño de partícula	mm	< 25 mm (recomendado)	≤ 25 mm
Metales pesados (Pb, Cd, Cr, Hg, Ni, Zn, Cu)	mg/kg	Límites recomendados	Límites máximos obligatorios establecidos
Salmonella	NMP/25 g	Ausencia	Ausencia obligatoria
Coliformes fecales	NMP/g	< 1000	≤ 1000
Huevos de helmintos	huevos/g	< 1	≤ 1
Estabilidad (respiración)	mg O ₂ /g MO/día	Baja actividad	Requerido (indicador de madurez)
Índice de germinación	%	> 80 %	≥ 80 % (indicador de fitotoxicidad)

Nota: FAO (guías de compostaje) y Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 (INACAL).

2.2.3.9. Beneficios del compostaje.

Toda materia orgánica pasa por un proceso de descomposición, el cual, a consecuencias de sus procesos internos y de la intervención de microorganismos emite CO₂ (dióxido de carbono) y CH₄ (metano), los cuales producen el efecto invernadero. Vale precisar que el metano es un gas con aproximadamente 84 veces más alto poder contaminante en un período de 20 años.

Una tonelada de materia orgánica (1000 kgs) en condiciones anaeróbicas, es decir, sin tratamiento de oxigenación, puede producir entre 500 a 1000 kgs de CO₂ (dióxido de carbono), y 60 a 150 kgs de metano. Esto es variable en razón de la humedad, la temperatura y de material orgánico que se tiene (IPCC, 2006).

El residuo orgánico en condiciones aeróbicas, es decir, con la oxigenación que se le da en el proceso de compostaje, el dióxido de carbono (CO₂) puede ser de 300 a 500 kgs y el metano puede reducirse a 1 kg (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008).

En síntesis, en el proceso de compostaje se oxigena al material orgánico y gracias a este proceso hay menor producción de dióxido de carbono y metano, menor contaminación del planeta y menor producción de efecto invernadero.

2.3. Marco legal

Esta investigación está viabilizada por las siguientes disposiciones legislativas y normativas:

Constitución Política del Perú

En el art. 67 se trata acerca de la política ambiental, en dicho artículo se menciona que el estado determina la política nacional del medio ambiente, también, tiene la responsabilidad de favorecer el adecuado uso de los recursos naturales.

Ley 28611, ley general del ambiente.

Esta ley ha determinado los artefactos de la administración ambiental de nivel local, nacional, sectorial y regional, asimismo, da a conocer la necesidad del ordenamiento territorial ambiental y de los efectos de la actividad humana en el medio ambiente y ordena planes de cierre y de contingencias.

En cuanto a la calidad, ofrece los estándares de calidad ambiental, exige la certificación ambiental para las empresas, las garantías del medio ambiente y la necesidad de que el estado ofrezca sistemas seguros y asequibles de información ambiental (Congreso de la República del Perú, 2005).

La mencionada ley sigue vigente, aunque modificada en parte por el D. L. 1055, La Ley N° 29263 y la Ley N° 29895. Esta ley es autoaplicativa.

Decreto Supremo n° 023-2021-MINAM - Política Nacional del Ambiente – PNA

La Resolución Ministerial N° 242-2019-MINAM sobre las Políticas nacionales del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) fue actualizada y aprobada mediante el DS N° 023-2021-MINAM que establece la política ambiental del Perú al 2030 (MINAM, 2021)

Decreto Legislativo 1278 y ley n° 32212.

El Decreto Legislativo N.º 1278 establece la Ley de Gestión Integral para el tratamiento de los Residuos Sólidos, esta deroga la Ley N° 27314 (Ley General de Residuos Sólidos).

El DL N° 1278 fue promulgado el 23/dic/2016 y entró en vigencia tras la publicación del respectivo reglamento. Cabe precisar que también esta ley fue modificada el año 2024 por la ley 32212, la cual, introduce una visión moderna y más integral para gestionar los residuos sólidos en el país, alineándose con principios de valorización de residuos, economía circular y responsabilidad extendida del productor.

La ley n° 32212 fortalece el rol del Ministerio del Ambiente (MINAM) como ente rector y transfiere competencias clave a entidades como la OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) y el SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles).

Esta nueva legislación busca mejorar la eficiencia al momento de utilizar los materiales, promover la minimización de los residuos desde su origen y garantizar una adecuada disposición final, contribuyendo así a la protección de la salud pública y del medio ambiente.

Según los artículos 21 al 24 del DL 1972 los gobiernos regionales, las municipalidades de las provincias y de los distritos tienen responsabilidades ineludibles en el tratamiento de los residuos sólidos. Estas autoridades deben establecer las condiciones que favorezcan directa o indirectamente el beneficio económico de las entidades o personas dedicadas a la segregación y minimización de residuos en la fuente para su consiguiente reaprovechamiento.

La gestión de recursos sólidos según su procedencia doméstica, comercial o similar están en la responsabilidad de los diversos gobiernos locales. Al referirse a residuos de origen doméstico comercial y similares da cabida también a los residuos de la jardinería doméstica, de la jardinería pública y de la actividad agrícola.

Decreto Supremo N° 057-2004-PCM que aprueba el Reglamento de la ley general de residuos sólidos

Este reglamento fue aprobado el 24 de julio del 2004 y fue dado para dar a conocer públicamente las normas y procedimientos para la gestión de residuos sólidos. El documento prioriza tres grandes aspectos que son:

- La prioridad de la reducción de los residuos.

- El uso eficiente de los recursos materiales.
- La percepción de los residuos no como amenazas, sino como recursos.

La nueva Ley es una posibilidad para mejorar el servicio y la administración de residuos a lo largo del Perú. Se le ha otorgado estatus de servicios público al servicio de aseo pública (Presidencia de la República del Perú, 2017).

Respecto a su vigencia: la ley 27314 que sustenta al DS N° 057-2004-PCM fue derogada y reemplazada por el DL N° 1278, el reglamento sigue vigente.



CAPÍTULO III

3. Metodología propuesta

3.1. Tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Según el tipo, las investigaciones pueden ser básicas o aplicadas. Esta investigación fue de tipo básica. La investigación básica es la que busca información, características, factores y formas de presentarse del problema, sin embargo, no contribuye directamente al cambio de la situación problemática (Hernández & Mendoza, 2018). En esta investigación se obtuvo información de viabilidad social, técnica y económica, además, se propuso un diseño de planta de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos y la utilización beneficiosa de la misma. De esta manera, a futuro o de manera indirecta se favorecerá el adecuado tratamiento de los residuos y la generación de abono orgánico, tan necesario para las labores agrícolas.

3.1.2. Nivel de investigación

Según el nivel o alcance de la investigación, una investigación puede ser descriptiva, propositiva, exploratoria, correlacional, comparativa, explicativa o predictiva. Esta investigación fue descriptiva-propositiva. La investigación descriptiva caracteriza de manera detallada un contexto o población, y la investigación propositiva ofrece una propuesta de mejora pertinente frente a una situación problemática real y de considerable importancia (Hernández & Mendoza, 2018).

En esta investigación se describió la necesidad de adecuada limpieza, de oportuna colocación de los restos orgánicos para evitar la proliferación de roedores e

insectos y la necesidad de abono orgánico para la agricultura. Además, se propuso el diseño de una planta de compostaje que cuenta con adecuación de espacios y cumplimiento de disposiciones normativas.

3.1.3. Enfoque de investigación

Los enfoques de la investigación son el cuantitativo y el cualitativo. Esta investigación es de enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo recoge información numérica y lo analiza estadísticamente para responder a las exigencias de los objetivos (Hernández & Mendoza, 2018). En esta investigación se recogió información numérica, es decir, información acerca de cantidades de materia orgánica, medidas de espacios, costos y tiempos de duración que se presentaron de manera estadística y organizada.

3.1.4. Diseño de investigación

Según la profundidad, las investigaciones pueden ser experimentales y no experimentales. La investigación no experimental no manipula directamente la variable independiente para ver sus efectos en la variable dependiente, sino que conoce a fondo el problema (Hernández & Mendoza, 2018). Esta investigación fue no experimental porque dio a conocer el problema del distrito de Yarabamba de la falta de adecuada colocación de residuos orgánicos y la viabilidad técnica, ambiental y económica de una planta de compostaje.

Según el número de aplicaciones de instrumentos la investigación puede ser longitudinal y transversal. Para responder a los objetivos de esta investigación se requirió la aplicación de corte transversal. La investigación transversal consiste en obtener información aplicando una sola vez los instrumentos (Hernández & Mendoza, 2018). Es así que en esta investigación la información sobre las

características de los residuos orgánicos, los costos del transporte, el costo de venta del compost, la información técnica, ambiental y económica se obtuvieron en una sola ocasión.

3.2. Población y muestra

La población de la presente investigación fue variada debido a que el estudio se basó en información de las familias del Distrito de Yarabamba de los años 2020 y 2024 y en datos de SIGERSOL de los años 2023 y 2024 sobre el tratamiento de residuos orgánicos en el Distrito de Yarabamba.

En los estudios se incluyó a las familias que viven en el Distrito de Yarabamba en los sectores de El Cerro, San Antonio y Sogay, se recogió información de las familias que producen residuos orgánicos.

Tabla 03

Población de estudio.

<i>Años</i>	<i>F</i>
Año 2020	1311 familias
Año 2024	1952 familias

Nota: Elaboración propia

En esta investigación se trabajó con la población de familias, no se aplicó la fórmula matemática para determinar la muestra.

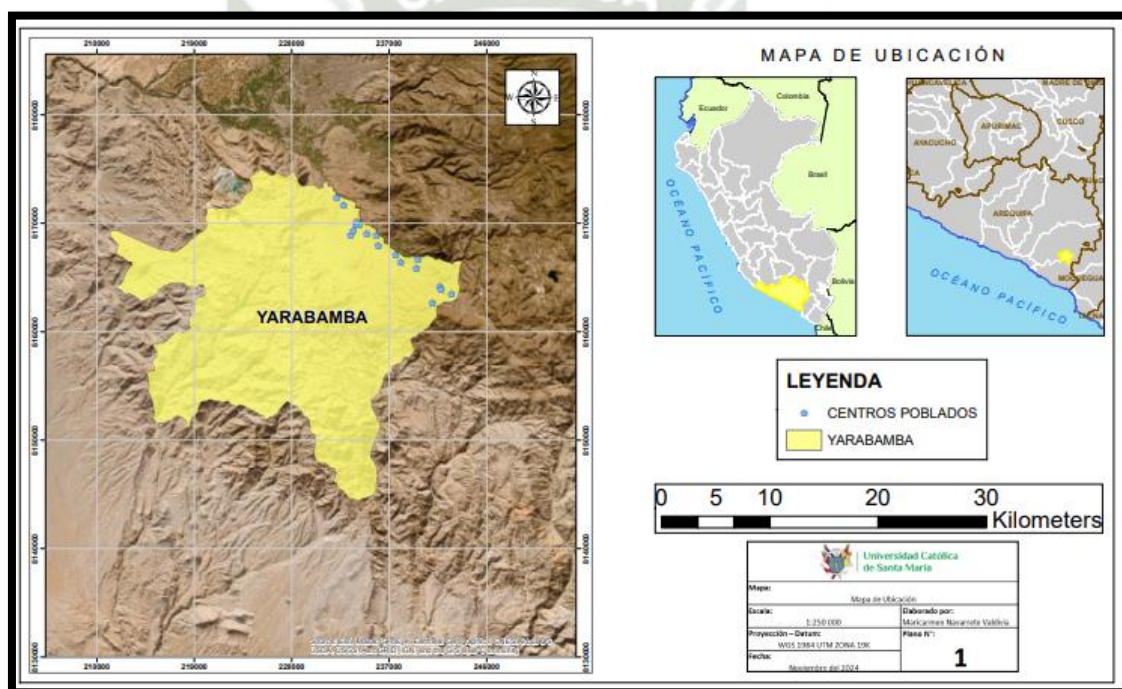
Asimismo, se recogió información de los directivos y del personal profesional relacionado con la gestión de residuos orgánicos de dicha municipalidad. también es importante precisar que para la caracterización de los residuos orgánicos se tomó muestras de residuos que se analizaron en el laboratorio en los años 2020 y 2024.

3.3. Contexto del estudio

El estudio se realizó en el Distrito de Yarabamba de la Provincia y Región de Arequipa-Perú. Esta Municipalidad Distrital cuenta con las siguientes áreas de gestión: Gerencia de Medio Ambiente y Servicios Públicos, Gerencia de Infraestructura y Desarrollo Urbano Rural, Gerencia de Promoción Social y Desarrollo Económico Local, y Gerencia Municipal.

Figura 04

Mapa De Ubicación Del Distrito De Yarabamba.



Nota: Elaboración propia en base a la data de shapefile geo gps-Peru.

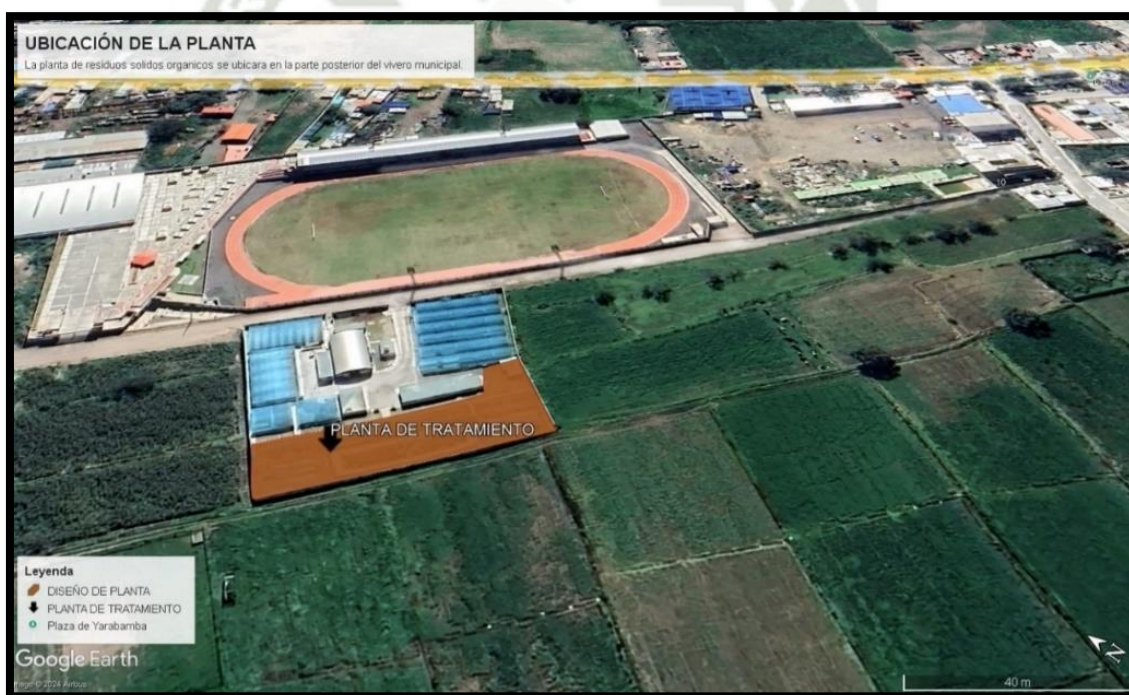
Por exigencia del gobierno central, la Municipalidad de Yarabamba tiene la obligación de contar con estudios de gestión de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos), esto lo cumple recurriendo a equipos de profesionales especializados en el tema. La Gerencia de Medio Ambiente y Servicios Públicos se encarga de coordinar y ejecutar esta responsabilidad. Los años 2020 y 2024 realizaron estudios de caracterización de los

residuos sólidos, los resultados están a disposición de los ciudadanos en la referida gerencia.

Actualmente se tiene en mente la creación de una planta de compostaje municipal, para ello se ha separado un espacio adecuado. Urge la creación de compostaje municipal principalmente por dos razones: el progresivo incremento de residuos orgánicos domiciliarios y municipales, y la necesidad de abono orgánico para el vivero y la jardinería municipal; sin embargo, aún no se cuenta con el presupuesto necesario ni con el proyecto para iniciar los estudios de presupuestaje y ejecución.

Figura 05

Vista de ubicación de la planta



Nota: Elaboración propia en base a imagen obtenida de www.googleearth.com

El área destinada para la construcción de la futura planta de tratamiento de residuos orgánicos mide 1222.56 m², esto se especifica al detalle más adelante en el diseño de la planta de compostaje.

3.3. Técnicas, instrumentos y fuente de recolección de información

3.3.1. Técnica.

Para la obtención de información se utilizó la técnica de análisis documental. El análisis documental consiste en extraer información de un documento de fuente secundaria recopilada con anterioridad (Hernández & Mendoza, 2018). En la presente investigación, la información se obtuvo del Informe de caracterización de residuos sólidos municipales de los años 2020 y 2024.

3.3.2. Instrumentos.

El instrumento es el medio físico o virtual que contiene los diversos ítems para la recolección completa y ordenada de la información de campo (Hernández & Mendoza, 2018). En esta investigación se utilizaron instrumentos mecánicos y documentales.

Entre los instrumentos mecánicos están: La balanza, termómetro tipo varilla, tamiz, ph-metro, conductímetro, fichas de registro de volteo y monitoreo.

Entre los instrumentos documentales están: la ficha de revisión documental, del Estudio de Caracterización de Residuos 2020-2024.

Todos estos instrumentos se pueden apreciar de manera integrada en la operacionalización de variables. En seguida se describe cada uno de los instrumentos.

a. Ficha de revisión documental.

Este instrumento responde a la exigencia del primer objetivo específico y recogió información de fuente secundaria, del Informe de caracterización de residuos sólidos de la Municipalidad de Yarabamba de los años 2020 y 2024 en aspectos como los residuos orgánicos producidos per cápita, el tonelaje anual de residuos

orgánicos que se deposita en el botadero de Quebrada Honda y los requerimientos de planta de compostaje.

b. Instrumento de determinación de los impactos ambientales con la matriz de Conesa.

En atención al tercer objetivo se ha decidido determinar los impactos ambientales con la matriz de Conesa. Se prefirió la matriz de Conesa frente a la matriz de Leopold porque el primero es más objetivo; en cambio, el segundo es más subjetivo. Con este instrumento se recoge información de fuente primaria mediante la percepción de los profesionales sobre diversos aspectos del impacto ambiental.

Conesa (2010) es autor del libro “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental” en el que propone una evaluación cuantitativa de los impactos ambientales. La aplicación de esta matriz implica seguir unos pasos sistemáticos que permitan identificar, valorar y priorizar los efectos ambientales que puede tener la planta de compostaje.

Este instrumento evalúa en su fase vertical y horizontal. En la fase vertical se tiene en cuenta la construcción de la planta, la operación y el cierre. En la fase horizontal se cuida la flora, fauna, tierra, aire y el agua.

Este instrumento evalúa los siguientes aspectos: Identificó las acciones propias del proyecto, precisa los efectos ambientales que puede tener el proyecto, la evaluación según una matriz, el análisis y la priorización de los factores, conclusiones y medidas de mitigación.

Los pasos previos realizados deben conducir a la toma de decisiones ejecutivas, de tal manera que los impactos ambientales se puedan reconocer y mitigar. Nunca

un estudio se realiza para darse la razón a los procedimientos, sino con el propósito de realizar mejoras y de realizar cuidado ambiental más eficaz. Con base en los resultados de la matriz y el reconocimiento de prioridades se puede realizar acciones como: implementación de sistemas de control de olores utilizando biofiltros o utilizando cobertores, impermeabilización del piso realizando el vaciado con concreto armado para evitar la acumulación inadecuada de lixiviados, cobertura de pilas de material orgánico para evitar la dispersión del material orgánico, monitoreo permanente para evitar la presencia de insectos.

La matriz de Conesa (2010) es bastante objetiva y se constituye en una buena herramienta para para la realización de correcciones de los impactos ambientales.

3.3.3. Fuente de información.

La fuente de información del primer instrumento fue secundaria porque se analizó los datos de documentos ya existentes: la primera parte es información proveniente del informe de caracterización de residuos sólidos, estos datos se obtuvieron de la Municipalidad de Yrabamba. La otra fuente de información fue el informe de SIGERSOL (2023 y 2024), asimismo, el diseño de la planta de compostaje se elaboró considerando las normativas nacionales. Finalmente, con la matriz de Conesa se obtuvo información de fuente primaria.

3.4. Operacionalización de las variables.

Tabla 04

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala	Técnica/ Instrumento
Variable independiente: Diseño de planta de compostaje.	1. Evaluación de caracterización de residuos orgánicos	Cantidad de residuos orgánicos	1. Cantidad de residuos orgánicos que se recolecta.	Kg/habit ante	Observación /balanza
		Tipo de residuos orgánicos	2. Tipo de residuos orgánicos que se recolecta.	Abierta.	Revisión documental/Ficha de revisión
	2. Selección de residuos orgánicos	Separación en fuente	3. Separación de residuos en origen?	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Capacitación al personal	4. Capacitación del personal en el tema de segregación de residuos.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	3. Caracterización físico-química	Análisis de humedad, pH y C/N	5. Caracterización físico-química de los residuos.	%	Observación/Peachimetro
		Equilibrio de componentes	6. Equilibrio de componentes de material orgánico para el compost?	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	4. Características estructurales de la planta de compostaje	Infraestructura adecuada	7. Planta de tratamiento con áreas claramente delimitadas para recepción, volteado y maduración.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Condiciones de ventilación y drenaje	8. Implementación del sistema de ventilación.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Condiciones de drenaje	9. Implementación del sistema de drenaje.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Registro de temperatura y humedad	10. Diseño con control periódico de temperatura.	°C	Observación / Termómetro

	5. Monitoreo del proceso de descomposición	Registro de humedad	11. Registro con control periódico de humedad.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Ajustes durante el proceso	12. Diseño con posibilidad de ajustes y correcciones según las condiciones del compostaje.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	6. Comercialización y uso del compost	Cumplimiento de normas de calidad	14. Cumplimiento de los parámetros de calidad del compost.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Canales de distribución	13. Diversos medios de comercialización de compost.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	7. Determinación de impactos ambientales	Control de lixiviados	15. Implementación de medidas para el control y el tratamiento de lixiviados.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Control de olores	16. Implementación de medidas para el control o tratamiento de olores.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Evaluación ambiental previa	17. Realización del estudio de impacto ambiental del diseño de compost.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	Variable dependiente: Gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos.	Creación de beneficios a largo plazo.	20. Beneficios del proyecto de compostaje a largo plazo para el distrito.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Conservación de los recursos naturales.	21. Inocuidad del proyecto contra los recursos naturales como la flora y la fauna.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Innovación tecnológica	22. Uso de nuevos métodos y técnicas de tratamiento de residuos orgánicos.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	Sostenibilidad social.	Hay condiciones de equidad y justicia social.	23. El beneficio social de trabajo a partir del proyecto de compostaje.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
		Cuidado de la salud de la población.	24. Favorecimiento de la salud poblacional a partir del recojo ordenado y el tratamiento de los residuos.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión

Sostenibilidad ambiental.	Atención a sugerencias y reclamos	25. Atención a las sugerencias y reclamos sociales en el proyecto de compostaje.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	No generar impactos negativos.	26. Evitación de impactos ambientales negativos.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión
	Utilización de tecnologías limpias.	27. Uso de tecnologías limpias en el diseño del proyecto.	Sí/No	Revisión documental/Ficha de revisión

Nota: Elaboración propia



3.5. Métodos de la investigación.

El objetivo general ha solicitado diseñar una planta de compostaje para la gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos, este objetivo se desarrolló en cada una de los objetivos específicos, por eso, en seguida se detalla la metodología utilizada para cada uno de esos objetivos. Todos los pasos que se indican aquí se desarrollaron en el capítulo IV de esta investigación.

a. Objetivo específico 1

En vistas de evaluar la caracterización de los residuos orgánicos generados en Yarabamba se ha realizado en dos pasos: primero se realizó un estudio de la infraestructura y de los procedimientos que hay como línea base para el tratamiento de los residuos. Como segundo paso se caracterizó propiamente los residuos orgánicos en cuanto a cantidad de recolección, componentes químicos, etc.

a.1. Caracterización de la infraestructura actual del compostaje de la Municipalidad de Yarabamba.

Se describió y evidenció con fotografías el tratamiento de los residuos orgánicos de la municipalidad de Yarabamba que se arroja en Quebrada Honda y el resto que se procesa en el propio compostaje provisional.

Como información introductoria necesaria para responder a este objetivo se obtuvo información acerca de la situación actual del compostaje municipal, para esto, se recurrió a la observación personal de la investigadora y a la información publicada por SIGERSOL y otra publicada por la propia Municipalidad de Yarabamba. En seguida se da a conocer el formato de recolección de información.

Tabla 05

Formato de recogida de información de SIGERSOL.

Ítems	2023	2024
Administración		
Personal de recolección de residuos en general		
Tramo de recojo diario de residuos orgánicos		
Costo anual de la gestión de residuos		
Contenedores ubicados en vías y parques para el recojo de residuos		
Litros diarios de recolección de residuos		
La municipalidad ¿cuenta con servicio de recolección para aprovechamiento de residuos orgánicos?		
Periodicidad de la recolección de residuos orgánicos		
Toneladas de recolección de residuos orgánicos anuales		
Toneladas de recolección de residuos orgánicos mensuales		
Nº de plantas de valorización		
¿Cuenta con ordenanza que regula el manejo de residuos sólidos?		
¿Cuenta con el plan de manejo de residuos sólidos?		
¿Cuenta con oficina de gestión ambiental?		
¿Cuenta con promotores ambientales comunitarios?		
Nota: Elaboración propia		

Este formato está pensado en los años 2023 y 2024 porque son esos los años en que esta institución ejecutó el levantamiento de información de la Municipalidad de Yarabamba.

a.2. Caracterización de los residuos orgánicos del compostaje que se realiza en la Municipalidad de Yarabamba.

Ahora sí se presenta la información directamente solicitada sobre la caracterización de los residuos orgánicos de la Municipalidad de Yarabamba. Esa información se obtuvo del informe de SIGERSOL y de la misma Municipalidad de Yarabamba.

Para la información se implementó principalmente dos esquemas: uno para la caracterización física y otro para la caracterización química. La caracterización física se

hizo con datos ofrecidos por el Estudio de caracterización de los residuos de la Municipalidad de Yarabamba de los años 2020 y 2024.

Tabla 06

Formato de caracterización de los residuos sólidos orgánicos

Ítems	2020	2024
Proveniencia de los residuos orgánicos		
Frecuencia de recolección de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) del distrito según opinión de los pobladores		
Residuos de alimentos		
Residuos de maleza y poda		
Otros orgánicos (estiércol)		
Viviendas y familias generadoras de residuos		
Generación de residuos per cápita diarios		
Generación de residuos orgánicos per cápita diarios		
Proporción de los residuos orgánicos en los residuos domiciliarios		
Proporción de los residuos orgánicos en los residuos no domiciliarios		
Proporción de los residuos orgánicos en los residuos totales		
Densidad de los residuos no domiciliarios		
Densidad de los residuos domiciliarios		
Densidad promedio de los residuos totales		
Humedad de los residuos sólidos inorgánicos		
Humedad de los residuos sólidos orgánicos		

Nota: Elaboración propia

La caracterización química de los residuos se tomó del informe de la empresa Analitical Laboratory E.I.R.L. (2025).

Tabla 07

Formato para el análisis biológico-químico del fertilizante orgánico.

Componente	Unidad	LDM	LCM
Humedad			
Conductividad			
Relación Carbono/Nitrógeno			
PH			
Nitrógeno total			
Impurezas (material extraño)			
Cloruro			
Azufre			
Boro			
Calcio			
Cobre			
Fósforo			
Hierro			
Magnesio			
Potasio			
Sodio			
Zinc			
Arsénico			
Cadmio			
Cromo			
Mercurio			
Níquel			
Plomo			
Huevos de helmintos			
Coliformes			
Salmonella SPP			
Eschericchia Coli			
Nota: Elaboración propia			

b. Objetivo específico 2

Para diseñar la planta de compostaje se presenta una justificación, un soporte teórico basado en las normativas emitidas por el estado peruano. Apoyado en los aportes que se acaba de mencionar se realizó el diseño de la planta de compostaje con el software Autocad.

El diseño se hizo en un área de 1222.56 m² considerando todos los espacios mínimamente necesarios, estos son: zona de pesaje, de picado de los residuos, de armado de camas y de tamizado. Se cuenta con almacén, salas de recepción de visitantes, administración y área de parqueo de vehículos.

Diseñar la planta de compostaje también implica describir el proceso de compostaje, por eso, se implementó el siguiente procedimiento a seguir:

- Diagrama de flujo para el proceso de compostaje.
- Explicación de todo el proceso de compostaje desde la recolección de los residuos hasta la utilización del compost.
- Implementación de materiales y herramientas.
- Implementación de maquinarias.
- Propuesta de cronograma tentativo de ejecución.
- Evaluación y monitoreo del proceso.

c. Objetivo específico 3

La determinación del impacto ambiental se realizó con la matriz Conesa que tiene varios pasos, estos son:

-Se identificó las acciones del proyecto. Para la identificación de las acciones del proyecto se ha implementado el siguiente esquema:

Tabla 08

Esquema de actividades de la fase de operación

Actividad	Acciones
Recolección de residuos orgánicos	
Transporte de residuos orgánicos	
Preselección y separación	
Triturado y homogenización	
Mezcla y formación de camas o hileras	
Monitoreo de la humedad y de la temperatura	
Volteado periódico de materia orgánica	
Maduración del compost	
Tamizado o envasado	
Almacenamiento y distribución	

Nota: Elaboración propia

-Identificación de los factores ambientales. Para conocer la afección de la planta en los componentes del medio ambiente se ha diseñado el siguiente esquema:

Tabla 09

Esquema para la identificación de factores ambientales

Actividad	Acciones
Afección al aire	
Afección al agua	
Afección al suelo	
A la fauna	
A la flora	
A la salud humana	

Nota: Elaboración propia

-Conformación de la matriz. La matriz permite evaluar la afección contra el aire, el agua, la tierra, la flora, la fauna, etc.

Tabla 10

Formato para las actividades de identificación de factores ambientales

Acciones	Factores	Afección al aire
		(N+G+EG+T+P+R+Re+S+A+Ef+Pe+C)
Recolección de residuos orgánicos.		
Transporte de residuos orgánicos.		
Preselección y separación.		
Triturado y homogeneización.		
Mezcla y formación de pilas o hileras.		
Monitoreo de la temperatura y la humedad.		
Volteado periódico de materia orgánica.		
Maduración del compost.		
Tamizado y envasado.		
Almacenamiento y distribución.		
Nota: Elaboración propia		

Este formato se aplicará para el análisis de la afección al agua, el suelo, la flora, la fauna y a la vida humana.

-Análisis y priorización. Esta fase se realiza con el siguiente esquema:

Tabla 11

Esquema para la evaluación de las diversas fases del proceso.

<i>Ítems</i>	<i>Impacto bajo: Aceptar</i>	<i>Impacto moderado: Monitorear</i>	<i>Impacto alto: Mitigar</i>	<i>Impacto crítico: Eliminar o cambiar</i>
Recolección de residuos orgánicos /salud humana (04 puntos).				
Preselección y separación / salud humana (03 puntos).				
Triturado y homogeneización / salud humana (04 puntos).				
Monitoreo de humedad y temperatura / salud humana (04 puntos).				
Volteado periódico de la materia / aire (07 puntos).				
Volteado periódico de la materia / suelo (04 puntos).				
Volteado periódico de la materia / salud humana (15 puntos).				
Maduración del compost / aire (10 puntos).				
Maduración del compost / agua (04 puntos).				
Maduración del compost / suelo (09 puntos).				
Maduración del compost / flora (03 puntos).				
Maduración del compost / fauna (03 puntos).				
Maduración del compost / salud humana (08 puntos).				
Tamizado y envasado / salud humana (08 puntos).				
Almacenamiento y distribución / aire (04 puntos).				
Almacenamiento y distribución /salud humana (04 puntos).				

Nota: Elaboración propia

-Conclusiones y medidas de mitigación. Ante los impactos ambientales más pronunciados se propuso tres medidas de mitigación.

d. Objetivo específico 4

Los procedimientos para una adecuada gestión sostenible se han elaborado considerando los tres grandes aspectos que son el económico, social y ambiental.

Sostenibilidad económica.

Se realizó un análisis de los costos del diseño de la planta de compostaje, para esto se ha implementado el siguiente esquema.

Tabla 12

Esquema de requerimientos y costos de la planta de compostaje

<i>Requerimientos</i>	<i>Especificación</i>	<i>Costos en s/</i>
Requerimientos de infraestructura	01 depósito de herramientas.	
	01 sala múltiple.	
	04 camas de 8 m de largo	
	Construcción del perímetro	
Requerimientos de equipos y materiales	Vaciado del piso	
	Vehículo de transporte de residuos orgánicos	
	Máquina volteadora de compost autopropulsora.	
	Máquina trituradora de ramas y maderas.	
	Balanza electrónica industrial de 100 kg. de capacidad.	
Requerimientos de herramientas:	04 cobertores de lona plastificada	
	02 carretillas.	
	02 picos.	
Total:	02 trinchas de trabajo agrícola.	

Nota: Elaboración propia

La primera finalidad de producción de compost es el uso en la jardinería municipal, esto generará un ahorro considerable a la institución porque no se requerirá hacer uso de nutrientes complementarios, además, el compost natural contribuirá al crecimiento y a la belleza de las plantas.

Una vez abastecida la necesidad de compost, se podrá comercializar el compost excedente para los usos de jardinería o de la agricultura.

Sostenibilidad social.

Se propone el trabajo coordinado con el Área de cultura de la Municipalidad de Yarabamba para implementar un presupuesto promocionar la segregación de los residuos orgánicos en todo el distrito, tanto en la población como en el personal de la misma municipalidad. Este proyecto se potenciará con la conformación de un equipo de capacitadores y la implementación de textos impresos.

El esquema del presupuesto de promoción es el siguiente:

Tabla 13

Esquema de los costos económicos de la capacitación de estudiantes y familias

<i>Requerimientos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo en s/</i>
Trípticos impresos sobre segregación de residuos – para escolares		
Trípticos impresos sobre segregación de residuos para las familias		
Equipo capacitador de practicantes de la carrera de ingeniería ambiental por 3 meses (s/ 1050.00 mensual)		
Materiales: lapiceros, papeles y megáfono.		
Costo total:		

Nota: Elaboración propia

Propuesta de sostenibilidad ambiental.

En esta propuesta se ha tenido en cuenta la norma ISO 14001 sobre la gestión ambiental y el ISO 14064 sobre el control de gases de efecto invernadero. Es así que se diseñó el siguiente proceso:

- Control y cuidado del medio ambiente.
- Provisionamiento de recolectores.
- Recolección diferenciada de residuos orgánicos.
- Diseño de rutas de recolección.
- Reducción del volumen de residuos.

La planta favorecerá la constitución de una economía circular, la capacitación del personal, el autosostenimiento económico y evita la contaminación ambiental que provocan los residuos sin tratamiento.

3.6. Procedimientos de obtención de información

En esta investigación fue necesario obtener información principalmente para los objetivos específicos 1 y 3; sin embargo, para el objetivo específico 2 se diseñó la planta de compostaje, y para el objetivo 4 se propuso procedimientos de gestión sostenible. En seguida se describe la obtención de información para los objetivos 1 y 3.

El objetivo específico 1 exige caracterizar los residuos orgánicos generados en el distrito de Yarabamba 2020-2024. Este objetivo implica una caracterización sociodemográfica de los generadores de residuos orgánicos y la caracterización físico química de los residuos acumulados en el distrito. Realizar este trabajo iba a ser muy costoso y amplio en el tiempo.

Ante la mencionada dificultad se supo que la Municipalidad Distrital de Yarabamba en los años 2020 y 2024 se había contratado estudios a importantes consultoras de servicios ambientales sobre la caracterización de la gestión de residuos sólidos. En el presente estudio se aprovechó la ventaja existente y se solicitó acceder a los resultados del estudio de caracterización de residuos orgánicos realizados en los años 2020 y 2024. Se obtuvo la información solicitada bastante amplia, cuyos extractos más importantes se presentan en el anexo 1. Extrayendo información de esa fuente secundaria con la técnica del análisis documental se elaboró las tablas 03 al 05 y las figuras 06 al 17 correspondientes al objetivo específico 1.

El objetivo específico 3 exige determinar los impactos ambientales del proyecto de compostaje. Para determinar el impacto ambiental se realizó una evaluación adelantada con la Matriz Conesa con la participación de 03 ingenieros ambientales, quienes ofrecieron su percepción sobre el impacto ambiental de la planta de compostaje (tablas 10 al 14).

CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusión

En seguida se presenta los resultados de la investigación para cada uno de los objetivos siguiendo el orden de los objetivos específicos. Es información se presenta en tablas, figurase interpretaciones.

4.1 Resultados para el objetivo específico 1

Para este objetivo, primero se presenta una evaluación del trabajo de compostaje que realiza la municipalidad, seguidamente se presenta los resultados de la caracterización de los residuos orgánicos.

a. Caracterización de la infraestructura actual de compostaje en la Municipalidad de Yarabamba.

En vistas de la caracterización se comienza precisando que el distrito de Yarabamba abarca principalmente el pueblo tradicional de Yarabamba y los anexos denominados El Cerro, San Antonio y Sogay.

En la municipalidad de Yarabamba no se cuenta con una infraestructura adecuada para el compostaje, sólo hay uno provisional e incompleto, pero sí hay un espacio de terreno para la futura construcción de la planta de compostaje. Actualmente se realiza compostaje en 8 pozas en tierra cuyas dimensiones son aproximadamente de 3.5 m por 1.5 m en su gran mayoría y una de ellas también cuenta con unos 40 cm de profundidad, tal como se puede apreciar en las figuras 1 y 2 que se dan a conocer en seguida.

Figura 06

Ocho pozas de compostaje.



En las pequeñas pozas de compostaje se produce compost para abastecer las áreas verdes de la municipalidad. Estas pozas de compostaje son provisionales y muy pequeñas, no sería suficiente si se recogiera semanalmente todo el material orgánico que se produce en el distrito.

Figura 07

Pozas de compostaje con depósito de agua.



Tal como se puede apreciar en la figura 07, las pozas de compostaje de la municipalidad de Yarabamba son provisionales. A lado se tiene un depósito de agua que es poco útil porque al no haber caída, el personal se ve en la necesidad de cargar el agua en baldes para regar el compostaje; por otra parte, el agua estancada al aire libre es un potencial foco infeccioso.

Figura 08

Vivero municipal descuidado.



El vivero municipal está un poco descuidado porque no hay suficiente abono orgánico para las plantas. Las pocas que quedan no se han desarrollado debido al trato inadecuado ya que falta deshierbe, fertilización y riego. Por otra parte, no hay decisión firme de potenciarlo, ni se ha aprobado un presupuesto porque no se cuenta con un diseño de planta de compostaje adecuado para el material orgánico actual y potencial y que a la vez cumpla con las exigencias de la normativa peruana. En este contexto, el resto del material orgánico recogido del distrito se transporta, arroja y quema en el sector denominado Quebrada Honda.

Más evidencias fotográficas acerca del estado del compostaje de este distrito se encuentran en el anexo 03.

*Figura 09**Botadero de Quebrada Honda con residuos orgánicos e inorgánicos.*

El botadero de Quebrada Honda (ver figura 09) es el vertedero principal de la ciudad de Arequipa que recibe diariamente unas 1000 toneladas de residuos orgánicos e inorgánicos de los 14 distritos de la ciudad de Arequipa. Los residuos orgánicos e inorgánicos que se llevan a este botadero son los que ya no se van a revalorizar y la única opción es reducir los volúmenes mediante la quema; a cambio, se tiene el alto precio de la contaminación del suelo y del aire debido a la alta generación de gases de metano.

Por exigencia del Ministerio del Ambiente se realiza anualmente la Evaluación SIGERSOL (sistema de información de recojo de residuos sólidos), en esta se da a conocer el avance de las municipalidades en la mejora de los residuos sólidos y, por supuesto de los residuos orgánicos, que en 2023 corresponden al 54.05% de la generación de residuos en el distrito de Yarabamba. En seguida se da a conocer una síntesis de este análisis de los últimos dos años.

Tabla 14

Sistema de información de recojo de residuos sólidos (SIGERSOL) – Yarabamba 2023 y 2024.

Ítems	2023	2024
Administración	Directa	Directa
Personal de recolección de residuos en general	40 personas	25 personas
Tramo de recojo diario de residuos orgánicos	15.840 km	20.301 km
Costo anual de la gestión de residuos	960.200.00	685,200.00 soles
Contenedores ubicados en vías y parques para el recojo de residuos	92	127
Litros diarios de recolección de residuos	300.00	2550.00
La municipalidad ¿Cuenta con servicio de recolección para aprovechamiento de residuos orgánicos?	No	Si
Periodicidad de la recolección de residuos orgánicos	2 veces cada 7 días	1 vez cada 7 días
Toneladas de recolección de residuos orgánicos anuales	18.1 t/año	21.6 t/año
Toneladas de recolección de residuos orgánicos mensuales	1.5 t/mes	1.8 t/mes
Nº de plantas de valorización	1	1
¿Cuenta con ordenanza que regula el manejo de residuos sólidos?	Si	Si
¿Cuenta con plan de manejo de residuos sólidos?	No	No
¿Cuenta oficina de gestión ambiental?	Si	Si
¿Cuenta con promotores ambientales comunitarios?	No	No

Nota: Tomada de Análisis SIGERSOL (MINAM, 2023; MINAM, 2024).

Por exigencia del Ministerio del Ambiente se realizó la evaluación SIGERSOL en la Municipalidad de Yarabamba en los años 2023 y 2024. En estas evaluaciones revelan los siguientes datos relacionados con la recolección de residuos orgánicos para el compostaje.

Hasta ahora la recolección de los residuos orgánicos se ha realizado por administración directa, es decir, lo realiza la misma municipalidad. Parece que hubo una reducción de personal de 40 a 25, o quizá sea un dato erróneo. En cuanto al tramo de recolección de residuos se ha incrementado de 18.8 km a 20.3 km. En cuanto al costo anual hubo una disminución en los gastos de la gestión de residuos. El incremento de contenedores también contribuyó al incremento de litros diarios en la recolección de residuos, entre ellos, de los residuos orgánicos.

El año 2023 no se contaba con servicio de recolección para el aprovechamiento de residuos orgánicos, sin embargo, el año 2024 ya se contaba con ese servicio. De manera explícita, el año 2023 se recogía residuos orgánicos dos veces a la semana, pero el 2024 se redujo a una sola vez por semana. En esas limitadas recolecciones de residuos orgánicos se logró sumar 18,1 toneladas y en el siguiente año 21.6 toneladas. Sin embargo, hay que recordar que en otro momento se indicó que los residuos orgánicos se recogían sólo ocasionalmente, según la necesidad de compost para el vivero, y que la mayor parte se arrojaba indistintamente en el botadero de Quebrada Honda.

En ambas evaluaciones se indica que hay una planta de valorización, se refiere a las pozas de compostaje que se mostró antes, en esta investigación. Asimismo, se indica que ya en el año 2023 se contaba con ordenanza municipal que regula el manejo de los residuos sólidos y con oficina de gestión ambiental, pero aún no tiene plan de manejo de residuos sólidos ni promotores ambientales comunitarios.

Del año 2023 al 2024 hubo mejoras en aspectos como el tramo de recogida de residuos, el número de contenedores, los litros diarios de recolección de residuos y el servicio recolección de residuos orgánicos; sin embargo, se sigue descuidando el número de personal destinado para la recogida de los residuos sólidos, en la periodicidad de

recolección de residuos orgánicos, la falta de plan de manejo de residuos sólidos y la falta de promotores ambientales comunitarios.

b. Caracterización de los residuos orgánicos.

El 2024 se hizo un estudio de caracterización de residuos sólidos (ECRS) que tiene la finalidad de actualizarse cada cinco años.

Tabla 15

Caracterización de los residuos sólidos orgánicos de la Municipalidad de Yarabamba

Ítems	2020	2024
Proveniencia de los residuos orgánicos	Cocina doméstica, jardinería doméstica, restaurantes, establecimientos comerciales, instituciones públicas y privadas, instituciones educativas, espacios públicos.	Cocina doméstica, jardinería doméstica, restaurantes, hoteles, establecimientos comerciales, instituciones públicas y privadas, instituciones educativas y barrido de calles
Frecuencia de recolección de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) del distrito según opinión de los pobladores	1 a 3 veces por semana; en promedio dos veces por semana (64,7%)	3 veces por semana
Residuos de alimentos	Si	Si
Residuos de maleza y poda	Si	Si
Otros orgánicos (estiércol)	Si	Si
Viviendas y familias generadoras de residuos	1314	1952
Generación de residuos per cápita diarios	0.330 kg	0.460 kg
Generación de residuos orgánicos per cápita diarios	0.187 kg	0.290 kg

Proporción de los residuos orgánicos en los residuos domiciliarios	56.27%	61.00%
Proporción de los residuos orgánicos en los residuos no domiciliarios	61.81%	63.00%
Proporción de los residuos orgánicos en los residuos totales	56.78%	62.00%
Densidad de los residuos no domiciliarios	---	123.77 kg/m ³
Densidad de los residuos domiciliarios	103.8 kg/m ³	121.49 kg/m ³
Densidad promedio de los residuos totales	---	122.63 kg/m ³
Humedad de los residuos sólidos inorgánicos	79.92%	80.25%
Humedad de los residuos sólidos orgánicos	61.65%	66.01%

Nota: Tomada de “Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Yarabamba (Municipalidad de Yarabamba, 2020 y 2024).

En la Municipalidad de Yarabamba se hizo dos evaluaciones de residuos orgánicos e inorgánicos en los años 2020 y 2024. Los residuos orgánicos estaban conformados por residuos de alimentos, residuos de maleza, de poda y de estiércol. En la primera evaluación se identificó 1314 viviendas y familias que producían residuos sólidos orgánicos e inorgánicos; sin embargo, para la segunda evaluación el número de familias se incrementó a 1952, asimismo, la producción per cápita de residuos se incrementó de 0.330 kg (2020) a 0,460 kg diarios (2024).

La proporción de los residuos orgánicos en los residuos domiciliarios el año 2020 era de 56.27%, esto se incrementó al 61.00% el año 2024. La proporción de los residuos orgánicos en los residuos no domiciliarios de la primera evaluación (2020) fue del 61.81%, en la segunda evaluación (2024) se incrementó al 63.00%. El residuo orgánico en los residuos totales del análisis del año 2020 fue de 56.78% y del año 2024 fue de

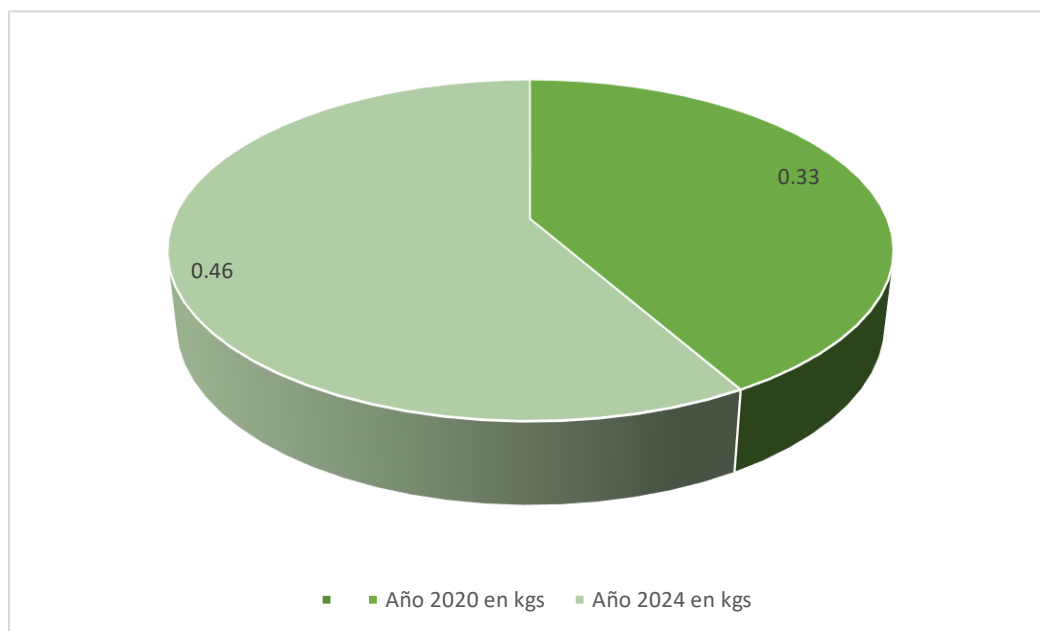
62.00%. Estos datos dan noción de que los residuos orgánicos se están incrementando año a año en el Distrito de Yarabamba

Proyectando los datos sobre 1952 familias, con un promedio de 4 miembros por familia y produciendo cada uno 0.290 kg de residuos orgánicos se produce diariamente 2,264.32 kg, es decir, más de dos toneladas de residuos orgánicos. Esta proyección es sin contar los residuos orgánicos de las labores de jardinería y poda realizadas por la municipalidad que, en ocasiones, es igual o mayor al producido por las familias. No se tiene una cantidad exacta de recolección de residuos orgánicos porque hasta el momento sólo se recogía lo que se necesitaba para el pequeño compost de la municipalidad, el resto se arrojaba al botadero común sin ninguna cuantificación.

En cuanto a la densidad de los residuos, el año 2020 se determinó la densidad de los residuos domiciliarios que fue de 103.8 kg/m³. El año 2024 la densidad de los residuos no domiciliarios fue de 123.77 kg/m³, la densidad de los residuos domiciliarios fue de 121.49 kg/m³ y la densidad promedio de los residuos totales fue de 122.63 kg/m³. En síntesis, considerando el único dato del 2020, se puede decir que la densidad de los residuos ha pasado de 103.8 kg/m³ a 121.49 kg/m³, es decir, se está incrementando la densidad de los residuos en general en el Distrito de Yarabamba.

En cuanto a la humedad: en el análisis del año 2020 la humedad de los residuos inorgánicos fue de 79.92% y el de los residuos orgánicos de 61.65%; en el análisis del 2024 la humedad de los residuos inorgánicos fue de 80.25% y el de los residuos orgánicos fue de 66.01%. En síntesis, la humedad de los residuos se ha incrementado en los últimos 4 años y la humedad de los residuos inorgánicos es mayor que el de los orgánicos.

Retomado lo anterior de manera más detallada con énfasis en los residuos orgánicos se tiene lo siguiente:

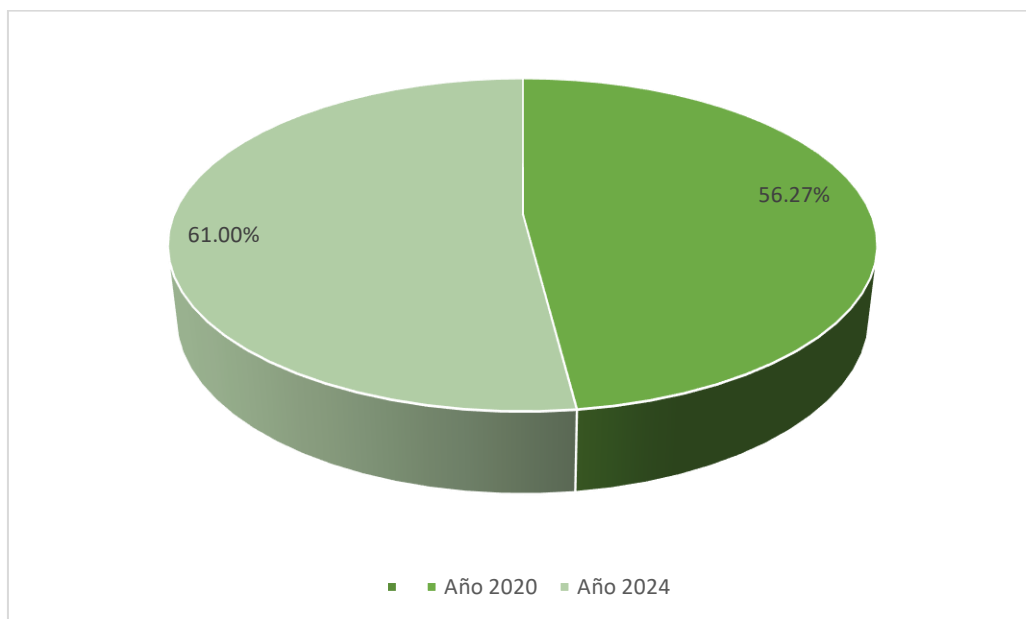
*Figura 10**Generación de residuos sólidos per cápita diarios en el Distrito de Yarabamba*

Nota: Tomada de “Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Yarabamba (Municipalidad de Yarabamba, 2020 y 2024)."

Según la figura 10, el año 2020 la generación de residuos sólidos diarios per cápita era de 0.330 kgs y el año 2024 fue de 0.460 kgs, esto quiere decir que se dio un incremento de 0.130 kg de residuos en el período de 4 años. Esto quiere decir que en los próximos años será mayor el incremento ya debido al incremento población como debido al mayor consumo de vegetales. Lo mismo puede afirmarse de la producción de residuos orgánicos de las labores municipales ya que la población, la amplitud de la ciudad y las labores de jardinería y poda son cada vez mayores.

Figura 11

Proporción de residuos orgánicos en los residuos domiciliarios del Distrito de Yarabamba

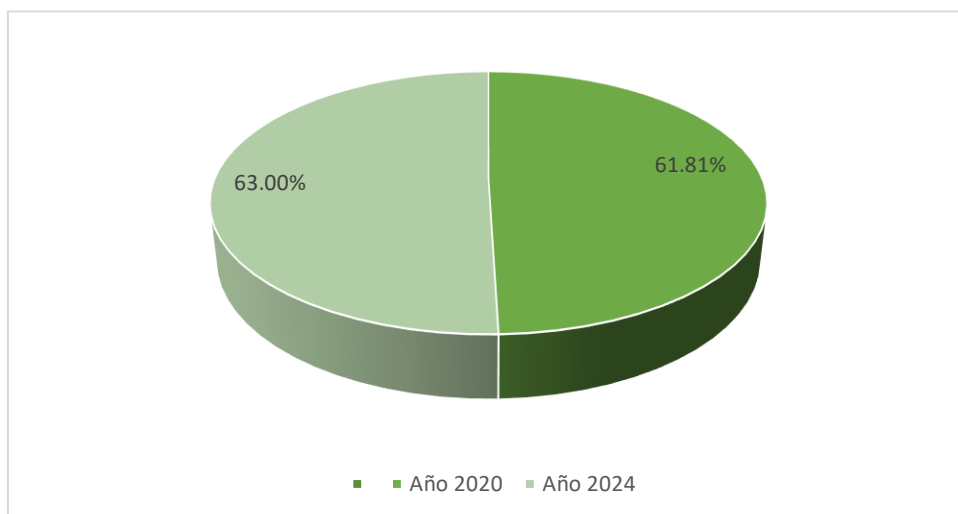


Nota: Tomada de “Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Yarabamba (Municipalidad de Yarabamba, 2020 y 2024).”

En la figura 11 se indica que la proporción de residuos orgánicos domiciliarios en el año 2020 fue del 56.27% del total de residuos sólidos; en cambio, en el año 2024 la proporción de residuos orgánicos domiciliarios se incrementó al 61.00%. Esto da noción de que el incremento no sólo es de los residuos orgánicos sino de los residuos sólidos en general.

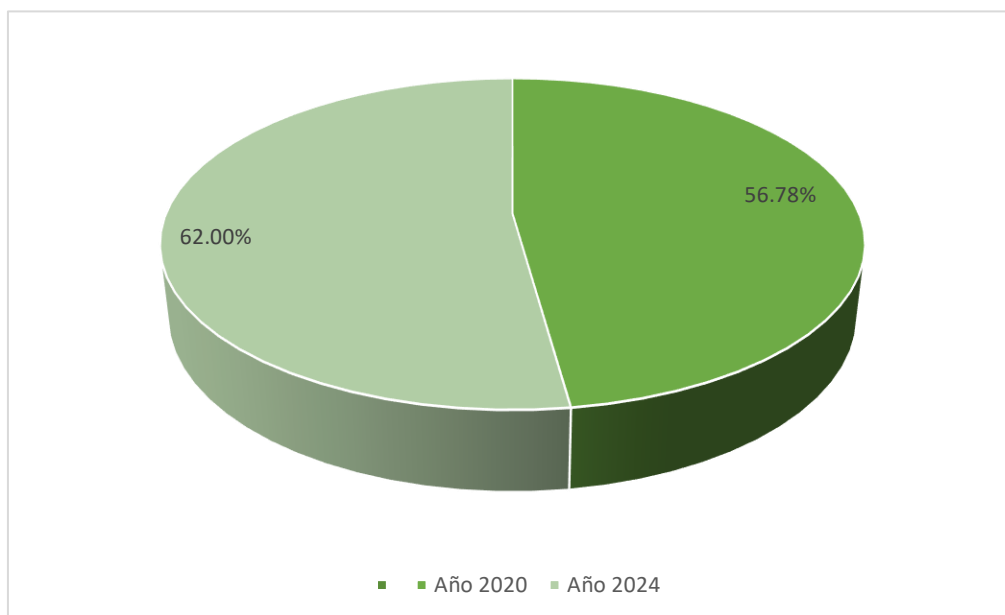
Figura 12

Proporción de los residuos orgánicos en los residuos no domiciliarios.



Nota: Tomada de “Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Yarabamba (Municipalidad de Yarabamba, 2020 y 2024).”

En la figura 12 se resalta la proporción de los residuos orgánicos en los residuos no domiciliarios. El año 2020 la proporción de los residuos orgánicos en los residuos no domiciliarios era de 61.81% y el año 2024 se incrementó a 63.00%. Esto da noción de que hay mayor cantidad de residuos orgánicos no sólo en los residuos domiciliarios, sino también en los residuos no domiciliarios.

*Figura 13**Proporción de los residuos orgánicos en los residuos totales del Distrito de Yarabamba*

Nota: Tomada de “Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Yarabamba (Municipalidad de Yarabamba, 2020 y 2024)."

La figura 13 presenta los datos acerca de la proporción de los residuos orgánicos en los residuos totales del distrito de Yarabamba. El año 2020 los residuos orgánicos en los residuos totales eran de 56.78% y el año 2024 se incrementó a 62%. Una vez más, hay evidencia del incremento de los residuos orgánicos.

Tabla 16

Análisis físico-químico del fertilizante orgánico (compost) de la Municipalidad de Yarabamba.

Componente	Unidad	LDM	LCM
Humedad	%	0.05	0.10
Conductividad	μS/cm	NA	0.01
Relación Carbono/Nitrógeno		0.2	0.5
PH	Unidad pH	NA	0.01
Nitrógeno total	%	0.3	0.6
Impurezas (material extraño)	%	0.03	0.10
Cloruro	%	0.03	0.10
Azufre	Mg/Kg	0.01	0.03
Boro	mg/Kg	1.0	3.0
Calcio	%	0.01	0.03
Cobre	Mg/Kg	1.0	3.0
Fósforo	% P205	0.02	0.06
Hierro	Mg/Kg	1.00	3.00
Magnesio	Mg/Kgs	0.02	0.06
Potasio	%K2O	0.01	0.03
Sodio	Mg/Kg	30.0	90.0
Zinc	Mg/Kg	1.00	3.00
Arsénico	Mg/Kg	0.003	0.020
Cadmio	Mg/Kg	0.003	0.010
Cromo	Mg/Kg	0.01	0.03
Mercurio	Mg/kg	0.003	0.010
Níquel	Mg/Kg	0.01	0.03
Plomo	Mg/Kg	0.003	0.020
Huevos de helmintos	Huevos/2gST	NA	1.0
Coliformes	NMP/g	NA	0.18
Salmonella SPP	NMP/Gst	NA	3.0
Eschericchia Coli	NMP/g	NA	0.18

LCM (límite de cuantificación del método), LDM (límite de detección del método), C/N (relación carbono y nitrógeno).

Nota: Tomado de Analytical Laboratory E.I.R.L. (2025)

El 03 de marzo de 2025 se realizó un análisis de laboratorio al compost producido en el año 2024 con el método EPA (Environmental Protection Agency), un procedimiento estandarizado por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. que sigue un protocolo riguroso, preciso, reproducible, aceptable legalmente y validado internacionalmente.

La referencia para más acertada para la interpretación es el límite de detección del método (LDM). En cuanto a la humedad se obtuvo 0.10% de humedad, lo cual, indica que la materia orgánica está demasiado seca y se ha limitado la acción microbiana de descomposición, lo ideal es entre 30 y 60%.

La conductividad es de 0.01 indica baja salinidad, esto es bueno porque da noción de que hay baja salinidad en el compost. Los valores altos dañarían a las plantas. La relación C/N es de 0.5 esto es extremadamente bajo, indica madurez excesiva y pobreza en carbono porque el rango ideal es entre 10 y 20.

El pH de 0.01 es muy bajo ya que para favorecer la acción de los microorganismos (bacterias y hongos) debe fluctuar entre 6.5 y 8.5, de lo contrario, se ve afectada la velocidad y la eficiencia del proceso de compostaje.

La presencia de impurezas (material extraño) de 0.10%, esto es inferior al 1% que exige la normativa. Es un nivel muy bajo, indica buena calidad visual y baja contaminación, está dentro de los límites aceptables de la normativa que exige menor al 1%.

El nitrógeno es 0.6%, es un nivel aceptable, ya que un compost maduro suele tener entre 0.5 y 2.5%. La presencia de cloruros es 0.10%, este es un nivel bajo y favorable para el compost, en cambio, los niveles altos pueden dañar a los cultivos sensibles.

Hay presencia de azufre de 0.03%, el cual está dentro del rango adecuado, esto quiere decir que está favoreciendo la función nutricional. Hay boro de 3.0 mg/kg, este se

encuentra dentro del rango seguro, ya que niveles más altos pueden ser tóxicos para las plantas.

El calcio es de 0.03%, es una cantidad deficiente. El compost con este elemento disminuido no aportará a la solidez de las plantas. El cobre es de 3.0 mg/kg, se encuentra en el nivel aceptable para su uso en las plantas.

El fósforo es de 0.06% P_2O_5 es adecuado para el desarrollo radicular. El hierro es de 3.0 mg/kg, se encuentra en el rango adecuado para favorecer la fotosíntesis y la función nutricional de las plantas.

El magnesio es de 0.06 mg/kg, este es de nivel bajo y perjudica al desarrollo de la clorofila porque el nivel adecuado es de 10 a 30 mg/kg. El potasio es de 0.03 % K_2O , se encuentra en el nivel aceptable para el requerimiento de las plantas.

El sodio es de 90 mg/kg está dentro del nivel adecuado que va de 30 a 90 mg/kg. El zing es de 3.0 mg/kg, está dentro del nivel aceptable porque este fluctúa de 1.0 a 3.0 mg/kg. El arsénico es de 0.02 mg/kg y se encuentra dentro de los niveles adecuados porque está permitido entre 0.01 y 0.03 mg/kg.

El cadmio es de 0.01 mg/kg. Su toxicidad es baja y está dentro de los límites permitidos. El cromo es de 0.03 mg/kg, lo ideal sería por debajo de 0.01 mg/kg., en el presente caso puede afectar levemente a algunas plantas.

El mercurio es de 0.01 mg/kg, lo cual es altamente tóxico para las plantas. Es necesario implementar estrategias de afrontamiento. El níquel fue de 0.03 mg/kg, es bajísima toxicidad, ya que los niveles tolerados se comprenden entre 1.0 y 3.0 mg/kg. El plomo fue de 0.02 mg/kg, esto quiere decir que su toxicidad es elevada.

En cuanto a la presencia de huevos de helmintos, coliformes totales, *Salmonella* spp y *Escherichia coli* no se especifica, por tanto, debe ser porque son de niveles muy bajos o hay ausencia, esto indica que el compost es apto para uso agrícola. Su presencia indicaría riesgo sanitario.



4.2. Resultados para el objetivo específico 2

Para presentar adecuadamente el diseño de la planta de compostaje, primero se presenta la justificación del diseño de la planta de compostaje, en segundo momento se da a conocer los criterios básicos exigidos por el gobierno central mediante el DS N° 014-2017 para la creación de la planta de compostaje, se ofrece el diseño físico de la planta de compostaje, la descripción del proceso de compostaje, los requerimientos estructurales de la planta, el proceso de ejecución del proyecto y la propuesta de evaluación y seguimiento.

a. Justificación del diseño de la planta de compostaje.

La creciente generación de residuos sólidos urbanos en el distrito de Yarabamba, en particular los residuos orgánicos provenientes de actividades domésticas, agropecuarias y comerciales, plantea serios retos ambientales y sociales. Frente a ello, la gestión sostenible de los residuos mediante el diseño e implementación de una planta de compostaje se presenta como una alternativa viable y beneficiosa. Este plan propone una estrategia integral basada en los pilares económico, social y ambiental para gestionar de manera eficiente los residuos orgánicos y transformarlos en compost de calidad.

La mejora de la imagen corporativa. El sistema de gestión ambiental evidencia el compromiso de la organización con el medio ambiente y con la sostenibilidad, esto le da mayor reputación, sensación positiva hacia los proveedores y clientes, preferencia en los contratos, el acceso a mercados más rentables y buena disposición para las auditorías. (ESGinnova Group, 2023).

b. Criterios básicos para la creación de una planta de compostaje

La planta de compostaje ofrece muchos beneficios a la sociedad, pero para su ejecución, según la normativa peruana (DS N° 014-2017) se debe considerar los siguientes criterios:

- La identificación de zonas adecuadas de recogida, puntos de tratamiento adecuado y de cumplimiento de procedimientos técnicos para la valorización de los residuos orgánicos.
- Priorización de la valorización de los residuos orgánicos (art. 36)
- El uso de sistemas de depósito, el fomento de la separación de origen y la propiciación de la separación comercial.
- Prever reservas de espacio para el compostaje adecuadamente implementados para el tratamiento de residuos vegetales y biorresiduos.
- Aplicar modelos de educación ambiental de tal manera se favorezca la educación ambiental, de consumo sostenible y de economía circular.
- Hacer uso eficiente de la materia prima para evitar impactos ambientales negativos (DS N° 014-2017, art. 3), minimizar en la fuente, esto significa, que se debe reducir la dimensión de los residuos, hacerlos manejables y adecuados para el tratamiento (DS N° 014-2017, art 07).
- La planta de revalorización de residuos orgánicos es la infraestructura donde se realiza el acondicionamiento de los residuos vegetales y la biodegradación de los residuos orgánicos con fines de mejora del suelo mediante el compostaje (art. 103).
- Las condiciones de infraestructura son: la planta de valorización no debe ubicarse en zona recreacional, comercial o residencial, evitar la obstaculización del tránsito peatonal y vehicular; contar con un sistema de limpieza, lavado, fumigación y de evacuación de aguas (art. 104); disponer de espacios para la operación de los vehículos y para la administración, estar provista de adecuado sistema de ventilación e iluminación, con pisos y paredes impermeables y sistema contra incendios (art. 105).

El presente proyecto se inserta plenamente en los objetivos de sostenibilidad y economía circular antes mencionados con la finalidad de que los residuos orgánicos retornen a la tierra de manera revalorizada y contribuyan a la generación de nuevos vegetales que embellezcan la ciudad, purifiquen el medio ambiente y favorezcan la alimentación saludable. Se justifica el siguiente diseño en base a los criterios del D.S. N.º 014-2017-MINAM porque constituye el pilar normativo que define los requisitos técnicos, sanitarios y de ubicación para las infraestructuras de valorización en el Perú. Su uso garantiza que el diseño de la planta de compostaje en Yarabamba cumpla con los estándares de impermeabilización, manejo de lixiviados y seguridad operativa exigidos por el Ministerio del Ambiente, asegurando la transición de un modelo de disposición final hacia uno de "economía circular."

c. Diseño físico de la planta de compostaje.

Una municipalidad es un vasto territorio que permanentemente produce residuos orgánicos de fuentes como jardinería doméstica, jardinería municipal, poda, residuos de cocina, restaurantes, establecimientos comerciales, instituciones públicas y privadas, instituciones educativas y espacios públicos. Como se ha visto antes, el 62% de los residuos recogidos por la Municipalidad de Yarabamba lo constituyen los residuos orgánicos, que bien se podría revalorizar en su totalidad para el beneficio de la municipalidad en lugar de arrojarlo al botadero de la ciudad.

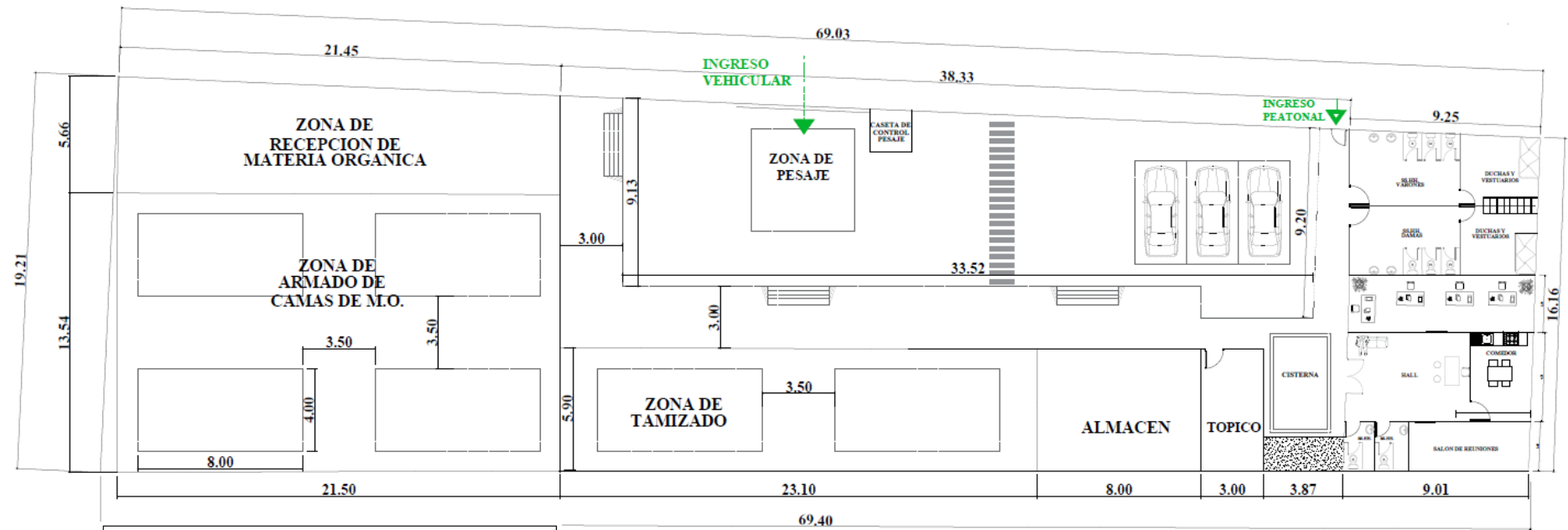
Para la revalorización de los residuos orgánicos se debe construir un espacio adecuado que atienda a todos el proceso de compostaje y con capacidad para todo el material orgánico producido en el Distrito. En seguida se presenta el modelo diseñado.

Plano de ubicación de la planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba.



Figura 15

Diseño de la planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba – primer nivel.

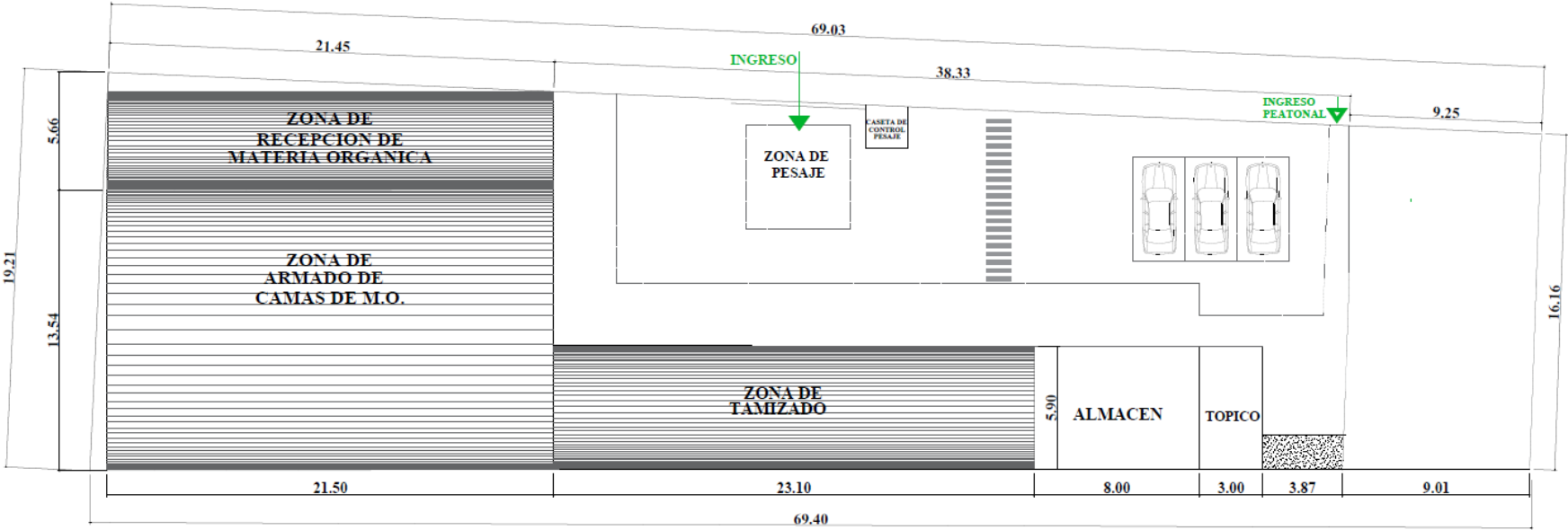


CUADRO DE AREAS	
AREA DEL TERRENO	1222.56 m2
ZONA DE RECEPCION DE MATERIA ORGANICA	112.35 m2
ZONA DE ARMADO DE CAMAS DE MATERIA ORGANICA	289.29 m2
ZONA DE TAMIZADO	74.58 m2
ALMACEN	62.65 m2
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	85.29 m2
SS.HH. + AREA DE VESTUARIO	62.77 m2
TOPICO	13.20 m2

 Universidad Católica de Santa María		
Descripcion	DISEÑO DE DISTRIBUCION DE PLANTA DE COMPOSTAJE	
Ubicacion	Distrito: Yarabamba Provincia: Arequipa Departamento: Arequipa	
Elaborado por	Maricarmen Navarrete Valdivia	Plano N°: 1
Escala	1:100	
Fecha	SETIEMBRE - 2025	

Figura 16

Diseño de la planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba – segundo nivel.

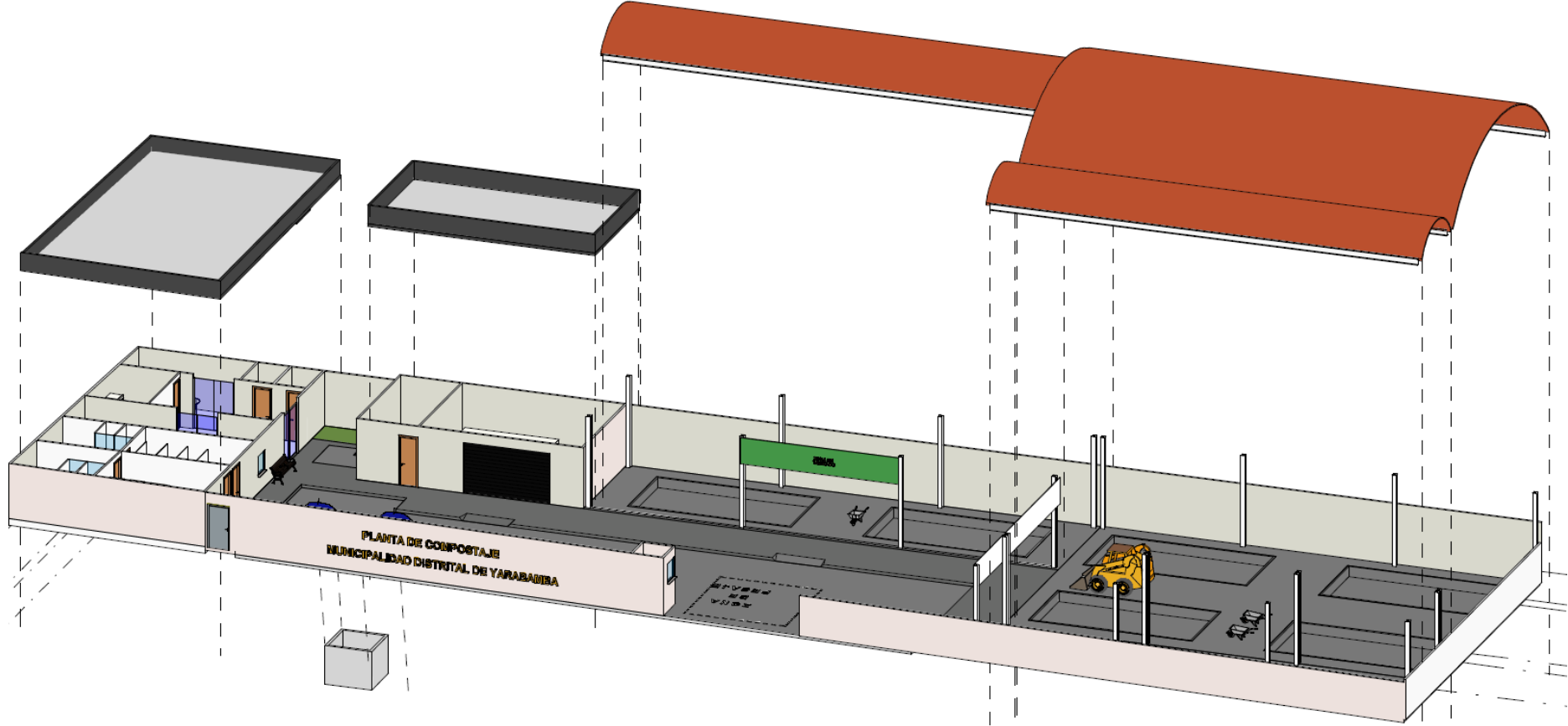


VISTA EN PLANTA - SEGUNDO NIVEL



 Universidad Católica de Santa María		
Descripcion	DISEÑO DE DISTRIBUCION DE PLANTA DE COMPOSTAJE	
Ubicacion	Distrito: Yarabamba Provincia: Arequipa Departamento: Arequipa	
Elaborado por	Maricarmen Navarrete Valdivia	
Escala	1:100	Plano N°: 1
Fecha	SETIEMBRE - 2025	

Figura 17
Planta de compostaje en 3D desde una vista aérea.



 Universidad Católica de Santa María		
Descripción	Diseño de planta de compostaje (Vista Aérea) - Modelado 3D	
Ubicación	Distrito: Yarabamba Provincia: Arequipa Departamento: Arequipa	
Elaborado por	Maricarmen Navarrete Valdivia	
Escala	1:100	Plano N°: 2
Fecha	SETIEMBRE - 2025	

En la figura 14 se aprecia la disposición de toda la planta de compostaje. En la parte central superior está la entrada y se tiene la zona de pesaje, a lado se encuentra la caseta de pesaje donde se contabiliza el ingreso de material orgánico. Hacia el lado izquierdo está la zona de recepción del material orgánico donde se selecciona y se realiza el picado de las ramas. Le sigue la zona de armado de camas de material orgánico (M.O.), son cuatro camas y miden 8 m de largo, 4 m de ancho y 1,75 m de altura. Los pasadizos son de 3.50 m de tal manera que permitan el transporte del material orgánico hasta cada una de las camas de compostaje, el riego, el proceso de volteado, el control de la temperatura y la humedad y la extracción del material orgánico.

A continuación, se encuentra la zona de tamizado, esta mide 16,86 m por 4,40 m. En esta zona se tamiza y empaca el producto para luego depositarlo en el almacén, desde este lugar se distribuye el compost para su uso en los jardines y en el vivero municipal.

La infraestructura, también cuenta con una zona de parqueo para los vehículos, una sala para el depósito de las herramientas de trabajo, servicios higiénicos para damas y caballeros, tópico para casos de emergencia, sala de recepción para los visitantes, sala mediana para alguna reunión o conferencia a los visitantes y oficina para la administración.

Cuando se completa el proceso de descomposición, el material orgánico se trasladará a la zona de tamizado que es un área de 16.00 m por 4.00 m de ancho.

La figura 15 permite tener una vista panorámica de la planta de compostaje de tal manera que permite apreciar que las zonas de recepción de material orgánico, de armado de camas y de tamizado tendrán un techo sólido que evitará el paso de la luz y el exceso de calor, esto permitirá crear un ambiente estable para la descomposición del material orgánico.

La forma de la planta de compostaje es un trapecio rectangular irregular y el área total es de 1,222.56 metros cuadrados y ocupa toda el área que dispone la municipalidad para este proyecto.

d. Diseño del proceso de compostaje.

Según el DS N° 014-2017 recolección de residuos sólidos debe ser con las siguientes características:

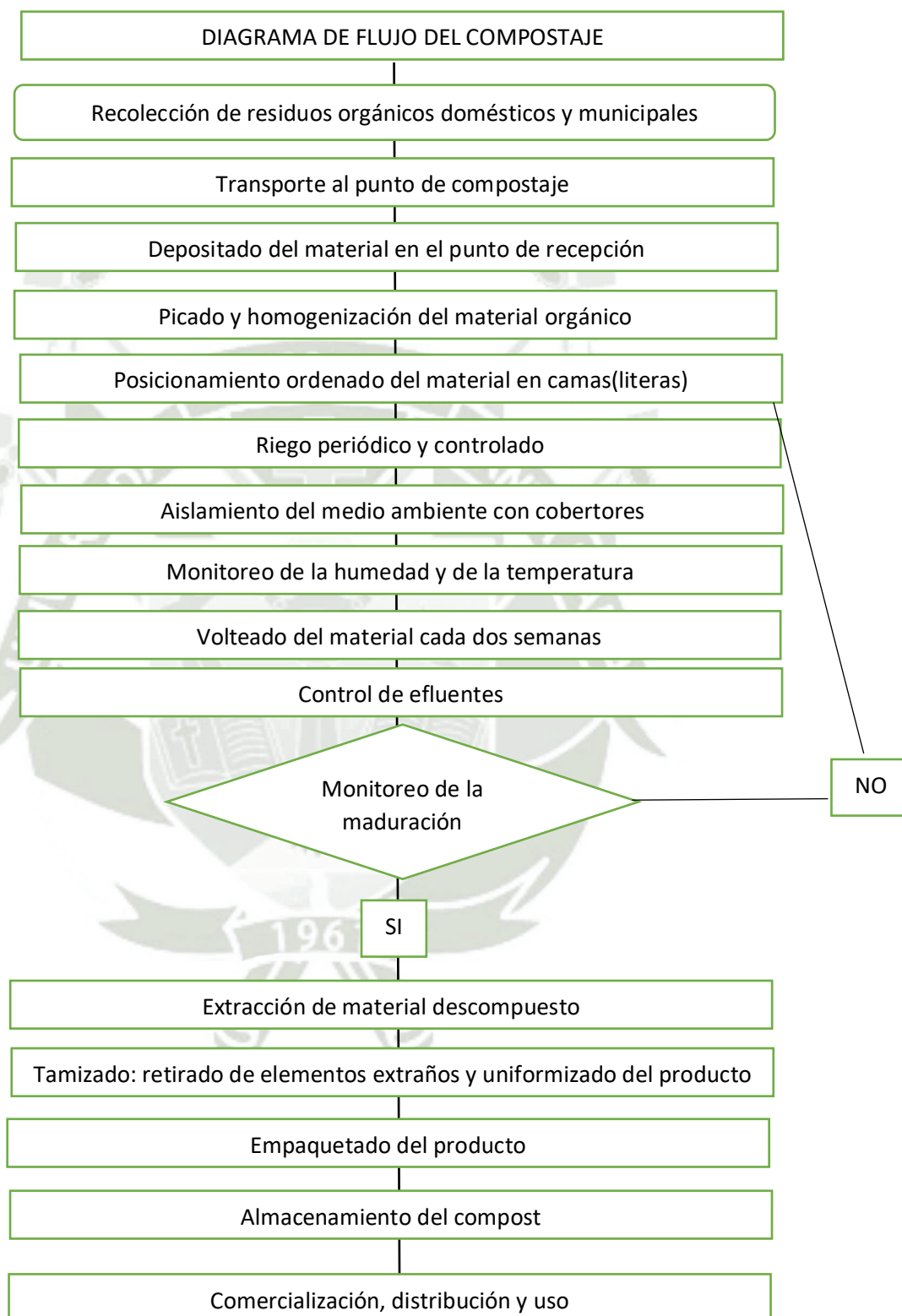
Recolección selectiva. Los residuos se deben seleccionar en la misma fuente, esto implica dos cosas: los residuos domésticos deben entregarse de manera seleccionada, y los residuos de las labores de jardinería municipal y de las podas deben recogerse de manera seleccionada (art. 28). El transporte debe realizarse con criterio de tránsito vehicular, considerando la densidad de la población atendida y la capacidad de los vehículos de transporte (art. 30).

En las plantas de valorización de residuos sólidos se realiza las siguientes acciones: segregación, limpieza, almacenamiento, molido o trituración, compactación física, embalaje o empaque, procesos, técnicas y métodos de tratamiento y otros (art. 66).

Teniendo en cuenta los criterios señalados por MINAM (2017) se ha elaborado el siguiente diagrama de flujo de la producción del compost:

Figura 18

Diagrama de flujo de la producción de compost.



Nota: Elaboración propia

Tal como se describe en la figura 16 el proceso de producción de compost se inicia con la **recolección de residuos orgánicos vegetales** en los parques, jardines públicos y jardines domésticos. Estos se seleccionan y separan de otros tipos de residuos y se suben al vehículo. Estos recorren las calles del distrito hasta llenar el vehículo. Una vez llena la capacidad del vehículo, se va en dirección a la planta de compostaje.

Figura 19

Recolección de residuos orgánicos.



Nota: tomado de Dream Stime (2025).

El transporte al punto de compostaje. En la planta de compostaje se descarga el material orgánico del vehículo y se deposita en el punto de recepción (figura 17). Esto permite saber con qué tipos y proporciones de material orgánico se cuenta, ya que del campo llegan materiales con tallos gruesos y delgados, con fibra dura y frágil, material seco o húmedo. En este punto también se puede retirar aquellos materiales inadecuados como plásticos, fierros, tierra o piedras.

El picado y homogeneización del material. En el caso de los residuos orgánicos, el picado y la homogeneización es la forma de minimización que pide el art. 07 del DS N° 017-2017. La finalidad de este paso es reducir la dimensión del material orgánico, ya que puede haber ramas pequeñas y grandes de plantas, con pocos o muchos tallos. Asimismo, facilita una buena mezcla de los diversos materiales y componentes químicos para su adecuada aireación, la reducción de los olores, la proliferación de los microorganismos y la rápida descomposición.

Figura 20

Máquina trituradora de ramas y maderas.



Nota: Tomada de Rabaud (2023).

Máquina que puede triturar hasta maderas de 110 mm de grosor. Es ideal para la trituración de material orgánico dentro de la planta de compostaje de manera estática, requiere energía eléctrica para su funcionamiento (figura 18).

La colocación del material orgánico en las literas. Se coloca el material partido o picado en las pilas, intercalando ramas y hojas, ramas de fibra gruesa y ramas de fibra liviana. En cuanto sea posible, se añadirá aserrín y cantidades moderadas de ceniza. El aserrín es un componente carbonoso que ayuda a absorber el exceso de humedad y le da mayor consistencia al compost. El aserrín también contribuye al desarrollo de los microorganismos favorables al compost. La ceniza tiene el papel de neutralizar el pH del compost y añade nutrientes como calcio y potasio al fertilizante natural. Los diversos tipos de material orgánico se traslada a las literas o windows de manera ordenada, desde el fondo hasta la entrada.

En la tabla 05 de análisis físico químico del compost producido en Yarabamba se reporta escasa presencia de carbono y nitrógeno. Para incrementar nitrógeno al compost en proceso de maduración se añadirá residuos verdes como estiércol de animales herbívoros, cáscaras de frutas y verduras de cocina, y para incrementar carbono también se añadirá residuos marrones como hojas secas de plantas, cartón y aserrín.

El riego periódico. Si bien el material orgánico tiene su propia humedad, es necesario realizar un riego periódico para mantener la humedad y favorecer el desarrollo de los microorganismos que tienen la tarea de descomponer el material. El riego debe ser adecuado, pero el exceso de humedad produce anaerobiosis y el surgimiento de malos olores.

Aislamiento del medio ambiente con cobertores. Por una parte, el material orgánico debe mantener cierta humedad para la reproducción de los microorganismos y la consecuente descomposición, esto no se puede lograr si el material está expuesto al aire libre. Además, hay que tener en cuenta que los olores del compostaje pueden contaminar el aire

La planta de compostaje, al emanar olores de vegetales descompuestos puede perjudicar el aire que respiran las personas que viven o transitan en el entorno inmediato, asimismo, puede atraer vectores como roedores e insectos y generar problemas de salud pública. Asimismo, mediante los lixiviados que genera, puede contaminar el suelo y el agua en el entorno inmediato. En esta propuesta de compostaje se sugiere el uso de cobertores para todas las pilas (figura 19). Estos cobertores deben ser tan grandes como las pilas, esto permitirá la conservación de la humedad y el aislamiento de los olores fétidos, por otra parte, el monitoreo permanente de la planta permitirá implementar estrategias adecuadas.

Figura 21

Lona plastificada para cubrir el material en proceso de descomposición



Nota: Tomada de DH Perú (2023).

El monitoreo de la humedad y la temperatura. Para el monitoreo de la humedad y la temperatura existen principalmente dos métodos: el primero que es práctico y sin costo

económico es el método manual que consiste en coger un puño de material orgánico de diversos puntos, apretar el puño y palpar los signos de sequedad o de excesiva humedad. Si el material tiene aspecto húmedo y se desmorona es porque la humedad es adecuada. Cuando el material es seco y se desmorona es porque le falta riego, y si el material es húmedo y se forma una bola es porque el material está demasiado húmedo. Es importante verificar y controlar la temperatura, ya que el exceso de temperatura puede ser causa de muerte de los microorganismos positivos. Este control de la temperatura se logra en el siguiente paso del proceso. Además como segundo método tenemos el uso de instrumentos de medición pH-metro digital, termómetro para suelo, medidor de humedad del suelo, medidor multiparamétrico, si bien es cierto es un tanto mas costoso sin embargo ahorra tiempo.

En la evaluación de la humedad del compost actual de la municipalidad se pudo percibir falta de agua. En tal sentido, se diseñará fuentes asequibles de agua hacia todas las camas de compostaje para su adecuado riego.

El volteado del material orgánico permite mezclar, airear y controlar la temperatura del material. En el mezclado se combinan las partes más descompuestas con las que aún faltan, de manera que se llegue al tiempo previsto con una descomposición uniforme. Este mezclado se inicia desde un extremo de la pila para terminar en el otro extremo. En este proceso de mezclado puede verificarse la temperatura, la humedad y la presencia de olores desagradables. En cuanto a la periodicidad del volteado: esto depende del clima de lugar y del material orgánico o seco. En clima templado como el de Arequipa, el volteado del material orgánico verde, el primer volteado puede ser a los 20 días y los siguientes a los 15 y diez días.

Se pondrá especial cuidado en el volteado del material ya que de este proceso depende la reducción de carbono y de metano. su descuido puede acarrear mayor efecto invernadero al medio ambiente. Para este propósito se sugiere el uso de maquinaria autopropulsada con funcionamiento a combustible o a energía eléctrica (figura 20).

Figura 22

Máquina volteadora de compost autopropulsado.



Nota: Tomado de Gujer Innotec (2023).

El control de efluentes consiste en el monitoreo de los líquidos que se dan a consecuencia de la descomposición de los vegetales. En este caso, es un líquido rico en nutrientes que fluyen con el agua. Estos, no se deben devolver al compost, por el contrario, se recolectarán para utilizarlo como abono orgánico líquido para las plantas. Este tratamiento es para evitar la excesiva humedad del material en descomposición, la contaminación de tierras y aguas superficiales ya sea mediante el contacto directo o mediante el olor. En vistas del control de efluentes las literas o pilas estarán provistas de sistemas de drenaje, cada 3 metros a lo largo de las literas, estas conducirán los líquidos ricos en minerales hacia depósitos adecuadamente implementados para luego utilizarlo en el riego de las plantas. Para un adecuado control de efluentes se realizará el monitoreo de la humedad y el adecuado riego.

Los sistemas de drenaje de la planta de compostaje conducen los líquidos hacia fuentes para su adecuada recuperación y traslado a las plantas, ya que estos son muy ricos en nutrientes.

El monitoreo de la maduración consiste en la supervisión y evaluación del proceso de descomposición del material orgánico hasta que logre su estabilidad y la maduración óptima. El compost no se obtiene en plazos iguales, sino que depende de si el material orgánico es húmedo o seco, de las hojas con fibras suaves o duras, depende también de la estación del año y de otros factores como el riego.

Cuando el material orgánico aún no está en adecuadas condiciones se debe continuar con los tratamientos de riego, volteado y monitoreo hasta que llegue a las condiciones esperadas. En cambio, cuando el material sí ha logrado la maduración esperada debe procederse con la extracción del material descompuesto.

El tamizado consiste en la separación del material de dimensión inadecuada para que continúe su proceso de descomposición en un nuevo proceso. Esta fase también implica el retirado definitivo de elementos extraños como plásticos, metales y piedras. Este proceso se realiza con la finalidad de obtener un producto uniforme y de alta calidad para el uso en la jardinería o en la agricultura. Los tamices o cribas son mallas que permiten seleccionar el material orgánico hasta cierto tamaño para luego triturar los bloques de dimensiones más grandes, de manera que se logra obtener material uniforme para la fertilización de las plantas.

El empaquetado y envasado. El empaquetado consiste en la separación del compost en proporciones manipulables y/o comercializables. Se puede empaquetar en volúmenes de 10 kg, de 25 kg o de 50 kg. Para este propósito es necesario contar con una balanza industrial (figura 21).

Figura 23

Báscula electrónica industrial de 100 kgs de capacidad.



Nota: Tomado de MaqOrito (2023)

El producto debe estar etiquetado con nombre, peso, modo de uso y precauciones. Debe tener su sello de garantía.

El almacenamiento consiste en el depósito del compost en un lugar seco, fresco y con adecuada ventilación. El producto se puede apilar hasta su traslado para el uso.

La distribución (comercialización) y uso. Consiste en el transporte y el uso del producto en las plantas de jardinería doméstica, municipal o en actividades agrícolas. Se debe cuidar que entre el período de almacenamiento y el uso no pase demasiado tiempo.

e. Requerimientos estructurales e implementos para una planta de compostaje

Tabla 17

Requerimientos básicos de la planta de compostaje.

<i>Requerimientos</i>	<i>Especificación</i>
Requerimientos de infraestructura	01 depósito de herramientas.
	01 sala múltiple.
	04 camas de 8 m de largo x 1.5 m de altura x 4 m de ancho.
Requerimientos de equipos y materiales	Máquina volteadora de compost autopropulsora.
	Máquina trituradora de ramas y maderas.
	Balanza electrónica industrial de 100 kg. de capacidad.
	02 cobertores plastificados de 10 m de largo por 2.5 m de ancho.
Requerimientos de herramientas:	Cobertor plástico doble cara para cada cama.
	02 carretillas.
	02 picos.
	02 trinchas de trabajo agrícola.
Requerimientos humanos	01 conductor de vehículo de carga y triturado del material orgánico.
	01 trabajador de acarreo de material orgánico, volteado y almacenamiento.

Nota: Elaboración propia

f. Proceso de ejecución del proyecto

Tabla 18

Proceso de ejecución del proyecto

Etapas	Actividades principales	Meses
Diagnóstico inicial	Caracterización de residuos, ubicación, planificación	Enero
Diseño y presupuesto	Planos, estudio de suelos, costos y financiamiento	Febrero
Construcción de planta	Infraestructura y equipamiento	Marzo-abril
Capacitación y sensibilización	Campañas educativas y talleres	Marzo-mayo
Operación piloto	Inicio de operaciones, ajustes técnicos	Junio
Operación completa	Ejecución plena del plan y monitoreo continuo	Julio-diciembre

Nota: Elaboración propia

g. Evaluación y monitoreo

El plan contará con un sistema de seguimiento trimestral que incluirá indicadores cuantitativos y cualitativos, encuestas de satisfacción ciudadana, reportes de producción y auditorías ambientales. Se establecerá un equipo técnico responsable de reportar a la municipalidad y proponer mejoras continuas.

La implementación de una planta de compostaje en Yarabamba no solo permite un manejo responsable de los residuos orgánicos, sino que también genera beneficios sociales, económicos y ambientales. Este plan integral fortalece la cultura ambiental del distrito, promueve la economía circular, genera empleo local y reduce la presión sobre los ecosistemas. Con acciones concretas y medibles, se espera que el proyecto sea replicable en otros distritos rurales del país.

4.3. Resultados para el objetivo específico 3

Para determinar los impactos ambientales se ha optado por la Matriz de Conesa. Se prefirió esta matriz frente a la matriz de Leopold porque el primero es más objetivo y preciso; en cambio, el segundo es más subjetivo. Con la Matriz Conesa se ha recogido información de fuente primaria mediante la percepción de los profesionales sobre diversos aspectos del impacto ambiental.

Asimismo, se propone un instrumento de detección de riesgos e impactos, el cual, caracteriza el proyecto, ayuda a precisar los puntos más sensibles de riesgos e impactos para luego identificar las alternativas de solución.

4.3.1. Matriz de Conesa aplicada al tratamiento de residuos orgánicos.

Conesa (2010) en su libro “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental” propone una evaluación cuantitativa de los impactos ambientales. La aplicación de esta matriz implica seguir unos pasos sistemáticos que permitan identificar, valorar y priorizar los efectos ambientales que puede tener la planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba. En seguida se desarrolla la matriz Conesa para determinar el impacto ambiental del proyecto de compostaje.

a. Identificación de acciones del proyecto.

En este paso se indica todas las actividades de compostaje que se realiza en la planta. Este viene a ser el eje vertical.

Fase de diagnóstico y diseño de la planta.

Como primer paso, para la implementación de una planta de compostaje en un distrito se debe conocer la cantidad realista de material orgánico que se puede obtener en un periodo de 3 meses que es el ciclo promedio de producción de compost.

Como segundo paso, se debe saber qué es lo que se tiene y qué es lo que falta actualmente en la municipalidad en cuanto a infraestructura, materiales, personal y presupuesto. Como tercer paso, se diseña la planta de compostaje conforme a los requerimientos actuales y potenciales, y respetando la normativa peruana dada al respecto.

Para ver lo dicho en forma gráfica se presenta una tabla.

Tabla 19

Actividades de la fase de diagnóstico y diseño de la planta de compostaje

<i>Actividades</i>	<i>Descripción</i>
	Conocimiento de la capacidad real y de la capacidad potencial de materia orgánica en un periodo de 3 meses.
Diagnóstico	Conocimiento de los avances que se tiene de espacio físico, infraestructura, implementación y personal para la planta de compostaje.
Diseño	Diseño de la planta de compostaje según las necesidades presentadas y según las exigencias normativas.

Nota: Elaboración propia

Fase de construcción e implementación de la planta. Antes del funcionamiento, la planta debe disponerse adecuadamente, por tanto, se debe definir el área física, realizar las construcciones, los acabados y adquisiciones de equipos y herramientas.

Tabla 20

Actividades de la fase de construcción e implementación

<i>Actividad</i>	<i>Acciones</i>
Construcción de la infraestructura del compostaje.	Para la construcción de la infraestructura se ha proyectado realizar las siguientes acciones: Mediciones y delimitación del espacio físico. La dimensión de la planta de compostaje ya se ha medido y se da a conocer que ocupará un área de 1222.56 m ² . Esto se puede verificar en la vista de ubicación de la planta (figura 4).
Nivelación y compactación del suelo.	El terreno todavía requiere trabajos de nivelación y de compactación para el levantamiento de las estructuras.
Construcción de las paredes.	En parte, ya está construido el cerco perimétrico, pero falta construir la plataforma, las camas, canales, servicios higiénicos, zona de pesaje, zona de estacionamiento, zona de armado de camas, zona de tamizado, almacén y área administrativa.
Finalización del trabajo.	En esta fase se realiza las instalaciones de agua tanto para el directo uso humano. También se realiza la instalación de luz, de puertas y ventanas.
Implementación de herramientas.	Herramientas de uso manual como pico, pala, escobas, recogedores, cobertor para las pilas de materia orgánica, equipos de transporte, equipo de picado.

Nota: Elaboración propia

Fase de operación. Es la etapa en que se desarrolla el servicio de compostaje ya sea para el uso municipal o para la comercialización. Lo primero es la obtención de la materia prima, el tratamiento, el monitoreo y la disposición del producto para su uso.

Tabla 21

Actividades de la fase de operación

<i>Actividad</i>	<i>Acciones</i>
Recolección de residuos orgánicos.	La recolección de residuos orgánicos se realizará tres veces por semana, en los mismos puntos de recogida establecidos por la municipalidad. también se publicará números de teléfono para la recolección extraordinaria. Para la recolección el personal deberá estar con sus equipos de protección personal (botas, guantes, mascarilla y chaleco reflectante).
Transporte de residuos orgánicos.	El transporte se realizará en un vehículo con capacidad de carga de dos toneladas, el cual recorrerá directamente a la planta de compostaje, no se realizará traspaso de carga de un vehículo a otro para evitar contaminación o derrame de residuos, además, tal como se puede ver en la figura 4, el transporte será por vías amplias y debidamente implementadas por la municipalidad, de tal manera que no se va a interferir el tránsito vehicular ni el de los peatones.
Preselección y separación.	El material que se recoge del distrito proviene de jardinería y de cocina doméstica y otro tanto proviene de la jardinería y poda municipal. Este material vegetal llega con tallos delgados y gruesos, espinas, hojas secas y húmedas, hojas blandas como del geranio y hojas duras como de la palmera. Se debe retirar los tallos

	duros grandes y medianos, se debe separar los diversos tipos de material orgánico.
Triturado y homogeneización.	Con una máquina trituradora se picará el material orgánico de diversa textura. Además, se comprará unos 50 kgs de aserrín de trabajos de carpintería para verter en cada cama de compostaje. Los tallos de diversas dimensiones serán retirados. Este proceso permitirá homogeneizar el material orgánico para lograr una maduración más pronta y eficaz.
Mezcla y formación de camas o hileras.	El material orgánico picado se traslada y se llena en las camas de manera ordenada, desde un extremo hasta el otro extremo en toda su capacidad, esta conjunción de elementos contribuye a la producción de calor y de rápida descomposición.
Monitoreo de la humedad y de la temperatura.	Para la medición de la temperatura se utiliza el termómetro de compostaje que mide entre 30 y 90 cms, sabiendo que es fría la temperatura menor a 40°C, de adecuada actividad entre 40 y 60°C, termofílica e higienizante de 55 a 70°C, en esta última fase se desactiva las semillas, malezas y patógenos. A consecuencia de este monitoreo se toma decisiones de riego y volteado del material.
Volteado periódico de materia orgánica.	El volteado es necesario porque le da oxigenación al material, equilibra la temperatura, reduce la producción y emisión de carbono y metano que podría contaminar el aire y provocar el efecto invernadero. Este proceso es de esencial importancia para evitar el impacto ambiental.

Maduración del compost.	Mediante el control se conocerá el punto de maduración del compost. Cuando este se encuentre en su punto de maduración se extraerá el compost, de manera que no genere contaminantes que afecten al medio ambiente.
Tamizado o envasado.	La calidad del nutriente se conservará en el producto mediante el tamizado y envasado para que conserve su poder nutritivo y la humedad.
Almacenamiento y distribución.	Los productos de compost se trasladarán prontamente al vivero y a los jardines de las calles de la municipalidad de Yarabamba.

Nota: Elaboración propia

Fase de cierre. Es la etapa de finalización del proyecto porque ya cumplió su cometido, porque deja de ser sostenible, rentable o por disposición forzada de cierre de parte de la autoridad local; sin embargo, el proyecto de compostaje tiene altísima utilidad. En una suposición de cierre se tendrá en cuenta los aspectos que en seguida se indican.

Tabla 22

Actividades de la fase de cierre

<i>Actividad</i>	<i>Acciones</i>
Desmantelamiento de la infraestructura	La utilidad de las plantas de revalorización de residuos orgánicos se está descubriendo recientemente en las áreas urbanas. Esta propuesta ofrece dos importantes alternativas: la de ser adecuado el tratamiento de los residuos orgánicos y la de ofrecer una fertilización natural de las plantas para el consumo humano. Por este motivo, se considera que la propuesta será de larga duración; sin embargo, el desmantelamiento será sencillo porque

la infraestructura consta de una sola planta, consta de paredes de media altura y techo prefabricado.

Restauración del área para uso diverso	Por efecto del compostaje, no habrá contaminación del suelo porque el piso será vaciado con cemento y los efluentes, ricos en minerales, se utilizarán para el riego de las plantas.
--	--

Nota: Elaboración propia

b. Identificación de factores ambientales. En esta fase se identifica los elementos que pueden afectar en el proyecto. Este viene a ser el eje horizontal.

Tabla 23

Actividades de identificación de factores ambientales

<i>Actividad</i>	<i>Acciones</i>
Afección al aire	La descomposición de los residuos orgánicos en modalidad anaeróbica (sin ventilación) es fuente de anhídrido carbónico y metano, ambos atentan contra el medio ambiente y provocan el efecto invernadero. Sin embargo, la descomposición realizada mediante la técnica del compostaje reduce la producción de dióxido de carbono a un tercio y la producción de metano es casi nulo. Por tanto, el compostaje, antes que un problema, es una solución al problema de contaminación del aire (IPCC, 2006; Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008). Por otra parte, cada cama de compostaje contará con un cobertor de lona impermeable y, además, la infraestructura tiene un techo prefabricado que lo aísla del medio ambiente.
Afección al agua	En el compostaje se utiliza agua, sin embargo, este uso es sólo para la humidificación del material orgánico, en cantidades medidas y sólo una vez por semana, y esa humedad se optimiza porque el material no está

	expuesto al sol, sino que está dentro de una planta techada y aún más, cada cama de compostaje tiene cobertor impermeable.
Afección al suelo	El piso de la planta de compostaje está diseñado de concreto armado, por tanto, el compost no tiene contacto directo con el suelo. El líquido que fluye del compost por efecto del riego o de la descomposición del material orgánicos es muy poco, y eso se deposita en envases y se traslada para la fertilización de las plantas ya que es muy rico en minerales.
A la fauna	La planta de compostaje no perjudicará a la fauna porque no tiene componentes directamente dañinos para los animales. Además, estará ubicada al interior de una infraestructura debidamente cubierta.
A la flora	La planta de compostaje no puede tener impacto ambiental relacionado con la flora porque opera dentro de una infraestructura, aislado del entorno. Los efluentes del compost se depositan en envases que luego se trasladan a las plantas, por tanto, tampoco tendrá un efecto negativo.
A la salud humana	Las camas de compost estarán aisladas del medio ambiente mediante una estructura techada y mediante la cubierta de lona sintética. Además, el compost se realizará mediante el procedimiento de oxigenación que reduce notablemente sus efectos contaminantes. Por lo dicho, no afectará a la población del entorno. Aún más, sabiendo que en la ubicación se está guardando las distancias exigidas de la presencia de grupos humanos. El personal que trabaja en la planta lo hará descubriendo la cubierta de las camas de compostaje y con todos los EPPs, por tanto, no tendrá efectos contra la salud del personal.

Nota: Elaboración propia

c. La conformación de la matriz. En esta fase se realiza el cruce entre las acciones (filas) y los factores ambientales (columnas). En cada intersección se evalúa tanto el impacto como también los aspectos en que se da ese impacto.

Los elementos de la matriz del impacto son:

La medición del impacto. El impacto se mide en valores cuantitativos que son de 1 a 5 o de 1 a 10. En este caso, los siguientes:

El nivel del impacto. Mediante una fórmula ponderada se determina la importancia del impacto ambiental que se clasifica de la siguiente manera:

- Irrelevante.
- Moderado.
- Severo.
- Crítico.

Criterios de medición del impacto.

Los criterios de medición son: la naturaleza del impacto, gravedad, extensión afectada, tiempo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad, certidumbre e importancia.

En seguida se presenta la matriz del impacto con todos los elementos presentados.

Tabla 24

Criterios de calificación del impacto

<i>Criterio</i>	<i>Descripción</i>	<i>Escala de calificación</i>
Naturaleza del impacto (N)	Precisa si el impacto es positivo o negativo.	No hay impacto (1) y sí hay mucho impacto (5).
Gravedad (G) o intensidad o del impacto	Es el grado de alteración que se infiere al medio ambiente.	Alteración nula (1) y mucha alteración (5).

Extensión o área geográfica afectada (EG)	Área o proporción del entorno afectado.	El área de afección de afección es muy pequeña (1) y área muy grande de afección (2).
Tiempo de manifestación (T)	El tiempo que tarda en manifestarse el impacto de la acción.	El impacto se manifiesta a largo plazo (1), el impacto se manifiesta en seguida (5).
Persistencia (P)	Duración del efecto.	La duración es muy corta (1) y la duración es muy larga (5).
Reversibilidad (R)	Posibilidad de que el medio recupere su estado inicial de manera natural.	El estado natural se recupera en seguida (1) y el estado natural se recupera a largo plazo (5).
Recuperabilidad (Re)	Facilidad para restaurar el medio ambiente mediante la acción humana.	Se restaura fácilmente (1) y se restaura con mucho esfuerzo humano (5).
Sinergia (S)	El impacto ambiental al unirse con otros elementos.	Impacto nulo (1) e impacto grave (5).
Acumulación (A)	El impacto que tiene con el tiempo o con actividades sucesivas.	Impacto nulo (1) e impacto grave (5).
Efecto (Ef)	Impacto directo (efecto inmediato) o indirecto (efecto secundario).	Impacto indirecto o nulo (1) e impacto directo o grave (5).
Periodicidad (Pe)	Frecuencia en que ocurre el impacto.	Nulo u ocasional (1) y continuo (5).
Certidumbre (C)	Grado de seguridad con que se prevé que ocurra el impacto.	Nulo o incierto (1) y con toda seguridad (5).
Valor o magnitud del impacto	Magnitud del impacto (valor global ponderado de todos los criterios anteriores).	Nula o muy baja importancia (12) y muy alta importancia (60).

Nota: Elaboración propia

Fórmula 1:

Fórmula para medir el valor del impacto (VI)

$$VI = N + G + EG + T + P + R + Re + S + A + Ef + Pe + C$$

Puntos de corte y baremos del valor del impacto. En este punto se ofrece los criterios para determinar el valor del impacto.

Puntos de corte y baremos del valor del impacto: 12-24 (impacto irrelevante), 25-36 (impacto moderado), 37-48 (impacto severo), 49-60 (impacto crítico).

En seguida se realiza una evaluación adelantada de la afección de las diversas fases de la propuesta de plan de compostaje al aire, al suelo, el agua, la flora, la fauna y la salud humana.

Tabla 25

Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección al aire.

Acciones	Afección al aire (olores)												Total	Signifi- cado
	N	G	EG	T	P	R	Re	S	A	Ef	Pe	C		
Recolección de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Transporte de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Preselección y separación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Triturado y homogeneización.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Mezcla y formación de pilas o hileras.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Monitoreo de la humedad y de la temperatura.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Volteado periódico de materia orgánica.	4	3	3	1	2	2	1	1	2	1	2	2	24	Impacto irrelevante
Maduración del compost.	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	19	Impacto irrelevante
Tamizado y envasado.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Almacenamiento y distribución.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante

Nota: Elaboración propia

En la tabla 24 se analiza la potencial afección de las diversas fases del proceso de compostaje en el aire. En todos los casos, el impacto en el aire es irrelevante, esto quiere decir que no se perjudica al aire ni en el mismo lugar del compostaje, ni en el entorno. Por este resultado favorable al medio ambiente se dice que el compostaje es una excelente alternativa de gestión de residuos orgánicos.



Tabla 26

Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección al agua.

<i>Acciones</i>	<i>Afección al agua</i>												<i>Total</i>	<i>Signifi- cado</i>
	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>EG</i>	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>Re</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>Ef</i>	<i>Pe</i>	<i>C</i>		
Recolección de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Transporte de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Preselección y separación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Triturado y homogeneización.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Mezcla y formación de pilas o hileras.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Monitoreo de la humedad y de la temperatura.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	14	Impacto irrelevante
Volteado periódico de materia orgánica.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	14	Impacto irrelevante
Maduración del compost.	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	16	Impacto irrelevante
Tamizado y envasado.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Almacenamiento y distribución.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante

Nota: Elaboración propia

La tabla 25 se da a conocer el análisis de la potencial afección de las diversas fases del proceso de compostaje en el agua. En todos los casos, el impacto en el agua es irrelevante, esto quiere decir que no se perjudica al agua ni en el mismo lugar del compostaje, ni en el entorno. Por este resultado favorable al medio ambiente se dice que el compostaje es una excelente alternativa de gestión de residuos orgánicos.



Tabla 27

Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección al suelo.

Acciones	Afección al suelo												Total	Signifi-cado
	N	G	EG	T	P	R	Re	S	A	Ef	Pe	C		
Recolección de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Transporte de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Preselección y separación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Triturado y homogeneización.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Mezcla y formación de pilas o hileras.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Monitoreo de la humedad y de la temperatura.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	13	Impacto irrelevante
Volteado periódico de materia orgánica.	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	21	Impacto irrelevante
Maduración del compost.	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	18	Impacto irrelevante
Tamizado y envasado.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Almacenamiento y distribución.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante

Nota: Elaboración propia

Según la tabla 26 el impacto de las diversas fases del proceso de compostaje en el suelo es irrelevante ya que no perjudica a la calidad del suelo ni en el lugar de operación de la planta ni en su entorno. Gracias a este resultado favorable se indica que el compostaje es la mejor alternativa para gestionar los residuos orgánicos de la municipalidad distrital de Yarabamba.



Tabla 28

Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección a la flora.

<i>Acciones</i>	<i>Factores</i>			<i>Afección a la flora</i>									<i>Total</i>	<i>Signifi- cado</i>
	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>EG</i>	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>Re</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>Ef</i>	<i>Pe</i>	<i>C</i>		
Recolección de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Transporte de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Preselección y separación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Triturado y homogeneización.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Mezcla y formación de pilas o hileras.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Monitoreo de la humedad y de la temperatura.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	13	Impacto irrelevante
Volteado periódico de materia orgánica.	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	18	Impacto irrelevante
Maduración del compost.	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	16	Impacto irrelevante
Tamizado y envasado.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Almacenamiento y distribución.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante

Nota: Elaboración propia

En la tabla 27 se da a conocer los efectos del proceso de compostaje en la flora del entorno de la planta o de los puntos de recojo del material orgánico. En todos los casos se determinó que el impacto es irrelevante, esto quiere decir que estas fases, en lugar de ser perjudiciales, son beneficiosas para la adecuada gestión de los residuos orgánicos de la municipalidad distrital de Yarabamba.



Tabla 29

Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección a la fauna.

Acciones	Afección a la fauna												Total	Signifi- cado
	N	G	EG	T	P	R	Re	S	A	Ef	Pe	C		
Recolección de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Transporte de residuos orgánicos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Preselección y separación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Triturado y homogeneización.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Mezcla y formación de pilas o hileras.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Monitoreo de la humedad y de la temperatura.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Volteado periódico de materia orgánica.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	14	Impacto irrelevante
Maduración del compost.	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	16	Impacto irrelevante
Tamizado y envasado.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Almacenamiento y distribución.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante

Nota: Elaboración propia

Según la tabla 28 el impacto de las diversas fases del proceso de compostaje en la fauna es irrelevante ya que de ninguna manera perjudica a la fauna del entorno. Gracias a este resultado favorable se indica que el compostaje es la mejor alternativa para gestionar los residuos orgánicos de la municipalidad distrital de Yarabamba.



Tabla 30

Evaluación de las diversas fases del proceso en la afección a la salud humana.

Acciones	Afección a la salud humana												Total	Signifi- cado
	N	G	EG	T	P	R	Re	S	A	Ef	Pe	C		
Recolección de residuos orgánicos.	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Impacto irrelevante
Transporte de residuos orgánicos.	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Impacto irrelevante
Preselección y separación.	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Impacto irrelevante
Triturado y homogeneización.	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	Impacto irrelevante
Mezcla y formación de pilas o hileras.	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	Impacto irrelevante
Monitoreo de la humedad y de la temperatura.	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	Impacto irrelevante
Volteado periódico de materia orgánica.	4	4	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	27	Impacto moderado
Maduración del compost.	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	17	Impacto irrelevante
Tamizado y envasado.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante
Almacenamiento y distribución.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	Impacto irrelevante

Nota: Elaboración propia

Al analizar la afección de las diversas fases del proceso de compostaje en la salud humana se determinó que en la mayoría de los casos es irrelevante, esto significa que no perjudica la vida ni la salud humana. Asimismo, se determinó que el volteado periódico de la materia orgánica es de impacto moderado porque los olores fuertes a consecuencia del proceso de putrefacción afectan en cierta medida al trabajador que está en contacto directo con la maquinaria que realiza el proceso de volteado; sin embargo, esto se puede anular mediante el uso de la mascarilla.

Dado que se determinó que los procesos de compostaje no tienen impacto negativo en el aire, el agua, el suelo, la flora, la fauna, ni en la salud humana, se considera que esta es una propuesta sostenible y beneficiosa para el Distrito de Yarabamba.

d. Análisis y priorización. Consiste en reconocer los elementos más perjudiciales y organizarlo según su gravedad para decidirse a superarlos. Estos elementos son:

- **Eliminar o cambiar** el proceso debido a que su impacto en el medio ambiente es crítico o irreversible.
- **Mitigar** es identificar, evaluar y desarrollar estrategias para minimizar la probabilidad o el impacto de los eventos más adversos.
- **Monitorear** los impactos moderados.
- **Aceptar** los impactos bajos en caso no se puedan evitar.

Aplicando el modelo al presente caso tenemos:

Tabla 31

Análisis prioritario de los puntajes más altos de impacto contra la gestión sostenible.

<i>Ítems</i>	<i>Impacto bajo: Aceptar</i>	<i>Impacto moderado: Monitorear</i>	<i>Impacto alto: Mitigar</i>	<i>Impacto crítico: Eliminar o cambiar</i>
Recolección de residuos orgánicos /salud humana (04 puntos).	X			
Preselección y separación / salud humana (03 puntos).	X			
Triturado y homogeneización / salud humana (04 puntos).	X			
Monitoreo de humedad y temperatura / salud humana (04 puntos).	X			
Volteado periódico de la materia / aire (07 puntos).	X			
Volteado periódico de la materia / suelo (04 puntos).	X			
Volteado periódico de la materia / salud humana (15 puntos).		X		
Maduración del compost / aire (10 puntos).	X			
Maduración del compost / agua (04 puntos).	X			
Maduración del compost / suelo (09 puntos).	X			
Maduración del compost / flora (03 puntos).	X			
Maduración del compost / fauna (03 puntos).	X			
Maduración del compost / salud humana (08 puntos).	X			
Tamizado y envasado / salud humana (08 puntos).	X			
Almacenamiento y distribución / aire (04 puntos).	X			
Almacenamiento y distribución /salud humana (04 puntos).	X			

Nota: Elaboración propia

En la tabla 14 se da a conocer los puntajes más elevados de impacto contra la gestión sostenible. La mayoría de estos presenta un impacto bajo que es aceptable. El volteado periódico de la materia tiene un impacto moderado en la salud humana.

En otros aspectos se ha obtenido relaciones con puntaje cero debido a que no ofrecen problemas ambientales, esto da noción de que el proyecto de compost no comporta peligrosidad ambiental, sino que, al contrario, minimiza la peligrosidad que representan los residuos orgánicos que no reciben tratamiento adecuado.

e. Conclusiones y medidas de mitigación.

A la luz de los pasos previos, se toma decisiones ejecutivas con el fin de realizar mejoras y reducir los efectos ambientales que se ha encontrado. Dado que en el presente proyecto no se ha encontrado impacto ambiental considerable de la planta de compost, se sugiere a la Municipalidad de Yarabamba para que ejecute el proyecto de compostaje al mismo tiempo que se realizará las siguientes acciones coherentes con los resultados hallados con la matriz Conesa:

- El volteado periódico de la materia tiene un impacto bajo en la salud humana. Este impacto se debe monitorear. Además de la constante evaluación y monitoreo, se vigilará que el personal trabaje haciendo uso permanente de los equipos de protección personal (EPPs), estos son principalmente camisa/polo, pantalón, gorro, casco, calzado, lentes, guantes y mascarilla para gases.
- Los lixiviados, a pesar de contener mucha carga de minerales, pueden perjudicar el suelo. En el presente caso es aceptable; sin embargo, se impermeabilizará el piso realizando el vaciado con concreto armado de manera que permita filtrar y captar todo el lixiviado para la fertilización natural de las plantas y evitar el daño del suelo por efecto del lixiviado.

- El olor del compost puede afectar al personal que labora en la planta mediante la contaminación del aire y la atracción de los insectos. A pesar de que la infraestructura tendrá techo, en este proyecto se utilizará de manera permanente el cobertor de lona impermeabilizado, esto ayudará a contrarrestar cualquier efecto secundario.

La matriz de Conesa (2010) que se está aplicando en este proyecto de compostaje es bastante objetiva y se constituye en una buena herramienta para la realización de correcciones de los impactos ambientales.

4.3.2. Estrategia de detección de riesgos e impactos

El proceso de detección abarca riesgos e impactos en lo ambiental y social, aplicando análisis de alternativas, revisiones históricas, auditorías y consultas con expertos. Se comprende la dinámica del progreso del proyecto y se implementa una jerarquía de mitigación según mejores prácticas a nivel internacional.

a. Información general del proyecto

- Nombre del proyecto: Diseño de planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba-Arequipa.
- Titular del proyecto: Municipalidad de Yarabamba.
- Ubicación geográfica y área de influencia: Municipalidad de Yarabamba, Provincia de Arequipa y Región Arequipa.
- Superficie total de las instalaciones del proyecto: 1222.56 m².
- Tiempo de ejecución y operación: 15 años.

b Descripción técnica del proyecto

- Justificación del proyecto: Los residuos sin adecuado tratamiento son quemados y favorecen el efecto invernadero, por otra parte, hay carencia de fertilizante natural

para la jardinería del distrito, se desperdicia indiscriminadamente los residuos y con esto se atenta contra la economía circular que se está promoviendo en el mundo. Los residuos orgánicos son abrumadores frente a la poca capacidad de tratamiento que se tiene, ante esta situación, el compostaje es una alternativa que además de reducir el trabajo de quema, reportará beneficios como fuentes de trabajo y generación de fertilizante natural para la jardinería.

- Tipo de residuos: residuos orgánicos municipales de poda y de jardinería, restos vegetales domésticos, residuos de mercados, restos de alimentos, aserrín, estiércol y cáscaras.
- Cantidad estimada de residuos por semana en toneladas: 1 tonelada semanal (con proyección a 15 años).
- Proceso tecnológico: compostaje aeróbico por camas.
- Infraestructura: construcción independiente con zonas de pesaje, acopio, compostaje, tamizaje y almacenamiento, oficinas administrativas, parqueadero de vehículos.
- Requerimientos: agua, energía eléctrica, personal de trabajo permanente y transporte.

d. Descripción del medio ambiente

- Caracterización física:

Clima: 12 a 20°C.

Suelo: arcilloso-arenoso.

Geología: plana.

Agua: uso de agua superficial.

- Biológica:

Flora: en el lugar hay vegetación principalmente de labor agrícola y de jardinería.

Fauna: insectos y aves del campo.

Especies protegidas: no hay.

- Socioeconómica:

Población cercana: 1307 familias (INEI, 2017).

- Servicios públicos:

Agua: 32% de la población.

Alcantarillado: 32% de la población.

Recojo de residuos sólidos: 52% de la población.

Actividades productivas: cultivo de alfalfa, maíz, cebolla, ajo y jardinería.

e. Identificación y evaluación de impactos ambientales

- Análisis de impactos en fases de: emisión de gases leves, olores leves.
- Construcción: ninguno.
- Operación: emisión de olores.
- Cierre (restauración del área): ninguno.
- Uso de matriz de impactos: impacto de nulo a leve.

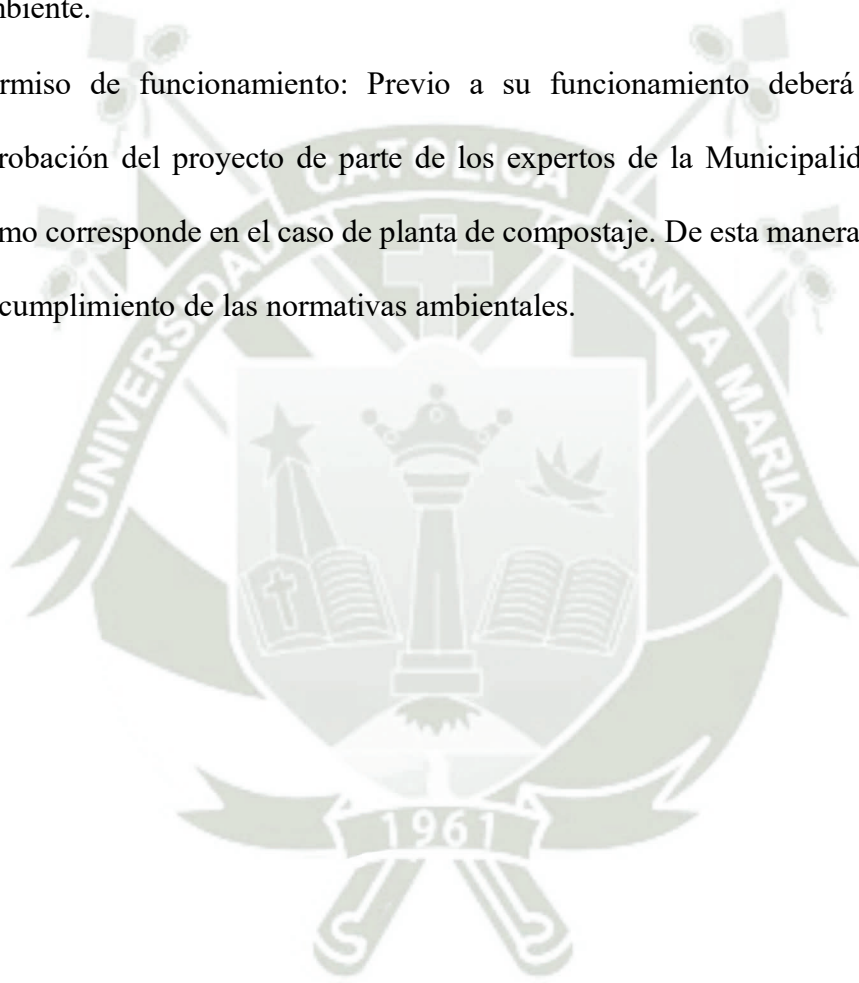
f. Medidas ambientales propuestas

- Prevención y mitigación: cobertor sintético para las camas de materia orgánica.
- Manejo de lixiviados: drenaje, recolección y tratamiento.
- Control de olores: volteado periódico del material orgánico, monitoreo de parámetros.
- Control vectorial: uso de mallas, limpieza regular.
- Educación ambiental para operadores: capacitación al personal.

g. Plan de Monitoreo Ambiental

- Parámetros: los parámetros de medida de los olores, lixiviados, vectores, tratamiento de residuos no compatibles ya se han dado a conocer antes, en la Matriz Conesa.

- Frecuencia: monitoreo mensual que estará acompañado de la revisión histórica.
- Asesoramiento: se contará con visitas periódicas (cada 2 meses) de expertos en ingeniería ambiental.
- Proporcionalidad: las acciones de mitigación serán proporcionales a los riesgos ambientales, de tal manera que no queden remanentes que perjudiquen al medio ambiente.
- Permiso de funcionamiento: Previo a su funcionamiento deberá solicitarse la aprobación del proyecto de parte de los expertos de la Municipalidad Provincial, como corresponde en el caso de planta de compostaje. De esta manera se garantizará el cumplimiento de las normativas ambientales.



h. Plan de Contingencias

En el caso específico de la planta de compostaje de residuos del Distrito de Yarabamba los procesos son bastante autosuficientes; es así que el proceso principal de descomposición del material orgánico se realiza de manera natural, aunque sí requiere de algunos servicios complementarios como agua, energía eléctrica, transporte. En seguida se ofrece algunas estrategias de contingencia.

Tabla 32

Plan de contingencias de la planta de compostaje.

Problema	Importancia	Plan de contingencia
Incendios	Pueden perjudicar a la infraestructura, a las maquinarias y a implementos como cubiertas de lona, materiales.	Se cuenta con instalaciones de agua para su extinción.
Derrames de lixiviados	Los lixiviados pueden dañar el suelo, el agua y contaminar el aire; sin embargo, en la planta no es considerable el derrame de lixiviados.	La planta posee filtros y dispositivos de recolección de lixiviados y está previsto utilizarlos para la fertilización de las plantas.
Olor del compost en el volteado	El proceso de volteado de la materia orgánica en proceso de descomposición requiere que un trabajador opere la máquina de volteado. Los olores que se desprenden de la materia pueden afectar en cierto modo en la salud del trabajador.	Exigir a los trabajadores el uso permanente de los EPPs, y principalmente de mascarilla.
Corte de energía eléctrica	La energía eléctrica no se utiliza directamente para el proceso de compostaje, ya que este se realiza de manera natural; sin embargo, se utiliza: -Por una hora diaria para el funcionamiento de la trituradora.	En caso los cortes de energía sean prolongadas y constantes, se puede implementar un generador de energía eléctrica.

	-Por tres horas semanales para la máquina volteadora. -Para la iluminación de la planta.	
Corte de agua	-El agua puede hacer falta para los servicios higiénicos esto es urgente. -El agua puede hacer falta para el riego de las pilas de compostaje, esto no es tan urgente porque sólo se riega una o dos veces por semana.	Construir una cisterna subterránea de agua para la planta.
Daño de vehículos de transporte	Cuando el vehículo de transporte se avería no se podrá realizar el acostumbrado recojo diario de residuos orgánicos.	Se contrata momentáneamente un camión para la recolección.
Residuos sólidos inorgánicos	Si bien se exige selección en la fuente, se prevé que sí habrá pequeñas cantidades de residuos inorgánicos.	Estos residuos se transportan al botadero de la ciudad junto con los demás residuos.
Exceso de humedad en pilas	Genera condiciones anaeróbicas, producción de olores y lixiviados.	Control operacional mediante monitoreo de humedad. Incorporación de material estructurante. Protección de pilas ante precipitaciones.
Baja temperatura del compost	Indica ineficiencia en el proceso biológico y posible falta de higienización.	Ajuste de parámetros operacionales (C/N, humedad, aireación). Incremento de volteo. Monitoreo continuo.
Presencia de vectores	Genera riesgos sanitarios y afecta la percepción ambiental del proyecto.	Implementación de buenas prácticas operativas: cobertura adecuada, control de humedad, limpieza permanente. Aplicación de medidas de control biológico o físico.
Generación de polvo (tritución)	Impacto sobre la calidad del aire y salud ocupacional.	Humectación previa del material. Uso obligatorio de EPP. Mantenimiento de equipos. Control operacional en zona de trituración.

Fallas en la trituración	Reduce la eficiencia del proceso y afecta la homogeneidad del material.	Programa de mantenimiento preventivo. Uso de alternativas manuales temporales. Control del tamaño de ingreso de residuos.
Compactación del material	Reduce la aireación, generando condiciones anaeróbicas.	Control mediante volteo periódico. Uso de material estructurante. Supervisión operativa del proceso.
Contaminación cruzada de residuos (mezcla inadecuada)	La mezcla de residuos no aptos (plásticos, residuos peligrosos) puede afectar la calidad del compost y generar riesgos ambientales.	Se implementará control en la recepción mediante inspección visual y segregación obligatoria. Capacitación al personal en identificación de residuos. En caso de detección, se retirarán y dispondrán adecuadamente según normativa vigente.
Precipitaciones intensas (lluvias)	El ingreso de agua de lluvia puede alterar la humedad del compost, generar lixiviados y afectar la eficiencia del proceso.	Se implementarán coberturas (techos o geomembranas) en las pilas. Diseño de drenajes perimetrales. Monitoreo de humedad y ajuste mediante volteo y adición de material seco.

Nota: Elaboración propia

Desde el enfoque de la Ingeniería ambiental se considera que el riesgo más técnico en el diseño de la planta de compostaje es el inadecuado manejo de las variables operativas del proceso, esencialmente con el control de humedad, relación carbono/nitrógeno y el volteado del material ya que en la operación cotidiana de estos parámetros en una deficiente gestión puede generar condiciones anaeróbicas dentro de las camas de compostaje afectando directamente a la calidad de compost, producción de olores y generación de lixiviados. Así mismo, en condiciones ideales se pretendería ejecutar dicha planta en un área mayor de terreno con el objetivo de reducir el riesgo de seguridad y salud ocupacional, sin embargo, teniendo en cuenta que la Municipalidad dispone de dicho espacio actualmente, la presente investigación se ajustó a realizar el diseño de acuerdo al área determinada proporcionando así el correcto funcionamiento de la planta de compostaje reduciendo sus riesgos al mínimo.

4.4. Resultados para el objetivo específico 4

En vistas de elaborar los procedimientos para una adecuada gestión sostenible se optó por los tres grandes aspectos que son: sostenibilidad económica, sostenibilidad social y sostenibilidad ambiental.

La sostenibilidad es la capacidad de mantener o de soportar un sistema, proceso o actividad beneficiosa minimizando los impactos negativos y sin que se agoten los recursos de manera que se llegue a un equilibrio entre la atención a las necesidades presentes y a las necesidades futuras (BBVA, 2025).

En este contexto, la gestión sostenible consiste en organizar, proyectar, ejecutar y monitorear las actividades de inversión económica sin agotar los recursos ni perjudicar las necesidades futuras.

Figura 24

Gestión sostenible



Tal como se dijo en la teoría, la gestión sostenible es una necesidad ineludible para una planta de compostaje, esta sostenibilidad se implementará en los aspectos económico, social y ambiental (figura 24). En seguida se desarrolla cada una de las propuestas.

4.4.1. Propuesta de sostenibilidad económica.

En esta investigación, la sostenibilidad del proyecto de planta de compostaje se sustenta mediante el análisis de costos y financiamiento, comercialización del compost, ahorros y beneficios económicos. En seguida se desarrolla cada uno de los tres puntos indicados.

a. Análisis de costos y financiamiento

Presupuesto estimado para construcción e implementación de la planta de compostaje.

Tabla 33

Requerimientos y costos de la planta de compostaje

Requerimientos	Especificación	Costos en s/
Requerimientos de infraestructura	01 depósito de herramientas.	160 000.00
	01 sala múltiple.	
	04 camas de 8 mts de largo x 1.5 mts de altura x 4 mts de ancho.	
	Construcción del perímetro	
	Vaciado del piso	
Requerimientos de equipos y materiales	Vehículo de transporte de residuos orgánicos	80 000.00
	Máquina volteadora de compost autopropulsora.	12 000.00
	Máquina trituradora de ramas y maderas.	3 420.00
	Balanza electrónica industrial de 100 kgs. de capacidad.	480.00
	04 cobertores de lona plastificada de 8.00 mts de largo por 4.00 mts de ancho.	880.00
Requerimientos de herramientas:	02 carretillas.	500.00
	02 picos.	70.00
	02 trinchas de trabajo agrícola.	60.00
Total:		257 400.00

Nota: Elaboración propia

El presupuesto de construcción y de implementación es de 257 400 soles, lo cual, se financiará con el canon minero que ofrece la Minera Cerro Verde a la Municipalidad de Yarabamba por considerarlo de su zona de influencia. El año 2022 esta municipalidad ha recibido 198 millones de canon minero y 1 millón por regalías mineras. Este ingreso se debe utilizar, entre otros, para obras de saneamiento urbano y ambiental (Grupo Propuesta Ciudadana, 2023).

Dado que la municipalidad mejora en los espacios públicos, es decir, genera mayor bien común, entonces no habrá un retorno económico líquido de esta inversión, pero se contará con viveros que poseen variedad de plantas ornamentales bien desarrolladas que embellecerán las calles del distrito.

Sin embargo, es necesario precisar que este presupuesto no contempla los gastos de operatividad, es decir, de combustible, de electricidad, de remuneración del conductor del vehículo, ni del trabajador de acarreo de material orgánico, esto deberá financiarse con el presupuesto de la municipalidad en mención.

b. Comercialización del compost

La finalidad inicial de producir compost es para abastecer de nutriente natural para el vivero municipal y para los parques y jardines administrados por la municipalidad; sin embargo, se sugiere ofrecer un servicio de comercialización de compost para el uso de los jardines domésticos o para el uso agrícola, ya que el Distrito de Yarabamba se caracteriza por ser netamente agrícola y por la provisión de vegetales frescos a los mercados de la ciudad de Arequipa.

La propuesta debe ejecutarse progresivamente, a medida que se incrementa la provisión de materia orgánica, ya que proyectando los datos de la tabla 03 se concluye que en los

residuos domésticos se puede captar 1,741.184 kg de residuos orgánicos diariamente, sin contar con los residuos orgánicos de jardinería y de poda realizadas por la municipalidad.

A nivel de costos, en los mercados de la ciudad de Arequipa se vende compost de 10 kg a un costo que fluctúa entre 12 y 15 soles. Para la comercialización en flujos más grandes se puede promocionar el compost en ferias agrícolas y mercados.

c. Ahorros y beneficios económicos

La creación de una planta de compostaje reporta beneficios económicos a favor de la municipalidad por las siguientes razones:

Hay reducción de costos de transporte y de disposición final debido a que la Municipalidad Distrital de Yarabamba tiene un gasto de S/.16,572.00 soles anuales aproximadamente respecto a combustible y el pago por la disposición final en quebrada Honda, esto debido a la distancia existente que es de 23km y a que se generan 42 toneladas por mes promedio en el distrito, del cual el 50% de ellas son residuos orgánicos como se vino observando, es por ello que en este aspecto el ahorro que se tendrá al tratar los residuos orgánicos en la planta de compostaje será de S/. 8,286.00 soles anuales aproximadamente con respecto a estos dos puntos. El transporte de los residuos hasta el sector denominado Quebrada Honda requiere mucho tiempo, personal, gasto en combustible y desgaste de los vehículos. En cambio, el tratamiento de los residuos orgánicos en el mismo distrito reduce el gasto al menos en 30% en general.

Se generará el retorno de la inversión mediante los viveros con variedad de plantas fertilizadas naturalmente y el cuidado de los jardines y parques con plantas bien desarrolladas. El retorno también se podrá dar mediante la venta de compost para la jardinería de los vecinos de la ciudad y para la agricultura.

4.4.2. Propuesta de sostenibilidad social.

La propuesta de planta de compostaje tiene sostenibilidad social en varios sentidos, ante todo porque este proyecto genera fuentes de trabajo. Si bien inicialmente se ofrecerá empleo permanente para dos personas, pero se ampliará progresivamente en el volumen de producción, en los usuarios del compost y en la generación de fuentes de empleo.

La sostenibilidad social se basa principalmente en la sensibilización y capacitación ciudadana. Se trata de que como municipio se eduque a la población para que actúe apoyando el proyecto de compostaje de material orgánico.

En esta investigación se habla de segregación en la fuente, es decir, en el punto de generación del residuo. Un requisito básico es capacitar a la población para que entreguen los residuos clasificados en orgánicos, plásticos, papeles, no reciclables. El personal de jardinería y de limpieza de la municipalidad hace lo mismo allí donde se genera el residuo.

En coordinación con el Área de Cultura y Deporte junto a la Gerencia de Medio Ambiente de la Municipalidad de Yarabamba, se realizará las siguientes acciones:

- Se destinará un presupuesto para financiar un Equipo de capacitadores y materiales impresos.
- Se enseñará a segregar en la fuente colocando los residuos en diferentes recipientes o bolsas para que el personal de la municipalidad lo pueda recoger de manera ordenada. Una segregación de especial importancia es el de los residuos orgánicos.
- Se insistirá con ejemplos concretos en que cada institución educativa y familia segregue sus residuos. Se pedirá que todos los presentes (niños y adultos) realicen el efecto multiplicador del mensaje de segregación de residuos.
- Se capacitará a todo el personal de la municipalidad, a los directivos, administrativos, personal de limpieza y personal de servicios generales. A los directivos se les

capacitará para que promuevan los criterios pro ambientales en todas las entrevistas que tienen con los grupos sociales, a los administrativos para que en todas las instalaciones de la municipalidad practiquen y promuevan la segregación de los residuos, al personal de limpieza y de servicios generales para que organicen debidamente los residuos y favorezcan el transporte ordenado de los residuos hacia el punto de tratamiento.

- El equipo de capacitadores pasará por todo el distrito, casa por casa orientando y entregando afiches con mensajes sobre la adecuada segregación de los residuos. Esta labor es posible porque el distrito de Yarabamba, según datos del 2024, consta de 1952 familias, es el distrito con más escaso número de habitantes de la ciudad de Arequipa.
- El material impreso será de colores, con información sobre la segregación de los residuos sólidos en la fuente donde se producen esos residuos. Asimismo, se indica un número telefónico para informar en caso de que se tenga una cantidad considerable de residuos orgánicos a causa de labores de jardinería o poda.
- Se solicitará que los establecimientos comerciales entreguen a los vehículos los residuos de manera segregada.

Tabla 34

Costos económicos de la capacitación de estudiantes y familias

<i>Requerimientos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo en s/</i>
Trípticos impresos sobre segregación de residuos – para escolares	3000	1200.00
Trípticos impresos sobre segregación de residuos para las familias	2000	850.00
Equipo capacitador de practicantes de la carrera de ingeniería ambiental por 3 meses (s/ 1050.00 mensual)	02 practicantes	6300.00
Materiales: lapiceros, papeles y megáfono.	Varios	330.00
Costo total:		8650.00

Nota: Elaboración propia

La capacitación lo realizarán dos jóvenes bachilleres de la carrera de ingeniería ambiental por un período de 3 meses. Ellos recorrerán casa por casa y, con la recomendación del alcalde la municipalidad, podrán ofrecer charlas en las instituciones de educación primaria y secundaria enseñando a segregar los residuos y a entregarlas ordenadamente a los vehículos recolectores de la municipalidad. En estas capacitaciones harán entrega de los trípticos donde se explica paso a paso cómo y por qué segregar los residuos, qué se hace en el distrito con los residuos orgánicos, y cómo se debe entregar los residuos a los vehículos recolectores.

En síntesis, la sostenibilidad social de la planta de compostaje se basa principalmente en la capacitación y la inmediata práctica de segregación de residuos orgánicos. Este esfuerzo social concientizado favorecerá notablemente la recolección y el tratamiento eficaz de los residuos orgánicos.

4.4.3. Propuesta de sostenibilidad ambiental.

La sostenibilidad ambiental está normada internacionalmente principalmente por el ISO 14001 sobre la gestión ambiental y por el ISO 14064 de control de los gases de efecto invernadero. Los procesos que se propone para la gestión de la sostenibilidad ambiental del diseño de planta de compostaje están en íntima relación con los criterios dados en las mencionadas normas.

El diseño de la planta de compostaje es totalmente un proyecto de sostenibilidad ambiental. Cabe mencionar que la huella de carbono del camión que transporta los residuos anualmente es de 5.6 t CO₂ la cual es de 3 a 6 veces más que un sistema eficiente, sin embargo, al implementarse la planta de compostaje se estaría reduciendo la huella de carbono a 1.86 t CO₂ mejorando la eficiencia ambiental del sistema obteniendo así una

menor huella de carbono total en un 67% reduciendo así el volumen de emisiones. La realización del compostaje con volteados y oxigenación periódica del material es sumamente beneficioso para el medio ambiente porque con ese procedimiento se reduce casi a cero los óxidos de carbono y de metano, por otra parte, se genera fertilizantes naturales para las plantas. Cabe mencionar que la propuesta si bien es cierto genera dióxido de carbono (CO₂), se trata de carbono biogénico, proveniente de materia orgánica recientemente fijada por las plantas, por lo que no incrementa significativamente la carga neta de carbono en la atmósfera. A diferencia de ello, tecnologías como los rellenos sanitarios, incluso con captación de biogás continúan generando emisiones de metano (CH₄), un gas con mayor potencial de calentamiento global y difícil de capturar en su totalidad. Por su parte, la digestión anaerobia y la incineración implican mayores requerimientos técnicos, costos elevados los cuales no son rentables y pudiendo generar en algunos casos subproductos contaminantes, además el compostaje destaca como una alternativa eficiente y sostenible, ya que evita la formación de metano, contribuye al secuestro de carbono en el suelo mediante la formación de humus y promueve la valorización de residuos orgánicos el balance ambiental es positivo, al sustituir emisiones de metano por CO₂ biogénico y lograr una reducción de gases de efecto invernadero aproximadamente entre 70% y 90%, consolidándose de esa forma como una solución viable dentro de la gestión integral de residuos sólidos. Además, este proyecto conlleva las siguientes acciones de monitoreo ambiental:

a. Control y cuidado del medio ambiente.

De por sí, el proyecto de compostaje mediante el método aeróbico reduce notablemente los componentes de carbono y metano que contribuyen al efecto invernadero, más aún, se realizará constantes mediciones para reducir los olores que despiden el compost, asimismo, se vigilará la presencia de vectores.

b. Provisionamiento de tachos para la recolección de residuos orgánicos domésticos.

En cada punto de recolección, además del tacho de residuos sólidos inorgánicos, se colocará un tacho para residuos orgánicos provenientes de restos de cocina o de jardinería doméstica.

c. La recolección diferenciada de residuos orgánicos.

Los Municipalidad distrital de Yarabamba, además de implementar vehículos compactadores para la recolección de residuos inorgánicos, implementará un vehículo para la recolección de residuos orgánicos de manera que se realizará una recolección diferenciada de residuos, se optimizará en el uso del tiempo y en avance del trabajo de selección.

d. Diseño de rutas de recolección.

En parte, el diseño de rutas de recolección ya está dada, pero debe actualizarse y crearse nuevos puntos de recolección en consideración a la producción de residuos orgánicos. Estos puntos estarán provistos de tachos grandes para el depósito de restos de jardinería, de actividades agrícolas y de actividades de poda.

e. Reducción del volumen de residuos enviados al botadero.

El incremento de residuos sólidos en el botadero de la ciudad llamada Quebrada Honda se ha convertido en un problema ambiental. La segregación de material orgánico y su tratamiento en compostaje reducirá en un aproximado de 60% el volumen de los residuos. En tal sentido, este proyecto es una buena noticia para el gobierno provincial que se responsabiliza del botadero de la ciudad.

Tal como se indicó antes, la propuesta de sostenibilidad que se acaba de exponer está en coherencia con los criterios de la norma ISO 14001: 2015 de gestión ambiental.

4.5 Discusión de los resultados

Se sabe que cada investigación tiene su originalidad en cuanto al contenido, a la teoría que la fundamenta como a la metodología seguida; sin embargo, también hay constantes que respaldan los nuevos hallazgos.

Respecto a la solicitud del primer objetivo específico se descubrió que el Distrito de Yarabamba cuenta con un espacio destinado para el compostaje y es de administración directa; sin embargo, todavía es incipiente, a campo abierto, no abastece toda la producción de materia orgánica diaria, no se practica la segregación de residuos en la fuente, es limitado el recojo porque se hace una vez por semana, recoge residuos orgánicos producidos por 1952 familias, en un tramo de 20.301 kms lineales y no cumple con los requisitos exigidos por el DS N° 014-2017-MINAM.

En el distrito hay un potencial de residuos orgánicos diarias de 2264.32 kgs procedentes de cocinas, restaurantes, jardines domésticos, establecimientos comerciales, instituciones públicas y privadas, instituciones educativas y espacios públicos, es así que hay residuos de alimentos, residuos de maleza, poda y estiércol. Los residuos orgánicos conforman el 62.00% del total de los residuos sólidos recogidos de la municipalidad. En el actual compostaje hay adecuada composición de los diversos elementos físico-químicos. En coherencia con lo indicado por Us Composting Council (2018) el compost debe tener principalmente componentes de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y hierro. En las muestras analizadas del actual compostaje producidos con los residuos orgánicos de Yarabamba se ha encontrado buenos niveles de los componentes mencionados, aunque está el reto de equilibrar mejor la relación de carbono/nitrógeno, humedad, pH, calcio y magnesio. Esto se puede mejorar mediante la adición de ceniza, viruta de madera y el cuidado de la humedad.

En la investigación realizada por Oviedo-Ruiz, et al. (2021) en Bogotá-Colombia se realizó compost con residuos domésticos y se obtuvo compost con mejor adecuación de componentes físico-químicos para las plantas y el suelo, aunque también había metales pesados, pero en la proporción aceptable.

Por su parte, Ríos-Velásquez y Florida-Rofner (2023) al realizar una investigación en seis distritos de Moquegua descubrieron que los indicadores físico-químicos del compostaje presentaban inadaptaciones pronunciadas respecto a las normas internacionales, carecían de varios componentes químicos importantes. Estas limitaciones no invalidan el proyecto de compostaje, pero podría hacerse una mejor labor.

En síntesis, en cada contexto se tiene variaciones en la cantidad y tipo de materia orgánica, en la finalidad del compost, en el presupuesto, etc pero es importante que se cumpla con los criterios mínimos de composición físico química para que sea beneficiosa para el suelo. Estos criterios no se están cumpliendo bien en los diversos proyectos de compostaje investigados.

En atención al segundo objetivo se ha diseñado exitosamente la planta de compostaje conforme a las disposiciones del DS N° 014-2017. La planta de compostaje abarca un área de 1222.56 m² y consta de espacios de pesaje, recepción de materia orgánica, camas de materia orgánica, espacio de tamizado, almacén, oficinas administrativas y parqueadero. Asimismo, se ha precisado todo el proceso de elaboración del compost con los equipos y materiales que se requiere. Es una propuesta práctica y replicable. El costo de la implementación de la planta es de s/ 257600.00. La operación de la planta requiere del monitoreo permanente desde la Gerencia de Servicios a la Ciudad, Limpieza y Medio Ambiente de la municipalidad.

Por su parte, Ubillús-Farfán, et al. (2024) en una revisión de literatura científica de 24 artículos científicos descubrieron que el compostaje es una excelente alternativa para el tratamiento beneficioso de los residuos orgánicos. Los investigadores sugieren que, dada la excelente utilidad, se comprometan las familias, asociaciones, instituciones y gobiernos locales, y que se conforme cooperativas para este rubro tan beneficioso de los fertilizantes naturales.

Asimismo, Dávila, et al. (2024) tras el análisis de 33 artículos científicos indicaron que las plantas de compostaje son las actividades más emparentadas con la sostenibilidad ambiental en medio de un contexto mundial de abrumadora producción de residuos. Los investigadores indican que este proyecto requiere de inversión económica que será retroactiva, de un programa de sensibilización social y de que las instituciones del estado asuman un papel protagónico en su implementación.

Arellano et al. (2023) en una investigación sobre el compostaje en la ciudad de Lima descubrieron que es posible realizar proyectos de compostaje con los residuos orgánicos recogidos de la calle y de mercados ya que son residuos de variadas composiciones. El resultado fue la obtención de compost con los componentes necesarios para las plantas, asimismo, demostraron que es posible cumplir en el compostaje ciudadano con los criterios exigidos por el MINAM.

También Manca et al. (2024) mediante una revisión de la literatura científica mundial del compost de 173 artículos científicos publicados entre los años 2021 al 2023 descubrieron que son muchas las materias orgánicas biodegradables que pueden contribuir a la producción del compost. La recolección, el tratamiento y la recuperación de estos residuos mediante la compostaría es de importancia esencial para la jardinería y la agricultura. Esta es la fuente de fertilizantes más importante en el planeta para hacer economía circular con los fertilizantes.

Xiaoxia et al. (2023) habiendo revisado 59 artículos científicos indican que hay varias tendencias mundiales de compostaje e indican que estas se adaptan a las características de cada lugar, al clima, al tipo de material orgánico, a la humedad ambiental, a los propósitos de uso del compost y a la tecnología que se tiene para el tratamiento. El modelo de camas y literas es el más común y rentable, pero también hay otros con eficacia madurativa variable. Estos autores coinciden en indicar que el punto de quiebre en todos los casos está en el adecuado diseño de la planta.

Por su parte, Coronel-Sarmiento & Ramón-Poma (2022) en Río Blanco-Ecuador descubrieron que el reusado de desechos orgánicos permite minimizar los efectos negativos de la contaminación. La técnica de la trituración es bastante eficaz para el apresuramiento en la producción de compost y su inmediata disposición para el cultivo.

Larrea et al. (2025) mediante una revisión de 66 artículos científicos indica que para el compostaje de grandes proporciones es innegable el uso de la tecnología como la volteadora, la picadora y otros porque esto apresura la putrefacción y maduración del compost, hay que tener en cuenta que el tiempo es esencial para la rentabilidad del trabajo. Similares hallazgos tuvieron Cruz et al. (2023) y Dominguez (2023) e indican que la planta de compostaje se puede realizar en espacios pequeños y grandes, con las técnicas de camas, pilas, cajones o en recipientes amplios.

Gracias a estos aportes, se percibe que la presente propuesta de compostaje está bien direccionado dentro de esa amplia gama de espacios, modalidades y técnicas que hacen eficaz la producción de compost.

Para el tercer objetivo específico se propuso hacer uso de la metodología cuantitativa que es la Matriz Conesa con el fin de recoger información de fuente primaria con la percepción de expertos profesionales sobre los diversos aspectos del impacto ambiental

tanto en la fase de construcción, funcionamiento y cierre. Un elemento sensible es el cuidado de la salud del personal que labora en la planta, para esto se exige el uso permanente uso de los EPPs y el monitoreo. También hay que tener en cuenta la necesidad de preservar el entorno saludable para las personas del lugar, por eso, se ha diseñado una planta techada y con cubierta de lona. Asimismo, se propone un plan de identificación de factores ambientales para la detección de cualquier factor perjudicial.

En tanto, Álvarez-Alonso et al. (2024) inciden en señalar el impacto ambiental positivo del compostaje e incentivan su práctica en los gobiernos locales, asociaciones y en el ámbito doméstico. Asimismo, Castro (2023) en Brasil realizó una investigación experimental de producción de compost en un periodo de 4 meses. A partir de esta experiencia indicaron que el impacto negativo al medio ambiente es mínimo, el cual, se puede controlar totalmente mediante el uso de cobertores para las camas de compost y mediante los equipos de protección personal.

Por su parte, Tagle-Zamora et al. (2025) hizo estudios experimentales sobre la viabilidad económica y ambiental de un proyecto de compostaje y concluyó que el compostaje es viable económicamente porque genera ingresos progresivos, requiere poca inversión y genera bienestar laboral y agrícola. Asimismo, a nivel ambiental favorece la mitigación de la contaminación ambiental. Por tanto, sí tiene un impacto ambiental, pero esto es positivo. Gómez (2023) indica que toda persona, familia, institución o gobierno tiene mucho que aportar al compostaje en la ciudad ya que es beneficiosa para contrarrestar el doloroso panorama de contaminación que se está dando en las ciudades. Confirma que el impacto ambiental de la planta de compostaje es positivo.

Estos hallazgos permiten comprender que el diseño de la planta de compostaje tiene un impacto mínimo y totalmente controlable, además es económicamente viable, tiene un

retorno, no sólo en la obtención de abono natural de alta calidad para la jardinería distrital, sino que también se puede comercializar porque la producción será creciente.

En atención al cuarto objetivo específico se demostró que la planta posee sostenibilidad económica, social y ambiental. A nivel económico permite la generación de compost para las labores de conservación, reforestación y embellecimiento de calles, plazas y jardines del distrito, de esta manera ya no se tendrá que comprar compost de las municipalidades vecinas, se tendrá disponible para abonar directamente los jardines del distrito como también para el mantenimiento del vivero municipal. Si bien el proyecto se propone atender el vivero y los jardines municipales, hay potencial para comercializar compost para las actividades hortícolas y agrícolas de la población.

A nivel de sostenibilidad social ofrece trabajo a los pobladores del lugar, favorece la salud y la buena educación en el tratamiento de los residuos orgánicos tanto en las asociaciones civiles, en las familias como en las instituciones educativas. La creación de mayores espacios de sana dispersión, aire puro y fresco favorece la buena salud.

La planta de compostaje es una alternativa totalmente sostenible porque se evitará la producción de óxidos de carbono y metano que provocan efecto invernadero para reducir este mal a su mínima expresión mediante el procedimiento de compostaje oxigenado, por otra parte, se evitará la quema de residuos y la contaminación ambiental en el botadero de la ciudad. Asimismo, el fertilizante natural permitirá el avance del área verde en el distrito mediante la restauración de suelos baldíos y estériles.

Gouveia y Freitas (2024) resaltan la sostenibilidad social del compostaje haciendo notar su papel esencial en cuanto a la educación ambiental que contribuye a la mejora del comportamiento humano frente a la naturaleza, al tratamiento adecuado de los residuos y la utilidad económica y alimentaria del compost.

En cuanto al impacto social, Dávila et al. (2024) indican que los programas de sensibilización social son esenciales porque es importante trabajar en la fuente de generación de residuos para frenar el incremento progresivo en la producción de residuos, para favorecer la segregación en la misma fuente, es decir, en las familias, de manera que el tratamiento de los residuos orgánicos sea más eficaz.

La sostenibilidad del tratamiento de compostaría se hizo evidente con la investigación de Manea et al. (2024) quien mediante una revisión de 173 artículos científicos probó que el compostaje tiene una ventaja incomparable para la sostenibilidad social. En el compostaje, los residuos orgánicos no son un problema sino una alternativa laboral y una fuente de crecimiento económico.

En Brasil, Rodríguez y Alves (2024) descubrieron que las principales barreras son las legislativas y la falta de toma de conciencia de parte de la población para ingresar en la economía circular y de reutilización de los residuos orgánicos. Indican que la promoción de la sostenibilidad social implica un presupuesto económico y la capacitación diversificada de la población.

Finalmente, Policastro y Cesaro (2023) descubrieron que la investigación científica en su versión experimental y no experimental cumplen el papel esencial para la mejora de la calidad del compostaje, esto lo realizó mediante la revisión de 68 artículos científicos. Consideran que la investigación es la principal fuente de innovación en el proceso de compostaje ya que atiende no sólo la producción y utilización, sino también los efectos colaterales que este proyecto pueda tener en la sociedad.

Todos los hallazgos y comparaciones que se hizo en la discusión permiten descubrir un hilo conductor: la planta de compostaje de residuos orgánicos es una excelente alternativa frente a la problemática ambiental que se vive actualmente en el Distrito de Yarabamba,

sin embargo, esta debe aplicarse de manera metódica, cumpliendo todos los criterios de diseño y de implementación de la planta, ofreciendo capacitación a la población generadora de residuos orgánicos y monitoreando la segregación de residuos en la fuente. Ninguna investigación contradice a esta propuesta, pero sí hay aportes que enriquecen el diseño de planta de compostaje ofrecido en esta investigación porque presenta beneficios sociales, económicos y ambientales



CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones.

PRIMERA:

Se realizó la evaluación de los residuos orgánicos del Distrito de Yarabamba que fueron caracterizados en dos estudios complementarios realizados por la misma municipalidad y reporte por SIGERSOL. Se determinó que sí hay ordenanza municipal que regula el manejo de residuos sólidos, pero no hay un plan de manejo de residuos sólidos; se cuenta con una actividad de compostaje provisional y de muy poca capacidad, el cual, en su mayor parte sí cumple con los componentes químicos exigidos por la norma con el reto de buscar un mejor equilibrio de carbono-nitrógeno. Los residuos orgánicos se recogen solo una vez por semana, de manera segregada de familias, restaurantes, establecimientos comerciales e instituciones, los cuales conforman el 62.00% del total de los residuos sólidos municipales. Los residuos orgánicos excedentes se arrojan en el botadero de la ciudad.

SEGUNDA:

Se ha diseñado una planta de compostaje de 1222.56 m² considerando los criterios básicos dados por el DS N° 014-2017 y el volumen de residuos orgánicos producidos en el distrito. Esta planta consta de áreas de pesaje, recepción de materia orgánica, camas de materia orgánica, área de tamizado, almacén, oficinas administrativas y parqueadero, está provista de piso de concreto armado, camas de compostaje, techo, implementos tecnológicos y monitoreo permanente que en total implican una inversión de s/ 257 600.00. Las fases del compostaje son: recolección de material orgánico, transporte, depositado, selección, picado o triturado, organización del material en literas, riego,

monitoreo de la temperatura y la humedad, volteado, control de efluentes, control de la maduración, tamizado, empaquetado y almacenamiento para su uso.

TERCERA:

El impacto ambiental de la planta de compostaje se determinó con la metodología de la Matriz Conesa, se identificó las acciones propias del proyecto como diseño, construcción, acabados, implementación, funcionamiento y cierre. No hay impactos notables en ninguna de las fases contra el ser humano, la flora o la fauna; por criterios preventivos se exige el uso obligatorio de los EPPs y oportuna recolección de los lixiviados, para el control de los olores hacia el entorno y para evitar la proliferación de vectores.

CUARTA:

Los procedimientos de la gestión sostenible se elaboraron en los aspectos económico, social y ambiental. A nivel económico, el tratamiento municipal del 62% de los residuos orgánicos implica ahorro en tiempo, combustible y desgaste de vehículos. El abono orgánico producido mediante la planta de compostaje favorecerá el excelente cuidado del vivero y la jardinería municipal, esto generará un retorno de la inversión. A nivel de sostenibilidad social, este proyecto generará fuentes de trabajo para los pobladores del distrito, ayudará a la ciudadanía a ingresar en la nueva cultura de reutilización ordenada de los residuos. A nivel de sostenibilidad ambiental permitirá recolectar los residuos orgánicos que, al ser adecuadamente tratados, servirán para la jardinería municipal y para la restauración de suelos baldíos y estériles, de esta manera se evitará que sean arrojados y quemados generando óxidos de carbono y metano que provocan efecto invernadero.

5.2. Recomendaciones.

A partir de los hallazgos obtenidos en la presente investigación, se recomienda lo siguiente:

-Se sugiere capacitar en la entrega segregada de residuos a los pobladores del distrito de Yarabamba, implementar un programa práctico para enseñar en las instituciones educativas y en las asociaciones civiles resaltando la importancia del reciclaje y segregación de los residuos sólidos orgánicos para facilitar su tratamiento y reutilización debido a que está probado que los residuos orgánicos son una excelente fuente de producción de fertilizante orgánico, además son residuos que no se deben desechar ni quemar.

-Se recomienda a toda la población del distrito de Yarabamba, unirse al proyecto de compostaje para trabajar de la mano de la municipalidad logrando avances significativos y así realizar el adecuado tratamiento, beneficiando a la sociedad con este producto tan útil para la agricultura y la jardinería del distrito.

REFERENCIAS

- Adelman, S. (2018). El desarrollo sostenible: discusiones sobre su definición y debates críticos. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 28 (2), 123-145.
- Agroforestales C. A. (2024). *Fases del compostaje*. Obtenido de <https://acortar.link/XF1tNk>
- Álvarez-Alonso, C., Pérez-Murcia, M. D., Sánchez-Méndez, S., Martínez-Sabater, E., Irigoyen, I., López, M., . . . Bustamante, M. A. (2024). Municipal solid waste management in a decentralized composting scenario: assessment of the process reproducibility and quality of the obtained composts. *Agronomy*, 14 (54), <https://doi.org/10.3390/agronomy14010054>.
- Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management & Research*, 26 (1), 47-60.
- Analitical Laboratory E.I.R.L. (2025). Caracterización del fertilizante orgánico - compost. Arequipa: ALAB.
- Arellano, E., Colan, N., Velásquez, M., Rosario, E. A., Medina, A. R., Albarran, R., & Sánchez, J. I. (2023). *Compost obtained from organic waste in the city of Lima, 2022*. Buenos Aires: Universidad Estatal de Buenos Aires.
- Ayuntamiento de Ozuna. (2022). *Reducir los residuos y favorecer su reciclaje*. Madrid: www.ayuntamiento.ozuna/proyectos.medio.ambiente/compostaje.
- Banco Mundial. (2018). *Los desechos: un análisis actualizado*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Bartra, J., & Delgado, J. M. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos y su impacto medioambiental. *Ciencia Latina*, 4 (2), https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.135.
- BBVA. (2025). *¿Qué es la sostenibilidad? Un camino urgente y sin marcha atrás*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-sostenibilidad-un-camino-urgente-y-sin-marcha-atras/>
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment a review. *Bioresource Technology*, 100 (22), 5444-5453.

- Blanco, M. W. (2023). El vermicompostaje, una alternativa para potenciar la agricultura urbana. *Rev. de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10 (1), 97-108.
- Brady, N. & Weil, R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson.
- Castro, A. M. (2023). Compostagem: produção de composto, a partir dos resíduos orgânicos gerados no Instituto Federal do Amazonas - IFAM- campus Manaus Distrito Industrial. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 15 (11), 14728-14754.
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. 4ta edición. México: Editorial Mundi Prensa Libros.
- Congreso de la República del Perú (2000). *Ley N° 27314 .- Ley General de Residuos Sólidos*.
- Congreso de la República del Perú (2017). MINAM. Obtenido De Minam. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.Pdf>
- Congreso de la República del Perú. (1993). *Constitución Política del Perú*. Lima: El Peruano.
- Congreso de la República del Perú. (2000). *Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos*. Lima: El Peruano.
- Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley n° 28611, ley general del ambiente*. Lima: El Peruano.
- Congreso de la República del Perú. (2017). *Ley n° 27314, ley general de residuos sólidos*. Lima: El Peruano.
- Coronel-Sarmiento, A. F., & Ramón-Poma, G. M. (2022). Planta de compostaje y reciclaje para la gestión de residuos sólidos en Río Blanco, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8 (1), 222-247.
- Cruz, L. E., García, H. D., Mendoza, J. C., & Armas, R. A. (2023). Estudio de prefactibilidad para el diseño de una planta de compostaje en Perú. *Alfa*, 7 (19), 21-36.
- Cumpa (2021). *Propuesta De Diseño De Una Planta De Compostaje Para Disminuir El Impacto Ambiental En El Distrito De Chiclayo*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/3753/1/Tl_Cumpamontezajua_nfrancisco.Pdf

- Daily, G. C. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island: Island Press.
- Dávila, D. J., Huangal, N. E., Gamarra, H. A., Anaya, R. A., & Salazar, W. A. (2024). Gestión de residuos sólidos y sostenibilidad ambiental en Lambayeque. *Florida Journal of Development, Miami*, 5 (6), 01-16.
- DH Perú. (2023). *Tarflex*. Obtenido de <https://dhperu.com.pe/product/lona-tarflex-por-rollo/>
- Diacono, M. & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 401–422.
- Díaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L., & Goleuke, C. G. (2007). *Composting and recycling municipal solid waste*. London: CRC Press.
- Díaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L., & Golueke, C. G. (2011). *Composting and recycling municipal solid waste*. Washinton: CRC Press.
- Dominguez, C. Y. (2023). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales para la obtención de humus en el Distrito de Reque*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Dourojeanni, A. (2000). El desarrollo sostenible: perspectivas y enfoques en una nueva era. *Revista de Medio Ambiente y Desarrollo*, 5 (2), 15-30.
- Dream Stime. (2025). *Residuos de jardín*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fes.dreamstime.com%2Fresiduos>
- Dresner, S. (2008). *The principles of sustainability*. London: Earthscan.
- Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business Strategy and the Enviroment*, 11 (2), 130-141.
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. London: Capstone Publishing.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition*. Obtenido de <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- Epsel, «Ciclo Operacional Del Agua,» Epsel S. A., [En Línea]. Available: <Http://Www.Epsel.Com.Pe/Presentacion/Wfrmservicioap.AspX>. [Último Acceso: 1 Octubre 2020].
- ESGinnova Group. (2023). *Ventajas y beneficios de obtener la certificación ISO 14001*. Obtenido de <https://www.nueva-iso-14001.com/2023/05/ventajas-y-beneficios->

de-obtener-la-certificacion-iso-14001-para-una-
empresa/#:~:text=La%20certificaci%C3%B3n%20ISO%2014001%20ayuda,de
%20sus%20productos%20y%20servicios.

Fajardo, D. A., & Sosa, C. A. (2021). *Generalidades e importancia de la tecnica de compostaje y lombricompost en la utilización de residuos orgánicos*. Universidad de Pamplona: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/8522/1/Fajardo_%20Sosa_2021_TG.pdf.

FAO. (2018). *Gestión de residuos orgánicos mediante compostaje*. Madrid: FAO.

FAO. (2021). *Manual sobre el uso del compost en agricultura sostenible*. Roma: FAO.

Farfán, R. A. (2010). *Propuesta de gestión y manejo de residuos sólidos domiciliarios de la localidad de Inio*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112385/Memoria%20de%20T%c3%adtulo%20Rosa%20Farf%c3%a1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Fernández, E. M. (2024). *¿Quién inventó el compost?* Obtenido de <https://www.muyinteresante.com/curiosidades/8455.html>

Galvis, J. A. (2016). *Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución*. Obtenido de <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/gestionregion/article/view/149/146>

Gómez, D. E. (2023). *Diseño de investigación de una propuesta para una planta de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos en el Centro Universitario de Petén*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/19529/1/Daniel%20Enrique%20Gomez%20Donis.pdf>.

Gonzáles, R. (2020). *Matriz energética mundial y el cambio climático: estado actual*. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Gonzáles-Torre, P. L., & Adenso-Díaz, B. (2021). Gestión sostenible de residuos: fundamentos y estrategias. *Revista de Gestión Ambiental y Sustentabilidad*, 10 (1), 45-58.

Gouveia, C. V., & Freitas, L. (2024). O uso da compostagem na educação ambiental: uma alternativa para redução do descarte de resíduos orgânicos. *Rev. Cient. da Educacao e Meio Ambiente Arquimes*, 14 (2), 539-557.

Grupo Propuesta Ciudadana. (2023). *El canon es nuestro, cuidemos que se invierta bien*. Arequipa: GPC.

- Gujer Innotec. (2023). *Volteadora de compost autopropulsado 2100 SGF 2100 B & F*.
Obtenido de <https://www.gujerinnotec.com/es/maschinen/sgf-201-el.html>
- Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Washington: Lewis Publishers.
- Haug, R. T. (2018). *The practical handbook of compost engineering*. Boca Raton, CRC Press.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: rutas cualitativa, cuantitativa y mixta. 7ma edición*. México: McGraw-Hill Education.
- INEI. (2017). *Censo Nacional*. Lima: INEI.
- IPCC. (2006). *Guidelines for National greenhouse gas inventories*. Boston:
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- Jiménez, M. N., & López, J. C. (2015). Comparación de los métodos de compostaje: abierto y cerrado en el tratamiento de residuos orgánicos. *Revista Ingeniería Ambiental*, 13 (1), 45-52.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127 (1), 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Larrea, C., Ilizarbe, Y., Mallqui, E., Callirgos, D., & Alvarado, D. (2025). Evaluación de métodos de compostaje para la transformación de desechos orgánicos en nutrientes. Revisión sistemática. *Rev. de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 4 (1), 74-89. <https://doi.org/10.57107/hyw.v4i1.87>.
- MAGRAMA. (2020). *Guía técnica para el compostaje de residuos biodegradables*. Madrid: MAGRAMA.
- Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: current practices and potential improvements. *Sustainability*, 16 (1), 6329. <https://doi.org/10.3390/su16156329>.
- MaqOrito. (2023). *Balanza industrial*. Obtenido de
<https://www.maqorito.com/pesaje/481-balanza-industrial-de-100-kg.html>
- Meadows, D., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The limits to growth*. London: Universe Books.
- MIDAGRI. (2024). *Ministerio de desarrollo agrario y riego*. Obtenido de
<https://www.datosabiertos.gob.pe/group/ministerio-de-desarrollo-agrario-y-riego->

- midagri#:~:text=Ministerio%20de%20Desarrollo%20Agrario%20y,Plataforma
%20Nacional%20de%20Datos%20Abiertos
- MINAM. (2009). *Norma técnica para la elaboración de programas de adecuación y manejo ambiental*. Lima: Ministerio del ambiente.
- MINAM. (2009). *Plan / Estrategia: Política Nacional del Ambiente*. Lima: MINAM.
- MINAM. (2011). *Guía metodológica para la elaboración de los planes de manejo ambiental*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2011). *Guía metodológica para la elaboración de los planes de manejo ambiental*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2016). *Plan nacional de gestión integral de residuos 2016-2024*. Lima: MINAM.
- MINAM. (2017). *D. S. N° 014-2017-MINAM, Reglamento del DL n° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Lima: El Peruano.
- MINAM. (2017). *Nueva ley y reglamento de residuos sólidos*.
- MINAM. (2019). *Resolución ministerial, N° 457-2018-MINAM*.
- MINAM. (2019). *RM N° 242-2019-MINAM*. Lima: El Peruano.
- MINAM. (2020). *Lineamientos para la elaboración de instrumentos de gestión ambiental en el Perú*. Lima: MINAM.
- MINAM. (2021). *Guía técnica para la gestión de residuos orgánicos a nivel municipal mediante compostaje*. Lima: MINAM.
- MINAM. (2021). *Política nacional del ambiente al 2030*. El Peruano.
- MINAM. (2024). *Dirección General de Calidad Ambiental*. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2013). *Plan / Estrategia: Política Nacional Del Ambiente*. Lima: Minam. <https://Www.Minam.Gob.Pe/Wp-Content/Uploads/2013/08/Pol%C3%Adtica-Nacional-Del-Ambiente.Pdf>
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2017). *Nueva Ley Y Reglamento De Residuos Sólidos*. <https://Www.Minam.Gob.Pe/Gestion-De-Residuos-Solidos/Nueva-Ley-De-Residuos-Solidos/>
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2019). *Resolución Ministerial, N° 457-2018-Minam*. <https://Www.Gob.Pe/Institucion/Minam/Normas-Legales/237043-457-2018-Minam>
- Ministerio Del Ambiente Del Perú (2024). *Plan Nacional De Gestión Integral De*

- Residuos Sólidos 2016-2024 [https://Sinia.Minam.Gob.Pe/Documentos/Plan-Nacional-Gestion-Integral-Residuos- Solidos-2016-2024](https://Sinia.Minam.Gob.Pe/Documentos/Plan-Nacional-Gestion-Integral-Residuos-Solidos-2016-2024)
- Ministerio del Ambiente -MINAM (2020). Infraestructuras De Disposición Final De Residuos Sólidos. Lima: MINAM.
<https://Www.Minam.Gob.Pe/Consultaspublicas/Wp-Content/Uploads/Sites/52/2019/01/459-2018-Rm-Guia-Disposicion-Final.Pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2023). Sistema de información para la gestión de residuos sólidos. MINAM.
- Ministerio del Ambiente. (2024). Sistema de información para la gestión residuos sólidos de la Municipalidad de Yarabamba. Arequipa: MINAM.
- Ministerio del Ambiente-MINAM. (2021). Política Nacional Del Ambiente Al 2030. <https://Cdn.Www.Gob.Pe/Uploads/Document/File/2037168/D.S.%20023-2021-Minam.Pdf.Pdf?V=1627230844>
- Montoya, J. O. (2020). Diseño de una planta de valorización para residuos sólidos urbanos en el distrito de Awajún-Rioja-San Martín, 2020. <https://Tesis.Usat.Edu.Pe/Handle/20.500.12423/4880>
- Morales, J., & Estévez, D. (2022). Diseño de plantas de compostaje con enfoque ambiental. *Ingeniería y Medio Ambiente*, 14 (3), 67-78.
- Municipalidad de Yarabamba. (2020). Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Yarabamba. Arequipa: Gerencia de Medio Ambiente.
- Municipalidad de Yarabamba. (2024). Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Yarabamba. Arequipa: Gerencia de Medio Ambiente.
- Naciones Unidas (2019). Noticias ONU. Available: <https://News.Un.Org/Es/Story/2019/10/1463472>.
- NTP, 2. N. (26 de Julio de 2021). FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos. 1ª Edición. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos. 1ª Edición, 1. INACAL.
<https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- OEFA. (2023). *Guía de evaluación ambiental para instalaciones de tratamiento de residuos orgánicos*. Lima: OEFA.
- ONU. (2015). *17 objetivos para transformar nuestro mundo*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Nueva York: ONU. <https://sdgs.un.org/es/2030agenda>.
- Ortega, Y. N., & Torres, S. W. (2016). *Diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos para poblaciones pequeñas*. Huancayo. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-continental/direccion-de-proyectos/ortega-landeo-torres-romero/36895016>: Universidad Nacional del Centro.
- Oviedo-Ruiz, C. H., Castro-Hernández, E. Y., & Espitia-Zambrano, P. E. (2021). *Basura ¿alimento para la tierra? Elaboración de un sustrato a partir del aprovechamiento ecológico integral de residuos sólidos orgánicos crudos*. En: Ossa, C.; Correa, M. A.; Victorino, L., *Gestión integral de residuos orgánicos hacia la sostenibilidad*. Bogotá: Universidad de Antioquia.
- Pavez, R. A. (2010). *Propuesta De Gestión Y Manejo De Los Residuos Sólidos Domiciliarios De La Localidad De Inio, Comuna De Quellón*.
- Pereira. (2016). *Residuos Sólidos: Problema, Conceptos Básicos Y Algunas Estrategias De Solución*. Colombia. <https://Revistas.Ucp.Edu.Co/Index.Php/Gestionregion/Article/View/149>
- Policastro, G., & Cesaro, A. (2023). Composting of Organic SolidWaste of Municipal Origin: The Role of Research in Enhancing Its Sustainability. *Public Health*, 20 (1), 312.
- Presidencia de la República del Perú. (2004). *DS n° 057-2004-PCM*. Lima: El Peruano.
- Presidencia de la República del Perú. (2017). *DL N° 1278, Ley de gestión integral de residuos sólidos*. Lima: El Peruano.
- Presidencia de la República del Perú. (2023). *Ley que modifica el DL n° 1278 y aprueba la gestión de residuos sólidos y la industrialización del reciclaje*. Lima: El Peruano. <https://Busquedas.Elperuano.Pe/Dispositivo/NI/2223882-1>.
- Rabaud. (2023). *Máquinas trituradoras y hastilladoras*. Obtenido de <https://www.rabaud.com/es/materiels/gamme/broyeurs-de-branches-40565>
- RAE. (2014). *Diccionario de la lengua española*. Madrid: Espasa.
- Ríos-Velásquez, E. A., & Florida-Rofner, N. (2023). Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la Provincia Leoncio Prado, Perú. *Actualidad y divulgación científica*, 26 (1), <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2371>.

- Rodriguez, V., & Alves, F. (2024). Opportunities and barriers to composting in a municipal context: a case study in São José dos Campos, Brazil. *Sustainability*, 16 (1), 3359. <https://doi.org/10.3390/su16083359>.
- Sen, A. (1999). *Development as freedom*. Oxford: Oxford University Press.
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531 (7595), 435-438. <https://doi.org/10.1038/531435a>.
- Sundberg, C., & Jönson, H. (2008). Higher pH and faster decomposition in biowaste composting by increased aeration. *Waste Management*, 28 (3), 518-526.
- Tagle-Zamora, D., Álvarez-Castañón, L. C., & Fuente-Carrasco, M. (2025). Compostaje descentralizado de residuos orgánicos en viviendas urbanas: Análisis de viabilidad ambiental y financiera para León-Guanajato. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*, 41 (1), 51-64. <https://doi.org/10.20937/RICA.55133>.
- Ubillús-Farfán, S. W., Valiente-Saldaña, Y. M., & Patiño-Ramírez, S. (2024). Estrategias aplicadas en la gestión de residuos sólidos en Latinoamérica: revisión literaria. *Revista Arbitrada Interdisciplinar Koinonía*, 9 (9), <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3157>.
- US Composting Council. (2018). The Benefits of Compost. United States Composting Council.
- Vásquez, M. A., Soto, M., & Fernández, M. (2019). Caracterización de residuos orgánicos para compostaje: criterios y metodologías. *Revista Compostaje Sostenible*, 8 (2), 29-40.
- WCED. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.
- Xiaoxia, P. N., Yuanhang, Z., Scott, A., & McGrath, J. W. (2023). Municipal solid waste compost: global trends and biogeochemical cycling. *Soil & Environmental Health*, 1 (4), <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100038>.

ANEXOS

Anexo 1: Solicitud y respuesta de documento de caracterización de los residuos orgánicos

ESTADAL DE YARABAMBA
REGION DE PARTES
RECIBIDO

FORMULARIO UNICO DE TRAMITE - FUT **23 ABR. 2025**
(DISTRIBUCION GRATUITA)
Formulario F-1

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YARABAMBA

I. RESUMEN DE SU PEDIDO:
Se solicita se me pueda brindar la información referente a residuos sólidos (estudio de caracterización de residuos sólidos del año 2020 a 2024) y toneladas generados por mes de residuos orgánicos, residuos en general que van a quebrada Honda, vía camión físico

II. DEPENDENCIA O AUTORIDAD A QUIEN SE DIRIGE:
Sr. Jose Luis Luna Zapana

II. DATOS DEL SOLICITANTE

Persona Natural o Representante Legal:

NOMBRES Y APELLIDOS: Maxicarmen Novarrete Valdivia

Persona Juridica:

RAZON SOCIAL: 72217449

Tipo y numero de Documento:

DNI: 72217449 RUC: 10722174491 Otro (especificar)

IV. DIRECCION O DOMICILIO REAL: (AV./CALLE/JIRON/PSJE./DPTO./MZ./LOTE/URB.)

DEPARTAMENTO: Arequipa PROVINCIA: Arequipa DISTRITO: Paucarpata

N° Telefono o Celular: 983853734 Autorizo se notifique al siguiente Correo Electronico: maxw.560@gmail.com

V. FUNDAMENTACION DEL PEDIDO:
Se solicita dicha información a fin de que me encuentre en el proceso de elaboración de titulación el cual consiste en el "Diseño y Gestion Sostenible de tratamiento de residuos orgánicos diseñando una planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba Arequipa 2025", necesitando dicha información para la elaboración de dicho estudio el cual beneficiara a la municipalidad y su población.
Correo: maxw.560@gmail.com

VI. DOCUMENTOS O REQUISITOS QUE SE ADJUNTA: (Especificar)

1)
2)
3)
4)
5)

VII. DATOS DEL COMPROBANTE DE PAGO POR DERECHO DE TRAMITE EFECTUADO EN CAJA DE LA MUNICIPALIDAD:

Numero de recibo: Monto en soles S/. Fecha de emision del recibo:

DECLARO que los datos consignados en el presente, los realizo con carácter de DECLARACION JURADA de conformidad con el Art. 33°, Num.3 del TUO de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General.

Arequipa, 23 De Abril de 2025

Municipalidad Distrital y Villa de Yarabamba

REFERENCIA MUNICIPAL RECIBIDO

24 ABR 2025

PROVEIDO N° 917 20 25 ALCALDIA MDVY

FECHA 23-04-2025

A Gerencia Municipal

ASUNTO Comunalidad

LA RECEPCION DEL PRESENTE DOCUMENTO NO SIGNIFICA LA CONFORMIDAD DEL SOLICITANTE CON SU CONTENIDO

N° de Rec 1258

FECHA 24-04-2025

Firma del solicitante o Representante Legal



MUNICIPALIDAD DISTRICTAL DE YARABAMBA
GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE Y SERVICIOS PÚBLICOS

"AÑO DE LA RECUPERACION Y CONSOLIDACION DE LA ECONOMIA PERUANA "



Yarabamba, 16 de junio de 2025.

CARTA GERENCIAL N° 155-2025-GMAySP-MDY

Srta:
Maricarmen Navarrete Valdivia
Bachiller de Ingeniería Ambiental

Asunto : En respuesta de Carta N° 0104-2025-JAHQ-RP
Referencia : Carta N° 0104-2025-JAHQ-RP

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted para expresarle un cordial saludo y, al mismo tiempo, dar respuesta a su solicitud presentada con fecha 23 de abril del presente año, mediante la cual solicita acceso a información relacionada con los residuos sólidos gestionados por esta municipalidad, en el marco de su investigación titulada: "Diseño y Gestión Sostenible de tratamiento de residuos orgánicos diseñando una planta de Compostaje en el Distrito de Yarabamba Arequipa 2025".

Al respecto, me complace informarle que se autoriza el acceso a la siguiente información:



- El Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM) correspondiente al periodo 2020-2024.
- El último EC-RSM aprobado mediante Resolución de Alcaldía N.º 039-2025-MDY, de fecha 30 de abril de 2025.
- El registro mensual del año 2024 sobre la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el botadero controlado de Quebrada Honda.
- Registro mensual de la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el botadero controlado de Quebrada Honda, correspondiente al periodo de enero a mayo de 2025.
- Reportes anuales del SIGERSOL correspondientes a los años 2023 y 2024.
- Fichas de verificación y Fichas de operatividad y capacidad del proceso de valorización de residuos sólidos orgánicos municipales de Yarabamba 2024.
- Ficha de verificación y Ficha de operatividad y capacidad del proceso de valorización de residuos sólidos orgánicos municipales de Yarabamba 2025.
- Bosquejo de la Ruta de recolección de los contenedores.

Su plan de tesis es considerado de gran relevancia, ya que la propuesta que presenta resulta interesante para la Gerencia de Medio Ambiente y Servicios Públicos, al contribuir con posibles mejoras en el distrito desde un enfoque sostenible. Por tal motivo, se le brindarán todas las facilidades necesarias, así como el acceso a la información pertinente para el desarrollo de su investigación, la cual deberá ser utilizada con la debida confidencialidad.

Toda esta información se encuentra en poder de esta Gerencia y podrá ser utilizada exclusivamente con fines académicos, conforme a los objetivos de su tesis. Cabe resaltar que el uso de la información deberá respetar estrictamente criterios éticos, de confidencialidad y responsabilidad, en concordancia con los principios de transparencia y buenas prácticas institucionales. Asimismo, la información será remitida en formato digital al correo electrónico consignado en su solicitud.

Sin otro particular, le reitero nuestros mejores deseos en el desarrollo de su investigación y quedo a su disposición para cualquier consulta adicional.

Atentamente,


MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YARABAMBA

Ing. Jonathan Durand Vilca
GERENTE DE MEDIO AMBIENTE Y SERVICIO PÚBLICO

Adjunto:

-Documentación solicitada con 397 folios

Anexo 2: Matriz de consistencia

Título: Gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos diseñando una planta de compostaje en el Distrito de Yarabamba – Arequipa 2025.

<i>Problemas</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Hipótesis</i>	<i>Variables y dimensiones</i>	<i>Metodología</i>
Problema principal: ¿Es posible diseñar una planta de compostaje para la gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos en el Distrito de Yarabamba – Arequipa 2025?	Objetivo general: "Diseñar la infraestructura técnica y operativa de una planta de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos en el distrito de Yarabamba – Arequipa 2025, integrando el modelado digital y la planificación para su gestión sostenible." Objetivos específicos: 1.- Evaluar la caracterización de los residuos orgánicos generados en el distrito de Yarabamba 2020-2024. 2.- Diseñar la planta de compostaje utilizando la plataforma de modelado 3D en un software informático. 3.- Determinar los impactos ambientales del proyecto de compostaje 4.- Elaborar los procedimientos para una adecuada Gestión Sostenible.	Hipótesis general: Ha: Sí es posible diseñar una planta de compostaje para la gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos en el Distrito de Yarabamba - Arequipa 2025. Ho: No es posible diseñar una planta de compostaje para la gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos en el Distrito de Yarabamba - Arequipa 2025.	Variable independiente: Diseño de planta de compostaje. Dimensiones: -Recolección de residuos orgánicos. -Selección de residuos orgánicos. -Caracterización de los residuos orgánicos. -Características estructurales de la planta de compostaje. -Monitoreo del proceso de descomposición de los residuos orgánicos. -Comercialización y uso del compost. Variable dependiente: Gestión sostenible de tratamiento de residuos orgánicos. -Sostenibilidad económica -Sostenibilidad social - Sostenibilidad ambiental	Enfoque: cuantitativo. Tipo: aplicativo. Nivel: Descriptivo propositivo. Diseño: no experimental. Técnica: análisis documental. Instrumento: Guía de análisis documental. Contexto: Gerencia de medio ambiente y servicios públicos.

Nota: Elaboración propia

Anexo 3: Evidencias fotográficas del compostaje que se realiza en el Distrito de Yarabamba.





