

NOMBRE DEL TRABAJO

**TÉCNICAS DE COMPOSTAJE Y BIODIGESTIÓN EN LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL DISTRITO DE SURQUIL**

AUTOR

**QUINTANA DAYANNA REYNA FRANCIS**

RECUENTO DE PALABRAS

**17145 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**95473 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**89 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Apr 29, 2024 3:12 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Apr 29, 2024 3:14 PM GMT-5**

### ● 15% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



## FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS

(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.untels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

### TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- 1). TESIS (X )      2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ( )

### DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres:	Reynu Flores Francis Emerita
D.N.I.:	72731263
Otro Documento:	-
Nacionalidad:	Peruana
Teléfono:	927387639
e-mail:	2016100251@untels.edu.pe

### DATOS ACADÉMICOS

#### Pregrado

Facultad:	Facultad de Ingeniería y Gestión
Programa Académico:	TESIS
Título Profesional otorgado:	Ingeniero Ambiental

#### Postgrado

Universidad de Procedencia:	
País:	
Grado Académico otorgado:	

### Datos de trabajo de investigación

Título:	"Técnicas de compostaje y biodigestión en la reducción de Huella de carbono en el distrito de Surquillo Lima, 2023."
Fecha de Sustentación:	4 de diciembre del 2023
Calificación:	Aprobado por unanimidad
Año de Publicación:	2024

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA**  
A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo  No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	<b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b> (Para documentos en acceso abierto)	(X)

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	<b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b> (Para documentos restringidos)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b> (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	( )
	<b>Info:eu-repo/semantics/closedAccess</b> (para documentos confidenciales)	( )

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

---

---

REYNA FLORES FRANCIS EMERITA

APELLIDOS Y NOMBRES

72731263

DNI

Francis RF

Firma y huella:



Lima, 26 de ABRIL del 2024





**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS**  
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.unfels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

**TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 1). TESIS (  )      2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL (  )

**DATOS PERSONALES**

Apellidos y Nombres:	Quirós Aldemir Dayana Jolietta
D.N.I.:	75252929
Otro Documento:	-
Nacionalidad:	Peruana
Teléfono:	944 239268
e-mail:	206100235@unfels.edu.pe

**DATOS ACADÉMICOS**

<b>Pregrado</b>	
Facultad:	Facultad de Ingeniería y Gestión
Programa Académico:	TESIS
Título Profesional otorgado:	Ingeniero Ambiental

<b>Postgrado</b>	
Universidad de Procedencia:	
País:	
Grado Académico otorgado:	

**Datos de trabajo de investigación**

Título:	"Técnicas de compostaje y biodigestión en la Reducción de Huella de carbono en el distrito de Surquillo, Lima, 2023"
Fecha de Sustentación:	4 de diciembre del 2023
Calificación:	Aprobado por unanimidad
Año de Publicación:	2024

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA**  
A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo  No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	<b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b> (Para documentos en acceso abierto)	<input checked="" type="checkbox"/>

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	<b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b> (Para documentos restringidos)	<input type="checkbox"/>
	<b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b> (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	<input type="checkbox"/>
	<b>info:eu-repo/semantics/closedAccess</b> (para documentos confidenciales)	<input type="checkbox"/>

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

---

---

Quintana Alduba Duyanna Julietta

APELLIDOS Y NOMBRES

75252429

DNI



Firma y huella:



Lima, 26 de abril del 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“TÉCNICAS DE COMPOSTAJE Y BIODIGESTIÓN EN LA REDUCCIÓN  
DE HUELLA DE CARBONO EN EL DISTRITO DE SURQUILLO, LIMA,  
2023”**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

QUINTANA ALDABA, DAYANNA JULIETTA

ORCID: 0009-0009-8810-3592

REYNA FLORES, FRANCIS EMERITA

ORCID: 0009-0002-1924-127X

**ASESOR**

MARCELINO TARMEÑO, EDGAR

ORCID: 0000-0003-0301-0629

**Villa El Salvador**

**2023**





DECANATO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En Villa El Salvador, siendo las 5:50 p.m. del día 04 de diciembre del 2023, en la Facultad de Ingeniería y Gestión, los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

PRESIDENTE: CARMEN MILAGROS RUIZ HUAMAN DNI N° 10021641 C.B.P. N° 5179  
SECRETARIO: ROBERT RICHARD RAFAEL RUTTE DNI N° 20054374 C.I.P. N° 68273  
VOCAL : LUIS ALFREDO ZUÑIGA FIESTAS DNI N° 07106594 C.I.P. N° 140131  
ASESOR : EDGAR AVELINO MARCELINO TARMEÑO DNI N° 10706424 C.I.P. N° 189149

Designados mediante Resolución de Decanato N° 353-2023-UNTELS-R-D de fecha 15 de agosto del 2023 quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación de Tesis.

Acto seguido, el (la) aspirante al: Grado de Bachiller  Título Profesional

Doña: FRANCIS EMERITA REYNA FLORES identificado(a) con D.N.I. N° 72731263 y Doña: DAYANNA JULIETTA QUINTANA ALDABA identificado(a) con D.N.I. N° 75252929, procedió a la Sustentación de:

Trabajo de investigación  Tesis  Trabajo de suficiencia  Artículo científico

Titulado: "TÉCNICAS DE COMPOSTAJE Y BIODIGESTIÓN EN LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL DISTRITO DE SURQUILLO, LIMA, 2023".

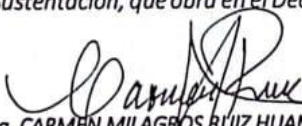
Aprobado mediante Resolución de Decanato N° 809-2023-UNTELS-R-D de fecha 23 de noviembre, de conformidad con las disposiciones del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales vigentes, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador.

Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, resultando el aspirante APROBADO por Unanimidad con la nota de: .....14.....(letras).....catorce (números), de acuerdo al Art. 65° del Reglamento General para optar el Título Profesional.

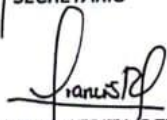
CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
14	catorce	Aprobado por Unanimidad	Bueno

Siendo las 6:30 p.m. horas del día 04 de diciembre del 2023, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación, que obra en el Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión.

  
Ph.D. ROBERT RICHARD RAFAEL RUTTE  
SECRETARIO

  
Dra. CARMEN MILAGROS RUIZ HUAMAN  
PRESIDENTE

  
Dr. LUIS ALFREDO ZUÑIGA FIESTAS  
VOCAL


  
FRANCIS EMERITA REYNA FLORES  
BACHILLER

  
DAYANNA JULIETTA QUINTANA ALDABA  
BACHILLER

LA SECRETARÍA GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR - UNTELS

CERTIFICA:

que el presente documento es copia fiel del original que se encuentra en los archivos de esta institución, a lo que me remito en caso de ser necesario.

  
María Inés Allauca

www.unfels.edu.pe

Av. Bolívar S/N, sector 3, grupo 1, mz A, sub lote 3  
Villa El Salvador - Lima - Perú  
(01) 715 8878

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada en primer término a mi Dios, quien guía mis pasos en la dirección correcta para avanzar por el buen camino. Mi padre Rolando, quien siempre me acompaña, es mi fuente de inspiración y mi soporte para continuar cumpliendo mis metas. Mi madre y hermano Kenny, por su amor incondicional que le da significado al esfuerzo de seguir superándome. A mi prima Karin, mi familia y amigos por ser mi apoyo constante en todo momento y darme ánimos para culminar esta investigación.

Dayanna Quintana.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a mi familia, mis padres Fátima y Abdías, aquellos que con su amor guían mi camino y me motivan a superarme cada día. A mis hermanos Alexis y Pedro porque representan para mí un camino para seguir, gracias a su afecto y respaldo. A mi pareja Giomar por su amor y por ser mi pilar.

Francis Reyna.

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi gratitud a Dios por la ocasión de alcanzar mis objetivos, acompañándome en todo momento. A mi padre, quien me ha enseñado el verdadero significado de la palabra amor, por siempre estar presente cada día de mi vida, por ser mi consejero y mi mejor amigo, por su esfuerzo de inculcarme la visión de un futuro mejor y brindarme una educación digna para el desarrollo de mis capacidades físicas e intelectuales. A mi prima Karin por cuidarme y comprenderme en estos años. A mi familia por acogerme e integrarme dentro de los suyos. A mis amigos, en particular a Lizbeth por su respaldo absoluto. A la Subgerencia de Limpieza Pública por brindarnos los datos y el espacio para hacer posible esta investigación. A mis compañeros de Kallpa Wasi por otorgarme los permisos necesarios. A mi mentor, el Ingeniero Marcelino y mis revisores por su apoyo continuo en la maduración de este estudio.

Dayanna Quintana.

Doy gracias a Dios por amarme y darme fortaleza para seguir adelante todos los días. A mis padres por amarme y por brindarme lo mejor de ellos. A mis hermanos por motivarme y por estar siempre conmigo. A mi novio por apoyarnos en este trabajo y por su amor. A mis padrinos de Bautizo por estar siempre presente. Doy gracias También a Lizbeth por apoyarnos con la información necesaria y por permitir desarrollar este trabajo de investigación en su centro laboral. A mi asesor el ing. Marcelino y a mis revisores por orientarme en este trabajo de investigación.

Francis Reyna.



## RESUMEN

La finalidad de este trabajo de investigación es comparar la reducción la huella de carbono generada en Surquillo para el tratamiento de residuos orgánicos empleando las técnicas de compostaje y biodigestión, en donde se empleó la plataforma HC-Perú para obtener información.

Se ejecutó en 90 días y se distribuyó en tres etapas: la etapa inicial se realizó el reconocimiento y selección del área en el parque Reducto N° 5, en la etapa media se realizó la limpieza del terreno y ejecución de los tratamientos, se supervisaron los parámetros de pH, temperatura, % de humedad y se determinó la cantidad de gas producido en el biodigestor y en la etapa final se realizó el registro de las fuentes en la calculadora HC-Perú de las técnicas.

Los resultados muestran que en el tratamiento tradicional se identificaron 3 fuentes de emisión de GEI, obteniendo 4647.18 tCO<sub>2</sub>e emitidos al ambiente; seguido de la técnica del compostaje, donde se identificó 5 fuentes de emisión de GEI, obteniendo 95.29 tCO<sub>2</sub>e emitidos al ambiente y para la técnica del biodigestor se identificó 6 fuentes de emisión de GEI, obteniendo 364.81 tCO<sub>2</sub>e, de lo cual el 336.41 tCO<sub>2</sub>e se encuentran retenidos dentro del biodigestor y 28.4 tCO<sub>2</sub>e son emitidos al ambiente.

Se concluye que el tratamiento más eficiente es la biodigestión con una reducción de emisiones de GEI a 28.4 tCO<sub>2</sub>e comparado con la huella de carbono del tratamiento tradicional de 4647.18 tCO<sub>2</sub>e.

**Palabras claves:** Huella de carbono, residuos sólidos orgánicos, gases de efecto invernadero, técnicas

## ABSTRACT

The purpose of this research work is to compare the reduction of the carbon footprint generated in Surquillo for the treatment of organic waste using composting and biodigestion techniques, where the HC-Perú platform was used to obtain information.

It was carried out in 90 days and was distributed in three stages: the initial stage was the recognition and selection of the area in the Reducto No. 5 park, in the middle stage the cleaning of the land and execution of the treatments was carried out, the parameters of pH, temperature, % humidity and the amount of gas produced in the biodigester was determined and in the final stage the sources were recorded in the HC-Perú calculator of the techniques.

The results show that in the traditional treatment, 3 GEI emission sources were identified, obtaining 4647.18 tCO<sub>2</sub>e emitted into the environment; followed by the composting technique, where 5 GEI emission sources were identified, obtaining 95.29 tCO<sub>2</sub>e emitted into the environment and for the biodigester technique, 6 GEI emission sources were identified, obtaining 364.81 tCO<sub>2</sub>e, of which 336.41 tCO<sub>2</sub>e are retained within the biodigester and 28.4 tCO<sub>2</sub>e are emitted into the environment.

It is concluded that the most efficient treatment is biodigestion with a reduction of GEI emissions to 28.4 tCO<sub>2</sub>e compared to the carbon footprint of traditional treatment of 4647.18 tCO<sub>2</sub>e.

**Keywords:** Carbon footprint, organic solid waste, greenhouse gases, techniques

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>1.1. Motivación</b> .....	2
<b>1.2. Estado del arte</b> .....	2
<b>1.3. Descripción del Problema</b> .....	3
<b>1.4. Formulación del Problema</b> .....	4
<i>1.4.1. Problema General</i> .....	4
<i>1.4.2. Problemas específicos</i> .....	4
<b>1.5. Objetivos</b> .....	5
<i>1.5.1. Objetivo general</i> .....	5
<i>1.5.2. Objetivos Específicos</i> .....	5
<b>1.6. Justificación</b> .....	5
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	7
<i>2.1.1. Antecedentes Internacionales</i> .....	7
<i>2.1.2. Antecedentes Nacionales</i> .....	8
<b>2.2. Bases teóricas</b> .....	8
<i>2.2.1. Residuos Sólidos</i> .....	10
<i>2.2.2. Residuos Sólidos Orgánicos</i> .....	10
<i>2.2.3. Tipos de Digestión para Tratamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos</i> .....	10
<i>2.2.4. Técnicas de Tratamiento para la Valorización de los Residuos Sólidos Orgánicos</i> .	10
<i>2.2.5. Manejo de los residuos sólidos en el distrito de Surquillo</i> .....	14
<i>2.2.6. Efecto Invernadero</i> .....	16
<i>2.2.7. Gases de Efecto Invernadero</i> .....	16
<i>2.2.8. Huella de Carbono</i> .....	19
<i>2.2.9. Ambiente</i> .....	19
<i>2.2.10. Cambio Climático</i> .....	20
<i>2.2.11. Calentamiento Global</i> .....	20
<i>2.2.12. Contaminación Ambiental</i> .....	20

<b>III. VARIABLES E HIPÓTESIS</b> .....	21
<b>3.1. Operacionalización de variables</b> .....	21
<b>3.2. Hipótesis de la Investigación</b> .....	21
3.2.1. <i>Hipótesis General</i> .....	21
3.2.2. <i>Hipótesis Específicas</i> .....	22
<b>IV. METODOLOGÍA.</b> .....	23
<b>4.1. Descripción de la Metodología</b> .....	23
<b>4.2. Implementación de la investigación</b> .....	42
4.2.1. <i>Pruebas realizadas</i> .....	42
<b>4.3. Población y muestra</b> .....	44
<b>4.4. Técnicas de recolección de datos</b> .....	44
<b>4.5. Instrumentos de recolección de datos</b> .....	45
4.5.1. <i>Validez</i> .....	45
4.5.2. <i>Confiabilidad</i> .....	45
<b>4.6. Resultados</b> .....	45
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	59
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	61
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	62
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	63
<b>ANEXOS</b> .....	65
<b>Anexo 1. Matriz de consistencia</b> .....	65
<b>Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos</b> .....	68
<b>Anexo 3. Formato de Validación de expertos</b> .....	73
<b>Anexo 4. Glosario de términos</b> .....	74



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables y dimensiones.....	21
Tabla 2. Resultados del monitoreo de parámetros para adecuado proceso de descomposición de los residuos orgánicos - Temperatura promedio (°C).....	29
Tabla 3. Resultados del monitoreo de parámetros - Humedad promedio (%).....	29
Tabla 4. Resultados del monitoreo de parámetros - pH promedio.....	30
Tabla 5. Partes del Biodigestor.....	30
Tabla 6. Resultados del monitoreo de parámetros - Temperatura (°C) y pH.....	37
Tabla 7. Alcance de las fuentes empleadas en la calculadora HC-Perú.....	38
Tabla 8. Emisión de GEI del consumo de combustible en el transporte propio.....	46
Tabla 9. Emisión de GEI del transporte casa-trabajo.....	46
Tabla 10. Emisión de GEI de generación de residuos sólidos en el tratamiento tradicional.....	47
Tabla 11. Emisión de GEI del consumo de combustible en el transporte propio.....	47
Tabla 12. Emisión de GEI del transporte casa-trabajo.....	48
Tabla 13. Emisión de GEI del consumo de agua potable.....	48
Tabla 14. Emisión de GEI del transporte de insumos.....	49
Tabla 15. Emisión de GEI de la generación de residuos sólidos en el tratamiento de compostaje.....	49
Tabla 16. Emisión de GEI en la generación de Electricidad por el biodigestor.....	50
Tabla 17. Emisión de GEI en el consumo de combustible por transporte propio.....	50
Tabla 18. Emisión de GEI por el transporte del personal.....	50
Tabla 19. Emisión de GEI en el consumo de agua potable.....	51
Tabla 20. Emisión de GEI en el transporte de insumos.....	51
Tabla 21. Emisión de GEI en la Generación de Residuos Sólidos.....	52
Tabla 22. Resumen general de las emisiones de GEI en el tratamiento tradicional.....	52
Tabla 23. Resumen general de las emisiones de GEI en el compostaje.....	53
Tabla 24. Resumen general de las emisiones de GEI en la biodigestión.....	54
Tabla 25. Análisis de resultados GEI por el tratamiento de la biodigestión.....	56
Tabla 26. Cuadro comparativo de resultados de los tratamientos.....	56
Tabla 27. Cuadro comparativo de la reducción de Huella de Carbono de los tratamientos frente al tratamiento tradicional.....	57
Tabla 28. Técnicas de compostaje y biodigestión en la reducción de la huella de carbono en el distrito de Surquillo, Lima 2023.....	65
Tabla 29. Instrumento de Medición de Datos para compostaje y Biodigestor.....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Hongos presentes en la fase de enfriamiento.....	12
Figura 2. Procedimiento para desarrollo de Resultados.....	25
Figura 3. Localización del área para la implementación del compostaje y biodigestor.....	26
Figura 4. Pasos para la ejecución de la elaboración de pilas de compostaje.....	27
Figura 5. Instalación de los recipientes (tachos) en los mercados empadronados para la recolección de los residuos orgánicos .....	27
Figura 6. Recolección y Transporte de los residuos orgánicos a la planta de tratamiento en el parque Reducto N°5 .....	28
Figura 7. Pila de compostaje.....	28
Figura 8. Sellando con pegamento las conexiones.....	31
Figura 9. Revisión de las conexiones del biodigestor.....	32
Figura 10. Área para el biodigestor.....	32
Figura 11. Recolección de estiércol de caballo en sacos de 20 kg para el biodigestor.....	33
Figura 12. Residuos orgánicos separados para el tratamiento de la biodigestión.....	33
Figura 13. Mezcla de los residuos orgánicos con el estiércol para el tratamiento de la biodigestión.....	34
Figura 14. Mezcla de los insumos con el agua, debidamente calculado para el tratamiento de la biodigestión .....	34
Figura 15. Ingreso de la mezcla dentro del biodigestor para el proceso de tratamiento.....	35
Figura 16. Determinación de límites operacionales-alcances de la calculadora HC-Perú....	38
Figura 17. Higrómetro debidamente calibrado para la medición de temperatura y humedad.....	42
Figura 18. Potenciómetro debidamente calibrado para la medición del pH.....	43
Figura 19. Medición de la temperatura y humedad en las pilas de compostaje .....	43
Figura 20. Medición de pH en las pilas de compostaje con el potenciómetro.....	44
Figura 21. Inventario de GEI para tratamiento tradicional.....	53
Figura 22. Inventario de GEI para tratamiento con compostaje.....	54
Figura 23. Inventario de GEI para tratamiento de la biodigestión.....	55
Figura 24. Gráfico comparativo de resultados de los tratamientos de compostaje y biodigestión.....	57
Figura 25. Gráfico comparativo de ambas técnicas frente al tratamiento tradicional.....	58
Figura 26. Formato en blanco de la ficha de medición de parámetros del compostaje en campo .....	68

Figura 27.Formato en blanco de la ficha de medición de parámetros de la biodigestión en campo .....	69
Figura 28.Cuadro resumen del registro de información del tratamiento tradicional en la calculadora de la huella del carbono.....	70
Figura 29.Cuadro resumen del registro de información de la técnica del compostaje en la calculadora de la huella del carbono.....	71
Figura 30.Cuadro resumen del registro de información de la técnica de la biodigestión en la calculadora de la huella del carbono.....	72
Figura 31.Certificado de validación de la calculadora de huella de carbono en la plataforma HC- PERÚ del Ministerio del Ambiente .....	73

## INTRODUCCIÓN

Surquillo como distrito tiene la visión de convertirse en una ciudad moderna con un óptimo desarrollo urbano y garantizar la calidad ambiental ofreciéndoles a sus vecinos una mejor calidad de vida, como se menciona en su Plan de Desarrollo Local Concertado.

En la actualidad, el distrito produce un total de 84,03179 Tn/día de desechos, del cual el 58.63 % son residuos sólidos de origen orgánico doméstico.

Estos residuos vienen siendo recolectados y transportados al relleno sanitario de Huaycoloro para ser tratados de manera convencional.

El manejo y consumo de recursos como el combustible, personal entre otros para realizar esta actividad; ha traído como consecuencia el aumento considerable de la huella de carbono en el distrito. La liberación no regulada de estos gases conlleva problemas de salud y ambientales para el distrito.

Se vienen realizando programas ambientales e implementando tecnologías de tratamiento recientemente integrados por parte de la Municipalidad de Surquillo.

Por ello, este trabajo de investigación se enfoca en identificar la reducción de la huella de carbono mediante los tratamientos del compostaje y la biodigestión, esto permitirá el desarrollo y la aplicación adecuada de las tecnologías.

Generando una base de datos e información adicional que se registre en la plataforma HC-Perú del Ministerio del Ambiente y así, se pueda obtener la primera estrella a futuro.

Asimismo, estos tratamientos tienen como finalidad crear y fomentar conciencia ambiental entre los actores involucrados; que son los vecinos y la municipalidad. Dándoles otra perspectiva de aprovechamiento de sus residuos generando un impacto positivo a la comunidad y al medio ambiente, contribuyendo de esta manera a reducir las emisiones de gases que impactan negativamente al distrito de surquillo.



## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Motivación**

La elaboración de este trabajo de investigación es importante y relevante porque obtendremos como resultado la mejor técnica de tratamiento de residuos orgánicos y que esta sea la más eficiente para reducir la huella de carbono frente al tratamiento tradicional que cuenta el distrito de Surquillo.

Se emplea los residuos orgánicos de los mercados empadronados. También se utiliza estiércol de equino para la aceleración de los tratamientos y obtención del biogás por el elevado contenido de carbono, nitrógeno y humedad. Así dándole solución a la emisión de los gases de efecto invernadero que influye al calentamiento global.

### **1.2. Estado del arte**

En la investigación de Montejano (2018) se evaluó las diferentes tecnologías para tratar los residuos de origen orgánico, una de ellas es la biometanización, el compostaje y su valorización energética frente al método tradicional que es el relleno sanitario, este estudio es con el objetivo de evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo su indicador la huella de carbono.

En este proyecto se tomó como referencia la investigación de Montejano (2018) para realizar el estudio de huella de carbono utilizando las tecnologías como el compostaje y la biodigestión en el distrito de Surquillo. Siendo estos dos tratamientos los más eficientes según el estudio de Montejano para reducir los gases contaminantes que generan los residuos orgánicos al descomponerse, ya sea de forma natural o dentro del tratamiento que se quiera darle.

De acuerdo con las revisiones bibliográficas existen diversas técnicas tales como compostaje y biodigestión que también permite reducir estos gases contaminantes suman al calentamiento global, por lo cual, se pretende introducir datos de las toneladas de orgánicos, combustible quemado, insumos, entre otros, para así obtener el CO<sub>2</sub> equivalente generado por de cada tratamiento.

Esta investigación tiene como finalidad comparar cuál de las técnicas a aplicar, para el tratamiento de los residuos orgánicos generados por la municipalidad, específicamente en los mercados aledaños al lugar a tratar, es más eficiente en generar menor contaminante, entre ellos los gases de efecto invernadero, siendo su indicador la huella de carbono.

### **1.3. Descripción del Problema**

Según Benavides y León, 2007, el fenómeno del calentamiento del globo terráqueo se puede simplificar como el incremento gradual de temperatura, esto se debe al aumento de la emisión de ciertos gases de efecto invernadero (GEI), producto de la acción humana. Estos gases forman una capa, convirtiéndose en una barrera para que los rayos del sol escapen de la Tierra en condiciones normales. Al formarse una capa más densa de gases de efecto invernadero, impide la salida y retiene de manera efectiva los rayos infrarrojos, teniendo como resultado el aumento de la temperatura.

El estudio realizado por el MINAM (2013) señala que existe un incremento de gases de efecto invernadero desde los años de 1900 al 2000, se han desarrollado e incrementado industrias y parque automotor. Además de diversas actividades humanas como el consumo de combustibles, deforestación de bosques en la selva, la incineración de residuos en la agricultura, etc. También la fabricación de sustancias gaseosas no existentes de manera natural como los fluorados, ha traído como consecuencia ambiental, el cambio climático.

En el Perú, se ha registrado en las dos últimas décadas el incremento de huaicos, sequías, inundaciones por el Fenómeno del Niño, deslizamiento en las tres regiones, problemas hídricos por el retroceso de los glaciares tropicales, entre otros.

Se ha reducido un 22% de territorio de nuestros glaciares en los últimos 30 años, cabe señalar que los glaciares tropicales del Perú representan el 71% de glaciares tropicales en el mundo.

En el enfoque social, el cambio climático, debido al incremento de gases de efecto invernadero, trae consigo ciertas vulnerabilidades que están afectando a la población peruana ya que un gran porcentaje de ellos se dedica a la agricultura, ganadería, pesca, entre otros, y estos se ven afectados directamente por el clima y el cambio que está teniendo. Debemos tener en cuenta que Perú tiene 28 de los 35 climas identificados en todo el planeta (SENAMHI, 2005 como citó en MINAM,2013), cabe recalcar que más del 50% de la población del Perú está considerado en estado de pobreza y un 21 % en un estado de extrema pobreza de acuerdo al (INEI, 2004 como se citó en MINAM, 2013) y que la población peruana en un 90% habitan en áreas subhúmedas, áridas y semiáridas.

Surquillo al 2017 tiene una población total de 91,023 habitantes (INEI,2017 como se citó en PDMRS-Surquillo,2019).

De acuerdo con el ECRS (2019), el distrito genera un total de 7293.47 toneladas de residuos al año, de los cuales el 111.35% son residuos orgánicos tanto domiciliarios como

no domiciliarios. Es importante señalar que, la descomposición sin la presencia de oxígeno de los residuos sólidos orgánicos en la disposición final genera la emisión de metano (CH<sub>4</sub>), que es uno de los gases de efecto invernadero que tiene un mayor potencial de calentamiento global, siendo 214 veces mayor que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), (MINAM, 2020). Por lo cual, Surquillo viene teniendo problemas por contaminación ambiental, por sus residuos sólidos generados, por consumo de combustibles fósiles, entre otros. Esto genera contaminantes como son los gases de efecto invernadero, la presencia de estos gases contribuyen al calentamiento global y por ende aumenta la huella de carbono. Cada año se ejecuta el programa de incentivos de la meta 3 “Implementación del sistema integrado de manejo de residuos municipales”, de los cuales se va realizando el tratamiento de compostaje. Este año se ha implementado el tratamiento de biodigestión, con la finalidad de poder reducir de manera eficiente la emisión de GEI, por ende, la huella de carbono que aqueja al distrito, mediante el tratamiento de los residuos orgánicos municipales.

Por tal motivo, este estudio de investigación se plantea comparar el tratamiento de compostaje y biodigestión para el tratamiento de los residuos orgánicos con el objetivo de identificar el método más eficiente para reducir la huella de carbono, que beneficiará al medio ambiente y población del distrito de Surquillo.

## **1.4. Formulación del Problema**

### ***1.4.1. Problema General***

¿Cómo reducir la huella de carbono en el manejo de residuos sólidos orgánicos en el distrito de Surquillo?

### ***1.4.2. Problemas específicos***

- ¿Cómo influye el manejo de residuos sólidos orgánicos a través del compostaje en la generación de la huella de carbono en el distrito de Surquillo?
  
- ¿Cómo influye el manejo de residuos sólidos orgánicos a través de la biodigestión en la generación de la huella de carbono en el distrito de Surquillo?
  
- ¿Cuál de las dos técnicas de manejo de residuos sólidos orgánicos es más eficiente en la generación de la huella de carbono en el distrito de Surquillo?

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Comparar la reducción de la huella de carbono generados por los residuos sólidos orgánicos a través de las técnicas de compostaje y biodigestión en el distrito de Surquillo.

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Determinar la huella de carbono por la aplicación de la técnica de compostaje en el manejo de residuos sólidos orgánicos en el distrito de Surquillo.
  
- Determinar la huella de carbono por la aplicación de la técnica de la Biodigestión en el manejo de residuos sólidos orgánicos en el distrito de Surquillo.
  
- Evaluar la eficiencia en la generación de la huella de carbono, mediante las técnicas de compostaje y biodigestión en el manejo de residuos sólidos orgánicos en el distrito de Surquillo.

## **1.6. Justificación**

Esta investigación tiene como propósito minimizar la generación de gases de efecto invernadero, generados por las actividades y servicios diarios que generan impactos negativos por el uso de combustibles fósiles, debido a la recopilación de los residuos orgánicos en establecimientos y viviendas, ya que emite diversos gases como el metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos nitrógenos (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles, también por el consumo energético, consumo de agua entre otros, que generan gases de efecto invernadero similares. Esto trae repercusiones como daños a la salud por la contaminación del medio ambiente, específicamente en la calidad del aire, generando en las personas problemas respiratorios y cardiovasculares, también enfermedades infecciosas como el cólera, dengue, el Zika, la malaria, etc. A nivel ambiental, las consecuencias van desde el aumento y variación de la temperatura, cambio de clima, escases de agua, desertificación de los espacios verdes, entre otros.



En el aspecto práctico es fundamental, ya que existe la necesidad de aplicar tratamientos eficientes para la valorización de los residuos orgánicos que reduzcan la generación de GEI. A nivel económico, se estima la reducción de costos de operaciones y realizar sus procesos diarios más sustentables a largo plazo. En transporte y recolección, permite analizar el tipo de combustible que se está utilizando y poder cambiarlo por otro que genere menos dióxido de carbono, metano que conforman los gases de efecto invernadero, siendo uno de ellos el biogás en el uso de energía eléctrica y térmica, permite minimizar costos por la implementación de los biodigestores, que brindan energías alternas, consumo de fertilizantes químicos y abonos, esto se reduce gracias a los productos de los tratamientos como el compost, biol y biomasa orgánica, esto trae consigo reducir el costo de adquisición de los insumos. Además, disminuirá la generación de puntos críticos por acumulación de residuos, que acarrea un costo adicional para la recuperación de los espacios urbanos en el distrito.

En la sociedad genera un impacto positivo al cambio climático y en la mejora de vida de la población. Así seguir preservando los ecosistemas, donde las futuras generaciones puedan gozar de un ambiente saludable, preservación de los recursos naturales, evitando la escasez y sufrimiento colectivo, entre otros. Para ello, se utilizan diversas estrategias como las sensibilizaciones, capacitaciones, talleres de identificar cada tipo de residuo y la segregación de manera adecuada, valorización de los desechos orgánicos, además que contribuye a seguir impulsando el desarrollo de la educación ambiental y minimizar la generación de gases de efecto invernadero en colegios, viviendas, entre otros.

Para reducir los niveles del indicador de huella de carbono mediante las técnicas de compostaje y biodigestión para la valorización de los residuos orgánicos aplica la recopilación de datos e investigación de antecedentes, también realiza la medición de parámetros y gases y finalmente realiza el cálculo de resultados. Esta investigación abre las puertas a otros proyectos a futuro.

Los resultados de este estudio comparativo permitirán implementar nuevas medidas de manejo de los desechos orgánicos con el objetivo de dar un eficiente tratamiento que contribuya a que Surquillo se convierta en un distrito Eco amigable.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Según Montejano (2018) evalúa la huella de carbono de los tratamientos de desechos urbanos en la ciudadela de Madrid, el cálculo de cuanto gas de efecto invernadero (GEI) se está generando y compararla con la situación actual de Madrid frente con otros escenarios propuestos. Llegando a la conclusión que frente a escenarios alternativos de tratamiento como la biometanización, compostaje, valorización energética y eliminación en vertedero, el mejor tratamiento con menor Huella de Carbono es la de digestión en ausencia de oxígeno o biometanización con emisiones de 1.214 tCO<sub>2</sub> e ( HC de 8kg CO<sub>2</sub> e /t res). En segundo lugar, el compostaje que generó emisiones de 22.359 tCO<sub>2</sub> e (HC de 189 kg CO<sub>2</sub> e /t res).

Según Lemus (2018) la huella de carbono es un indicador de GEI, generada al recoger, transportar y transformar los residuos orgánicos de diversos usuarios a través de tres procesos distintos: compostaje, relleno sanitario y planta de deshidratación. El análisis revela que el relleno sanitario presenta el mayor impacto en términos de huella de carbono, con emisiones totales de 411 tCO<sub>2</sub> e. Dentro de este proceso, el 38% de las emisiones provienen del proceso de transformación, mientras que el 62% se atribuye al recojo, traslado y transporte de los desechos orgánicos de cada familia. En el caso del compostaje, se registra un total de 370.9 tCO<sub>2</sub> e por año, con el 12% de las emisiones asociadas al proceso de transformación y el 88% restante atribuido a la recolección y transporte de los residuos. En cuanto al tratamiento de deshidratación, se identifican emisiones totales de 242.56 tCO<sub>2</sub> e por año, siendo el 9% originado por el proceso de transformación y el 91% relacionado con el recojo, traslado y transporte de desechos orgánicos.

Según Centanaro (2023) identificó los factores que suman a la emisión de carbono para las actividades del terminal Palermo Sociedad Portuaria, para ello se calcula la huella de carbono de las fuentes de emisión identificadas para la empresa Palermo sociedad Portuaria para los años 2019 y 2020. Dentro de su Plan metodológico detalla

que existen cuatro metodologías para determinar la HC, de las cuales son: Protocolo de GEI, balance de carbono, PAS 2050, metodología de las cuentas contables MC3 y para la medición de GEI se encuentra GHG-Green House Gas Protocol Corporativo, Protocol Proyecto, Protocol cadena de valor, Protocol ciclo de vida, requerimientos GEI. La investigación concluye que las metodologías contribuyeron a definir de manera más precisa en cuanto reduce los gases de efecto invernadero.

### ***2.1.2. Antecedentes Nacionales***

Según Luna (2018) comparó el potencial energético del biogás producido en una cámara herméticamente cerrada para el estiércol provenientes de ganado vacuno, camélidos y equinos. Además, se abordaron distintos aspectos, como analizar la relación carbono, nitrógeno inicial de los diferentes estiércoles y adaptar el diseño, así construir biodigestores según las necesidades específicas, evaluar el comportamiento de la temperatura y el pH durante el proceso, determinar el periodo de retención hidráulico del mismo, y comparar la calidad del biogás generado en función de la procedencia animal de la excreta. Dando como resultado que, en temperaturas promedios de 20°C y 30°C, el biodigestor se mantiene dentro del rango mesófilo, lo cual le brinda estabilidad al proceso de biodigestión anaerobia, también se determinó que el pH fue el adecuado en las dos primeras etapas de (hidrólisis y metanogénesis) con 5.2 y 6.3 y para las dos últimas etapas (acetogénesis y metanogénesis) con 6.5 y 7.6 y finalmente se registró que el tratamiento con estiércol de ganado vacuno (T1) logró un resultado del 46.67% de concentración de metano en el biogás producido, seguido del ganado equino (T3) con 44.54% y por último con el ganado camélido (T2) con 41.33%. Esto señala que la digestión en ausencia de oxígeno se presenta como una alternativa medioambientalmente adecuada para el desarrollo de energía renovable, contribuyendo así a la disminución de la huella de carbono.

Según León y López (2022) identificó las principales fuentes de GEI generados por IMAQ Perú SAC, y así estimar la huella de carbono para el año 2021, empleando la plataforma HC- Perú y proponer estrategias ambientales para disminuir las emisiones de GEI. Dando como resultado que en total la empresa estudiada generó 13 tCO<sub>2</sub> e, de las principales fuentes identificadas, como el transporte propio con 8.35 tCO<sub>2</sub> e, transporte casa – trabajo con 1.97 tCO<sub>2</sub> e y refrigerantes con 1.46 tCO<sub>2</sub> e. También de

acuerdo a las fuentes de emisión se han determinado 19 estrategias , entre las importantes se nombran los vehículos de gasohol a gas natural , mantenimiento preventivo de vehículos, cambio de refrigeradora y digitalización de documentación de la empresa, entre las estrategias medias se ha planteado el teletrabajo, mejoras de ventilación, sensibilizaciones a los trabajadores , cambio de equipos con eficiencia energética, segregación y disposición final de los residuos sólidos, valorización de los residuos aprovechables, reducción de materiales de un solo uso, mantenimiento de instalaciones sanitarias , instalación de sistemas de ahorradores de agua y reciclaje de papel. En conclusión, el autor demuestra en el estudio que existen estrategias de sustentabilidad ambiental para desarrollar las actividades diarias de la empresa y así reducir los gases de efecto invernadero anualmente.

Según Saavedra (2020) identificó cuáles son las fuentes de emisión directa e indirecta de GEI, y elaborar el cálculo de GEI, siendo su indicador la huella de carbono. Dando como resultado que, en el año 2018, se calculó 63.169 tCO<sub>2</sub> e, siendo el mayor consumo las actividades académicas directas con un 41.18%.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Residuos Sólidos**

Es un material que cumplió su vida útil para el cual fue creado y este puede encontrarse en estado sólido o semisólido, esto dependerá del generador, los residuos de acuerdo con la normativa nacional, puede ocasionar riesgos a la salud y al ambiente. También se incluye a los residuos que se generan por eventos naturales (MINAM, 2012).

### **2.2.2. Residuos Sólidos Orgánicos**

Es una fracción de los desechos generados por las municipales y este se conoce como residuos orgánicos, esto debido a su origen y naturaleza. Están compuestos principalmente de residuos de alimentos, aceite y grasas de cocina, sobras de restaurantes, cafeterías, comedores de fábricas y mercados (Gonzales y Morales 2020). Los residuos orgánicos, se consideran como desechos provenientes de actividades como la ganadería, residuos forestales, lodos fecales, productos o desechos agroalimentario, entre otros. (Navarro et. al, 1995).

### **2.2.3. Tipos de Digestión para Tratamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos**

**Digestión Aerobia.** Esta fase es un proceso donde intervienen diferentes colonias de microorganismos, entre ellos las bacterias y protozoos, el cual tiene como presencia el oxígeno, y este actúa sobre la materia orgánica, y que de acuerdo con el tratamiento que se aplique se obtiene un producto final. (FAO, 2011).

**Digestión Anaeróbica.** Esta fase consiste en un proceso en ausencia del oxígeno, este también es un proceso degradativo de los desechos orgánicos, las cuales pueden ser residuos animales y vegetales, de acuerdo con el tratamiento a aplicar para su tratamiento que puede obtener biogás, que es una combinación de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos. Empleando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir los residuos en productos útiles (FAO,2011).

### **2.2.4. Técnicas de Tratamiento para la Valorización de los Residuos Sólidos Orgánicos**

**Compostaje.** Según FAO (2013) Es un tratamiento alternativo al tradicional, este consta de etapas, y se desarrolla en presencia de oxígeno. Para este proceso se requiere humedad, temperatura y PH ideal de acuerdo con la fase en la que se encuentre. Para asegurar un proceso higiénico de los desechos orgánicos. Los microorganismos



aerobios desarrollan procesos metabólicos complejos que, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C). Los microorganismos presentes en el compostaje generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. Al descomponer el carbono, nitrógeno y toda materia orgánica, se desprende calor a través de variaciones de temperatura en todo el proceso para obtener el compost. Existen cuatro etapas en el proceso del compostaje: Fase Mesófila, Termófila, enfriamiento, y Maduración.

### **Fases del Compostaje**

**Fase Mesófila.** La fase oscila entre dos a ocho días. La fase inicia con temperatura ambiente hasta llegar a una temperatura de 45°C. El incremento de la temperatura se genera a raíz de la actividad microbiana, utilizando fuentes sencillas como el C y N, compuestos solubles, como azúcares, y así producir ácidos orgánicos que genera que el pH baje hasta 4.0 o 4.5.

**Fase Termófila o de Higienización.** Esta fase consiste en la higienizar, y esto se desarrolla al incrementar la temperatura, así eliminando las bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Es una fase importante, ya que a temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos y así, dando lugar a un producto debidamente higienizado.

Esta fase tiene una duración de días hasta meses, esto dependerá de las condiciones climáticas y del lugar donde se realice el proceso. Inicia a temperaturas mayores a los 45°C, los microorganismos mesófilos que se desarrollan a temperaturas medias son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias termófilas, que degradan fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Los microorganismos de esta fase transforman el nitrógeno en amoníaco, generando que el pH aumente. Cuando adquiere una temperatura de 60 °C se desarrollan bacterias que generan esporas y actino bacterias, responsables de desintegrar hemicelulosas.

**Fase de Enfriamiento o Mesófila II.** Esta fase se desarrolla cuando se termina las fuentes de carbono y nitrógeno en el proceso y cuando la temperatura desciende hasta los 40-45°C. Durante esta fase, la degradación continúa hasta convertir los polímeros en celulosa, y empiezan a visibilizarse hongos. Al descender la temperatura a 40°C, los organismos mesófilos retoman su actividad y el PH comienza a descender. La fase

de enfriamiento toma varias semanas para adoptar parámetros ideales, por el tiempo que puede tomar esta fase se puede llegar a confundir con la fase de maduración.

### **Figura 1**

*Hongos presentes en la fase de enfriamiento*



*Nota: Adaptado de Hongo Indicador de la fase Mesófila II, FAO (2013)*

**Fase de Maduración.** Esta es la última fase del tratamiento del compostaje, para ello requiere solo de tiempo para la estabilización, durante ese tiempo se siguen produciendo reacciones secundarias.

**Factores del Proceso de Compostaje.** Según Bohórquez (2019) los factores del ambiente están directamente relacionados con el compostaje, debido que estos influyen en el metabolismo de los microorganismos implicados en los diferentes parámetros. Entre ellos podemos identificar:

**Temperatura.** Factor más importante que influyen en el metabolismo de los microorganismos. Debido a que, al aumentar la temperatura, las fases del metabolismo se intensifican y la descomposición de los desechos orgánicos disminuyen.

**Humedad.** Los residuos orgánicos empleados tienen un grado alto de agua. En una etapa inicial la humedad debe ser el cincuenta por ciento de la materia, con la finalidad de aumentar las poblaciones microbianas que se encuentran naturalmente en los materiales utilizados. La humedad cuando se excede del 60% crea condiciones de

anaerobiosis, ambientes sin presencia de oxígeno, retrasando el proceso, generando malos olores, producción de lixiviados que disminuyen los nutrientes del abono.

**Oxígeno.** Las colonias de microorganismos presentes en el compostaje existen en presencia de oxígeno, por ende, es importante los volteos de las pilas de compostaje, o la aireación dentro de las pilas a través de tubos de PVC.

**PH.** El PH como los otros parámetros interviene en el metabolismo del microorganismo, ya que al tener un PH adecuado influye en el crecimiento y este se ve favorecido. En la etapa termófila presenta un PH bajo, en la segunda fase, el PH aumenta en presencia de ácidos orgánicos, esto se da en la primera fase, y también porque en el proceso se genera amoníaco, por la descomposición de los desechos orgánicos. El PH se estabilizará cuando se neutralice la composición con un producto alcalino.

**Tamaño de la Partícula.** Las partículas de los restos vegetales y animales deben ser pequeñas, ya que a mayor relación superficie/volumen, se dará mayor actividad microbiana. La dimensión de la partícula deber ser entre 1 a 5 cm, esto para que se produzca una correcta aireación y siempre tenga disponibilidad de oxígeno.

**Relación C/N.** Según Bohórquez (2019) Los elementos importantes son el carbono y el nitrógeno, y para ello se requiere un balance entre ambos elementos dentro del proceso de compostaje.

Según INIA (2013) Indica que el promedio adecuado de C/N es de 15 partes de C a 1 parte de N. La relación al inicio que se recomienda es de alrededor de 30:1, que en cierta forma asegura que no haya ni exceso ni deficiencia de nitrógeno. (p. 64).

**Biodigestión Anaerobia (fermentación metanogénica).** Según la FAO (2011), este tratamiento es complejo, ya que intervienen una gran cantidad de microorganismos y trae consigo reacciones por fases.

### **Fases de la Biodigestión Anaeróbica**

**Hidrólisis.** Esta fase es importante para la digestión anaerobia, esto se debe a que los residuos orgánicos son hidrolizados por enzimas extracelulares que degradan las

moléculas complejas convirtiéndolos en material soluble para la metabolización de los demás microorganismos.

***Etapa Fermentativa o Acidogénica.*** En esta etapa se produce la fermentación del material orgánico soluble en agua. En esta etapa hay presencia de bacterias acetogénicas. También se extingue el oxígeno definitivamente en el sistema herméticamente cerrado del biodigestor.

***Etapa Acetogénica.*** Las bacterias metanogénicas metabolizan algunos productos de la fermentación, en cambio, otras bacterias deben consumir compuestos más simples. Entre los compuestos complejos, los cuales son metabolizados en acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). Los encargados de realizar esta metabolización son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolin*, microorganismos acetogénicos.

Los homoacetogénicos son un tipo de bacteria acetogénicos, pueden ser hermafroditas en contacto con compuestos monocarbonados o azúcares. Estas bacterias permiten la existencia de las bacterias acetogénicas y acidogénicas. Tienen como producto el acetato.

En esta fase, la materia es consumida anaerómicamente por las bacterias, por lo cual, genera excretas, este desecho, a su vez, es aprovechada por las demás bacterias en la siguiente fase.

***Etapa Metanogénica.*** Las bacterias anaeróbicas actúan sobre el producto resultante. Estos microorganismos metanogénicos son considerados importantes dentro de las colonias de microorganismo, porque son responsables de la formación de  $\text{CH}_4$ , y son generadores del gas metano, conocido como biogás. (FAO, 2011).

#### ***2.2.5. Manejo de los residuos sólidos en el distrito de Surquillo***

Según el INEI (2017) el distrito de Surquillo tiene una población de 91023 habitantes. Por ello, la Municipalidad de Surquillo realizó un Plan de Manejo de Residuos Sólidos 2021-2025, en donde se recopila información y se detalla la gestión que se realiza con los residuos sólidos recogidos en el distrito.

Estos puntos descritos en el plan son los siguientes:

#### **Generación de los Residuos Sólidos**

De acuerdo con el PMRS de Surquillo (2022) se detalla que la generación total de residuos sólidos se estima en 84,03179 Tn/día de los cuales se dividen en tres tipos de residuos:

- Residuos domiciliarios con 62805.87 Tn/día.
- Residuos no domiciliarios con 19982.09 Tn/día.
- Residuos Especiales con 1243.83 Tn/día

### **Tipos de residuos sólidos**

#### ***Residuos Domiciliarios***

- Residuos orgánicos tiene un 58.63% de generación.
- Residuos inorgánicos tiene un 19.83% de generación.
- Residuos no aprovechables tiene un 21.54 % de generación.

#### ***Residuos No Domiciliarios***

- Residuos orgánicos tiene un 52.72 % de generación.
- Residuos inorgánicos tiene un 24.02 % de generación.
- Residuos no aprovechables tiene un 23.26 % de generación.

### **Recolección, transporte y disposición final de Residuos Sólidos Municipales**

El servicio de Limpieza Pública esta tercerizado por la empresa Industrias Arguelles y Servicios Generales S.A.C, por lo cual la empresa es supervisada diariamente por la Municipalidad de Surquillo.

### **Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos**

Se viene trabajando con tres mercados de abastos que generan 5,050 kg de residuos de mercado/día, en su mayoría residuos orgánicos.

Estos mercados son:

- Mercado San Felipe
- Mercado La calera
- Mercado Angamos

La planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos está ubicada dentro del vivero municipal que tiene una extensión de 230 m<sup>2</sup>, llamado Parque Reducto N°5.

### **2.2.6. Efecto Invernadero**

Es el incremento de temperatura y que contribuye negativamente en el calentamiento global, ya que la energía solar es retenida en la tierra. (MINAM, 2012).

### **2.2.7. Gases de Efecto Invernadero**

Para Benavides y León (2007) se conocen como gases de invernadero que forman parte de la atmósfera como componentes gaseosos y pueden ser de origen natural y antropógenos. Es la radiación absorbida y retenida en la atmosfera debido a que se forma una capa como barrera e impide la salida de calor, y esto da paso al efecto invernadero.

#### **Generalidad de los Gases de Efecto Invernadero**

**Gases Directos.** Son gases de efecto invernadero que no sufren modificación alguna al ser emitidos a la atmósfera.

**Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ).** Es uno de los componentes gaseosos más importantes y comunes en el sistema atmosférico. Tiene un rol fundamental en diversos procesos biológicos dentro del ciclo del  $CO_2$ . Sus fuentes de emisión pueden ser naturales y antropogénicas. Dentro de las actividades humanas tenemos en primer lugar el consumo de combustibles fósiles (gas natural, carbón, petróleo y derivados), tala, quema de bosques, procesos industriales, etc.

**Metano ( $CH_4$ ).** Es un gas que juega uno de los roles principales para el análisis de la capacidad de oxidación de la troposfera. Este componente es removido por la reacción con radicales hidroxilos (OH) de la atmósfera, transformándose en  $CO_2$ .

La descomposición de material orgánico es una de las fuentes principales de metano:

- Las acciones agrícolas como la fermentación entérica a causa del procedimiento digestivo de los herbívoros, por las excretas de las especies pecuarias y su descomposición en estado anaerobio, plantaciones de arroz mediante irrigación e incineración de sabanas y desechos agrícolas.

- Manejo de residuos sólidos.

- El proceso anaerobio de efluentes de origen domiciliario e industrial.

Otras fuentes principales son la obtención y disposición de petróleo, gas natural y aprovechamiento de carbón mineral.

***Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O).*** Su origen es natural y antropogénico, aporta aproximadamente el 6% del forzamiento del efecto invernadero, pueden generarse en la combustión de combustibles fósiles, océanos, agricultura y biomasa. Los cambios fotoquímicos en la estratosfera vienen siendo su desfogue, que afecta la cantidad de ozono estratosférico. Entre los orígenes principales tenemos la generación de gases por las actividades en suelos agrícolas, donde ocurren las fases microbiológicas de la nitrificación y desnitrificación del suelo por las emisiones directas como el pastoreo de animales y las indirectas por el empleo de fertilizantes. También tenemos el uso de combustibles fósiles para generar energía y por la descomposición de proteínas generadas por efluentes domiciliarios, en menor cantidad.

***Compuestos Halogenados.*** Los halocarbonos como los clorofluorocarbonos (CFCs) causan impactos directos e indirectos sobre el forzamiento radiativo. Entre ellas tenemos los CFC<sub>11</sub>(CFC<sub>3</sub>) y CFC<sub>12</sub>(CF<sub>2</sub>CL<sub>2</sub>), estos compuestos no se hayan de manera natural en el ambiente. También compuestos que contiene cloro como los hidroclofluorocarbonos (HFCs), metil cloroformo y el tetracloruro de carbono y los que contiene bromo como los halones, hidrobromofluorocarbonos(HBFCs) y bromuro de metilo. En la troposfera, estos compuestos son menos reactivos, en cambio, en la estratosfera erradican catalíticamente el ozono, ya que, en procedimientos fotoquímicos pierden los átomos de cloro y bromo.

Los perfluorocarbonos (PFCs), Hidrofluorocarbonos (HFCs) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) fueron utilizados para sustituir diversas Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) y son generado a través de distintos procedimientos industriales como la elaboración de semiconductores, fundición de aluminio y la transmisión y distribución de energía eléctrica.

***Ozono Troposférico.*** En la tropósfera, el Ozono se encuentra en cantidades reducidas y es compuesto fundamental para el smog fotoquímico antropogénico que, en la estratósfera superior, donde se encuentra en mayores cantidades y cumplen la labor de proteger a la tierra de la radiación ultravioleta.

***Vapor de Agua.*** Es el gas de efecto invernadero más basto en la atmósfera, ya que son conformadas por las nubes, pueden capturar el calor que se encuentran bajo ellas,



ocasionando un incremento de temperatura. También las que reflejan los rayos solares, gozan de una influencia refrigerante.

El ciclo hidrológico puede verse afectada de manera indirecta por el aumento de otros GEI que intervienen en el forzamiento radiativo, lo cual al calentar la atmósfera provoca mayor vapor de agua y repercutirá en la formación de nubes.

***Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).*** Esta incluido dentro de los gases traza que se encuentran en la troposfera. Tienen origen natural por la actividad microbiana, quema de biomasa y relámpagos y antropogénica por las centrales de energía y motores de vehículos.

Entre los compuestos principales tenemos al óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), HNO<sub>3</sub>, los aerosoles nitrados y el Peroxi-Acetil Nitrato (PAN).

El NO<sub>x</sub> es el producto de la suma del NO y NO<sub>2</sub>, estos son emitidos inicialmente y como resultado secundario de las conversiones atmosféricas son los demás gases.

Contribuyen en la formación de ozono y controlan la cantidad de radicales hidroxilos en la atmosfera.

***Monóxido de Carbono (CO).*** Este gas no afecta de forma directa al efecto invernadero, pero si tiene influencia en los radicales hidroxilos (OH), oxida al nitrógenos, carbón y azufre. También influye de manera indirecta a la formación de otros gases como el ozono troposférico y metano.

La mayor cantidad de emisión de CO provienen de la combustión de los combustibles originados en los automóviles y el sector residencial por algunos equipos de combustión.

***Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVDM).*** Estos gases son el resultado de la combustión incompleta como los aldehídos, cetonas y olefinas, también incluyen al propano, butano y etano que influyen en la formación del ozono troposférico junto a los NO<sub>x</sub>.

Sus fuentes principales tenemos a la combustión de combustibles de los vehículos, actividades industriales y en el sector residencial por la incineración de biomasa.

***Óxidos de Azufre y Partículas.*** Este gas no es un GEI, pero puede intervenir en el clima, ya que, el SO<sub>2</sub> es precursor de los aerosoles, los cuales reaccionan con diversos oxidantes para producir aerosoles sulfatados. Los aerosoles son partículas de tamaño

reducido que están suspendidas en el aire que refleja y captura los rayos infrarrojos solar y las emitidas por la tierra. Estas pueden encontrarse en el polvo volcánico, la combustión carbonácea, incineración de residuos, producción de cemento, contaminación, etc.

Contribuyen a la formación de nubes como núcleos de condensación, en el cual, influyen en el tamaño de las gotas de lluvia.

Una de las fuentes de incremento de estas partículas es la combustión por combustibles fósiles, ya que se componen de azufre. Dependiendo del tamaño y forma, pueden influir en el calentamiento del planeta.

### **2.2.8. Huella de Carbono**

Es un indicador de gases de efecto invernadero, este permite identificar cuantitativamente las emisiones de Gases Efecto Invernadero conocido como GEI, y de las cuales se identifican fuentes directas o indirectas, debido a las diversas actividades, esto dependerá del tipo de organización. (Saavedra, 2020).

El HC es un indicador de gases de efecto invernadero, que mide la cantidad que genera las empresas durante el ciclo de vida de un producto durante la cadena de producción, incluyendo el consumo, recuperación al final del ciclo y su eliminación (Frohmann y Olmos, 2013).

**Medición de la Huella de Carbono.** Al ingresar la cantidad de carbono generado por un producto o proceso en kilogramos, toneladas, galones de combustible, consumo energético, se genera un inventario GEI de acuerdo con el tipo de fuente. Esta información se ingresa a una calculadora y este te da como resultado la huella de carbono. (Frohmann y Olmos, 2013).

**Fuentes de Emisiones.** Para Frohmann y Olmos (2013) para iniciar con la medición de la huella de carbono, primero se debe reconocer las fuentes como:

- Emisiones directas: son las fuentes de se pueden examinar, ya que están en manejo de la entidad como combustibles fósiles, consumo de energía eléctrica, embalajes, entre otras.
- Emisiones indirectas: son consecuentes de las acciones que la entidad registra y provienen de fuentes diversas alejadas de las conocidas en la empresa como el uso, transporte o reciclaje del producto una vez adquirida por el demandante.

### **2.2.9. Ambiente**

Cúmulo de elementos que forman parte de la tierra estos pueden ser físicos, químicos y biológicos, que rodean a los seres vivos. (MINAM, 2012, pág. 45).

### **2.2.10. Cambio Climático**

Es el estado del clima, este puede persistir por un período extendido y puede tener su origen en causas naturales o producirse como resultado de la actividad humana (MINAM, 2012, pág. 53).

### **2.2.11. Calentamiento Global**

Según Benavides y León (2007) el calentamiento global se entiende como un fenómeno que registra los incrementos graduales de la temperatura de la atmósfera y del mar por el incremento de las emisiones de los gases de efecto invernadero a causa mayormente por las actividades humanas y la contaminación.

### **2.2.12. Contaminación Ambiental**

Resulta de las actividades del hombre, contaminantes emitidos al entorno mayores de las concentraciones y/o cantidades máximas permitidas teniendo presente el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente (MINAM, 2012).

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Operacionalización de variables

Tabla 1

*Cuadro de operacionalización de variables y dimensiones*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variable dependiente: Y: Reducción de huella de carbon</b>	Variación de los gases de efecto invernadero provocados por las actividades humanas dentro de una entidad (León y López, 2022).	Medida de la huella de carbono realizado por la calculadora HC-Perú.	Huella de carbono Inicio y final	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2 Equivalente</li> <li>• Porcentaje</li> </ul>
<b>Variable independiente: X<sub>1</sub>: Técnica de compostaje</b>	El compostaje es la descomposición aeróbica de los residuos orgánicos (FAO,2013).	Monitoreo de las pilas de compostaje y biodigestor	Parámetros de medición y gases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Temperatura (°C)</li> <li>• Humedad (%)</li> <li>• GEI</li> </ul>
<b>X<sub>1</sub>: Técnica de biodigestión</b>	La biodigestión es un proceso anaeróbico en la cual se degrada los residuos orgánicos convirtiendo el sustrato en biogás (FAO,2011).			

#### 3.2. Hipótesis de la Investigación

##### 3.2.1. Hipótesis General

La técnica de biodigestión reduce significativamente la huella de carbono en comparación a la técnica de compostaje en el distrito de Surquillo.

### **3.2.2. Hipótesis Específicas**

- La técnica de compostaje reduce significativamente la huella de carbono en el distrito de Surquillo.
  
- La técnica de biodigestión reduce significativamente la huella de carbono en el distrito de Surquillo.
  
- La técnica de biodigestión resulta ser más eficiente que la técnica de compostaje en la generación de la cantidad de Huella de carbono en el manejo de los residuos sólidos orgánicos el distrito de Surquillo.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Descripción de la Metodología

#### *Método y diseño de la investigación*

##### - **Método de Investigación**

Investigación experimental

##### - **Diseño de Investigación**

Esta investigación es un diseño de investigación experimental en el cual se describe las siguientes fases de trabajo.

#### *4.1.1. Etapa de desarrollo de la investigación*

##### **Periodo de ejecución**

Ejecutar pila de compostaje y biodigestor en el parque Reducto N°5 en el distrito de Surquillo, con resultados a los 2.5 meses desde el inicio de ejecución.

##### **Alcance del proyecto**

Residuos orgánicos de mercados aledañas al Parque Reducto N°5 del distrito de Surquillo.

##### **Recursos**

Se requirió de los siguientes materiales y herramientas para el desarrollo de las etapas del proyecto.

##### **Materiales y herramientas**

Materiales y herramientas para acondicionamiento del terreno

- Pala
- Pico de acero
- Rastrillo
- Bolsas negras
- Guantes Multiflex

Materiales y herramientas para la implementación y elaboración de biodigestor

- Tanque Rotoplas 1100L
- Adaptador con contratuerca de 1 ¼ pulgadas
- Adaptador con contratuerca de 1 pulgadas
- Adaptador de 2 pulgadas
- Válvula de boca de 2 pulgadas

- Válvula de boca de 1 pulgada
- Rodajes de 2 pulgadas
- Reductores de 1 ¼ pulgada
- Codos de PVC de ½ pulgada
- TEE de PVC de ½ pulgada
- Crucete de PVC de ½ pulgada
- Tubo de PVC para agua de ½ pulgada
- Pegamento de PVC
- Teflón
- Llave de cobre de ½ pulgada
- Tubo de cobre de ½ pulgada
- Tubo de PVC de ¾ pulgada
- Kit de herramientas de sierra
- Cinta de embalaje
- Tubo de 3 metros de ½ pulgadas
- Navaja

Materiales para la implementación y elaboración de Compostaje

- Tamizador

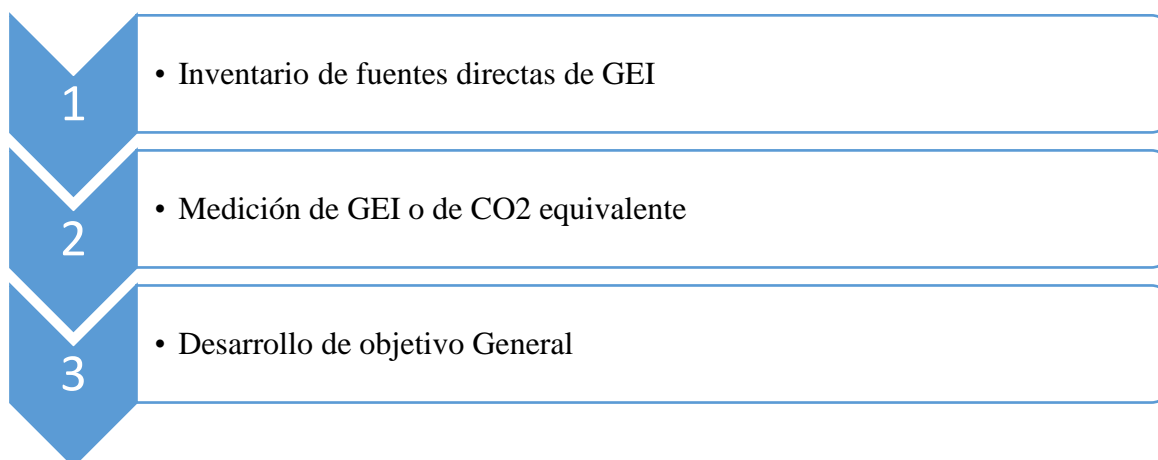
### **Procedimiento Metodológico**

Para la presente investigación se utilizó la calculadora de huella de carbono que es herramienta disponible en la plataforma de HC-Perú del Ministerio del Ambiente. Esta es una metodología simplificada que nos ha permitido calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que liberan por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos producidos en el distrito de Surquillo.



## Figura 2

### Procedimiento para desarrollo de Resultados



#### **Etapa inicial: Selección del área de investigación**

##### **a) Autorización para el desarrollo del proyecto**

Se solicitó un permiso a través de una carta dirigido a la Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental, solicitando el permiso a la Municipalidad de Surquillo para poder desarrollar el proyecto dentro de sus instalaciones.

Para la evaluación del área de estudio, se consideró los siguientes puntos:

- Datos generales de las tesis.
- Descripción del proyecto
- Beneficios que representa realizar este proyecto.

De lo cual, se dio una carta de respuesta por parte de la municipalidad el 10 de julio del presente año, autorizando el desarrollo del proyecto en el Parque Reducto N°5, Surquillo.

##### **b) Reconocimiento del terreno**

Se realizó la identificación y recorrido al centro de compostaje en el Parque Reducto N°5 en el distrito de Surquillo, para definir el área óptima para implementar el biodigestor y compostaje.

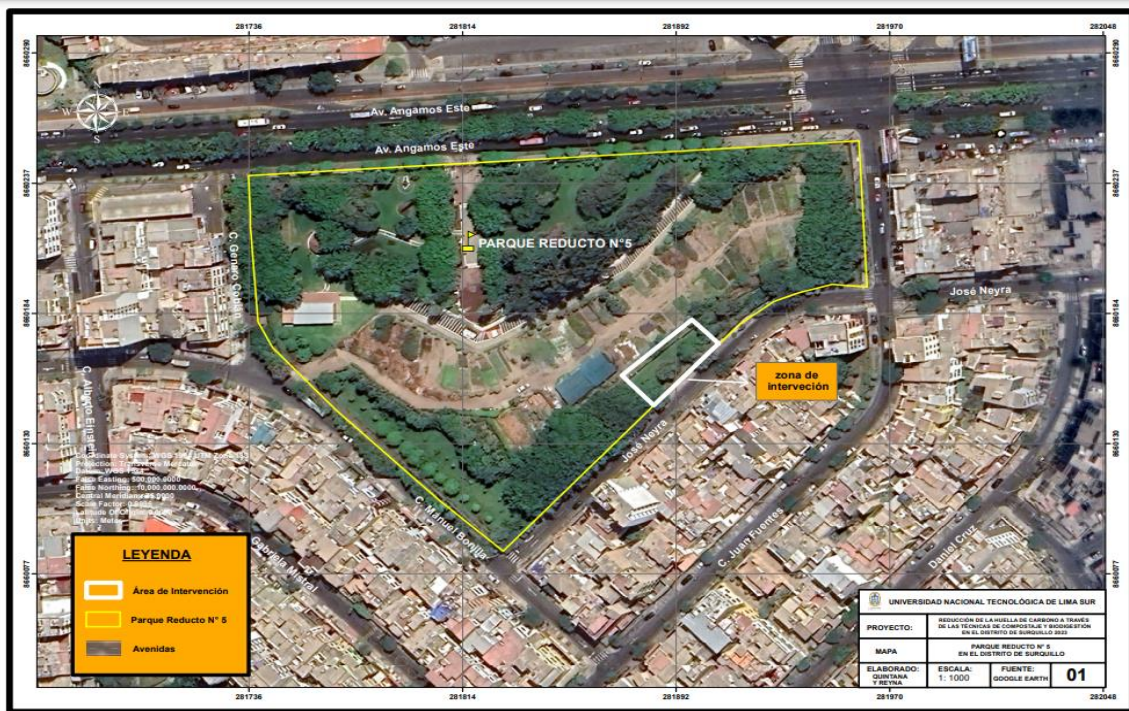
Para ello, se consideró:

- Área de fácil acceso a puntos de agua.
- Área con espacio suficiente para el biodigestor y compostaje.

Luego de realizado la visita se eligió un área de 300 m<sup>2</sup> para el desarrollo del proyecto.

**Figura 3**

*Localización del área para la implementación del compostaje y biodigestor*



*Nota.* Se elaboró en el software ArcGis(2023)

## **Etapas media: Limpieza y Ejecución**

### **c) Limpieza del terreno**

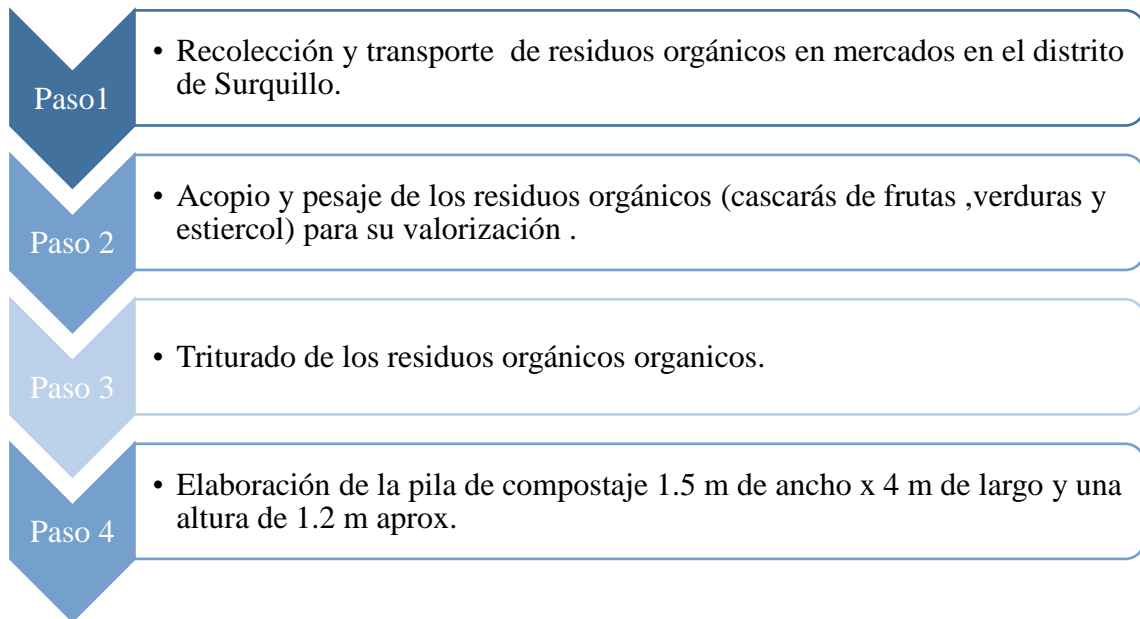
Para esta actividad se utilizó una bobcat (maquinaria pesada) de la municipalidad, para remover y nivelar el suelo donde se instalaron las pilas de compostaje y el biodigestor.

Para el nivelado del terreno se utilizó una pala, un pico y un rastrillo para acondicionar el área donde se van a instalar las pilas de compostaje y biodigestor.

### **d) Ejecución de las pilas de compostaje**

## Figura 4

### *Pasos para la ejecución de la elaboración de pilas de compostaje*



Se inició con el pesado, recolección y transporte de los residuos orgánicos en los 3 mercados empadronados por la Municipalidad de Surquillo, esto es realizado por la Gerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental.

## Figura 5

### *Instalación de los recipientes (tachos) en los mercados empadronados para la recolección de los residuos orgánicos*



*Nota.* Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental (2023)



## **Figura 6**

*Recolección y Transporte de los residuos orgánicos a la planta de tratamiento en el parque Reducto N°5*



*Nota.* Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental (2023)

Luego se realizó el acopio de los residuos orgánicos (cascarás de frutas y verduras). Finalmente, se realizó la elaboración de la pila con residuos secos para la deposición de los residuos orgánicos recolectados. Se diseñó cada pila de compostaje con una medida aproximada de 1.5 m de ancho x 8 m de largo y 0.8 m de altura.

## **Figura 7**

*Pila de compostaje*



### e) Monitoreo de parámetros del compostaje

Se ha monitoreado la temperatura, % de humedad y pH para llevar un control adecuado de las pilas, y así evitar problemas que dificultan la continuidad del proceso de degradación de los residuos sólidos orgánicos.

A continuación, se muestran las siguientes tablas de monitoreo cada 3 a 4 días en los primeros dos meses y luego una vez a la semana cumpliendo los 2 meses y medio a 3 meses.

**Tabla 2**

*Resultados del monitoreo de parámetros para adecuado proceso de descomposición de los residuos orgánicos - Temperatura promedio (°C)*

MONITOREO DE PARÁMETROS -COMPOSTAJE												
N° DE PILA	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)											
	16/08	19/08	23/08	26/08	01/09	07/09	13/09	22/09	28/09	06/10	13/10	21/10
PILA 1	23.13	27.5	45.9	50.5	60.7	49.8	39.3	39.2	25.2	19.9	19.5	19.3
PILA 2	-	21.9	42.9	49.7	61.9	55.1	47.7	42.1	31.9	32.0	25.9	21.4
PILA 3	-	-	20.8	27.8	46.0	60.0	55.3	47.4	42.6	40.5	38.9	35.4
PILA 4	-	-	-	20.0	30.7	60.9	58.6	51.0	42.9	42.2	39.8	35.2

**Tabla 3**

*Resultados del monitoreo de parámetros -Humedad promedio (%)*

MONITOREO DE PARÁMETROS -COMPOSTAJE												
N° DE PILA	HUMEDAD PROMEDIO (%)											
	16/08	19/08	23/08	26/08	01/09	07/09	13/09	22/09	28/09	06/10	13/10	21/10
PILA 1	60	58	58	56	50	54	52	50	60	85	72	69
PILA 2	-	70	70	66	60	61	59	56	53	72	70	65
PILA 3	-	-	82	80	74	71	67	58	58	61	62	68
PILA 4	-	-	-	81	69	64	55	51	49	60	61	65

**Tabla 4**

*Resultados del monitoreo de parámetros - pH promedio*



MONITOREO DE PARÁMETROS -COMPOSTAJE	
N° DE PILA	PH PROMEDIO
	06/10
PILA 1	7.10
PILA 2	7.71
PILA 3	7.95
PILA 4	8.0

**f) Implementación y ejecución del biodigestor**

Se realizó el armado del biodigestor con las conexiones para la salida del biol y biogás.

**Tabla 5**

*Partes del Biodigestor*

N°	Detalle	Fotografías
1	Agitador	
2	Salida de biogás	



3 Salida del biol



4 Salida de Biomasa



Verificamos que el biodigestor se encuentre herméticamente cerrado.

Se realizó el sellado de las conexiones con el pegamento PVC y Tris para una mayor seguridad.

### Figura 8

*Sellando con pegamento las conexiones*





Se revisó las conexiones y el pegado de los tubos para evitar algún problema de fuga, ya que el tanque debe estar herméticamente cerrado.

**Figura 9**

*Revisión de las conexiones del biodigestor*



Se colocó el sistema en el área asignada para realizar la biodigestión.

Para ello, se colocó una parihuela y tecnopor de medidas de 2 m x 2 m cada una, en la base para una mayor estabilidad y firmeza del biodigestor.

**Figura 10**

*Área para el biodigestor*





Para la ejecución de la biodigestión de muestra para el proyecto, se realizó la recolección de 4 sacos de estiércol de caballo de 15 kg cada uno de la caballeriza “4 Bocas”, en el distrito de Pachacamac.

Luego se trasladó los sacos de estiércol al parque Reducto N°5 en Surquillo para recibir el tratamiento correspondiente.

### **Figura 11**

*Recolección de estiércol de caballo en sacos de 20 kg para el biodigestor*



En el área del biodigestor para la muestra, se separó 25.5 kg de orgánicos de los mercados recogidos con el objetivo de ser mezclados con el estiércol de 51 kg y humedecidos con 230 L de agua.

### **Figura 12**

*Residuos orgánicos separados para el tratamiento de la biodigestión*





Se realizó el mezclado de los insumos realizando los cálculos de biodigestor de la FAO (2011), para hallar la relación carbono/nitrógeno y porcentaje de humedad.

**Figura 13**

*Mezcla de los residuos orgánicos con el estiércol para el tratamiento de la biodigestión*



**Figura 14**

*Mezcla de los insumos con el agua, debidamente calculado para el tratamiento de la biodigestión*



Finalmente, se ingresó la mezcla al interior del biodigestor para que se realice el proceso de biodigestión.

### Figura 15

*Ingreso de la mezcla dentro del biodigestor para el proceso de tratamiento*



### Cálculos para el Proceso de Biodigestión

Relación carbono /nitrógeno

Según la Fao (2011), en la relación C/N del estiércol la proporción óptima para carbono y nitrógeno es de 30/1, por tanto, es necesario que la cantidad de carbono que ingresará al biodigestor sea mayor al del nitrógeno; para ello tenemos la siguiente ecuación para obtener las proporciones:

$$K = \frac{C1xQ1 + \dots CNxQN}{N1xQ2 + \dots CNxQN}$$

- La relación de nitrógeno

Para la cantidad de nitrógeno que se ingresó al biodigestor, se requirió un porcentaje del 12% , que traducido en gramos es 12gr.nitrogeno / 100gr. Biomasa.

- La relación de fósforo

Para la cantidad de fósforo que se ingresó al biodigestor, se requirió de 1/7 - 1/5 de la demanda de nitrógeno, que traducido en gramos es la 1/7 – 1/5 de nitrogeno.

- pH

El pH estandar de la biodigestión debe de estar dentro del rango de 6.0 a 8.0, este rango es un valor determinante para la producción del biogas.

- Sólidos Totales

Los sólidos totales a ingresar al biodigestor de tipo discontinuo es de 40 a 60 % respecto a las dimensiones del biodigestor.

- Agitación

Se requirió un agitador mecánico con la finalidad de distribuir la materia(mezcla) dentro del biodigestor para aumentar la temperatura para el mayor contacto con las bacterias y evitar la nata en la parte superficial de la mezcla que impida la salida del biogas.

- Medición del biogas

Para medir el volumen de gas metano en el biodigestor, se realizará mediante el desplazamiento de líquido, conocido como botella de Mariotte. El cual toma una muestra de 100 ml de biogás en la jeringa de 100 ml e introducirlo al sistema, el cual consiste en un recipiente , una probeta de 100 ml , con la solución de hidróxido de sodio en un rango de 15 – 20 g/L pintada con la fenolftaleína como revelador de saturación.

Mientras el biogás sea conducido a través de esta solución alcalina de alto pH, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) contenido reacciona convirtiéndose en carbonato, quedando absorbido en el líquido y cediendo el paso únicamente al gas metano (CH<sub>4</sub>) por la solución, este desplaza un volumen de solución igual a este fuera del recipiente. Esto resulta en la fracción o proporción de metano (CH<sub>4</sub>) que encierra el biogás(Luna,2018).

### **g) Monitoreo de parámetros en la biodigestión**

Para lo cual se evaluó los siguientes parámetros:

- Temperatura (°C): Este parámetro es fundamental, ya que influyen en el crecimiento microbiano.
- pH: Este parámetro es relevante, ya que genera condiciones óptimas para el crecimiento de las bacterias. Para la biodigestión el pH debe encontrarse en el rango de 6.8 a 7.6.



**Tabla 6**

*Resultados del monitoreo de parámetros -Temperatura (°C) y pH*

<b>MONITOREO DE PARÁMETROS -BIODIGESTOR</b>		
<b>FECHA</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>PH</b>
<b>06/10</b>	35.1	6.99

**Etapas finales: Evaluación de la huella de carbono**

**h) Selección del Año Base**

El año 2023 se contó como año base con datos válidos e identificativos para el progreso del estudio en el parque reducto N°5.

**i) Límites operacionales**

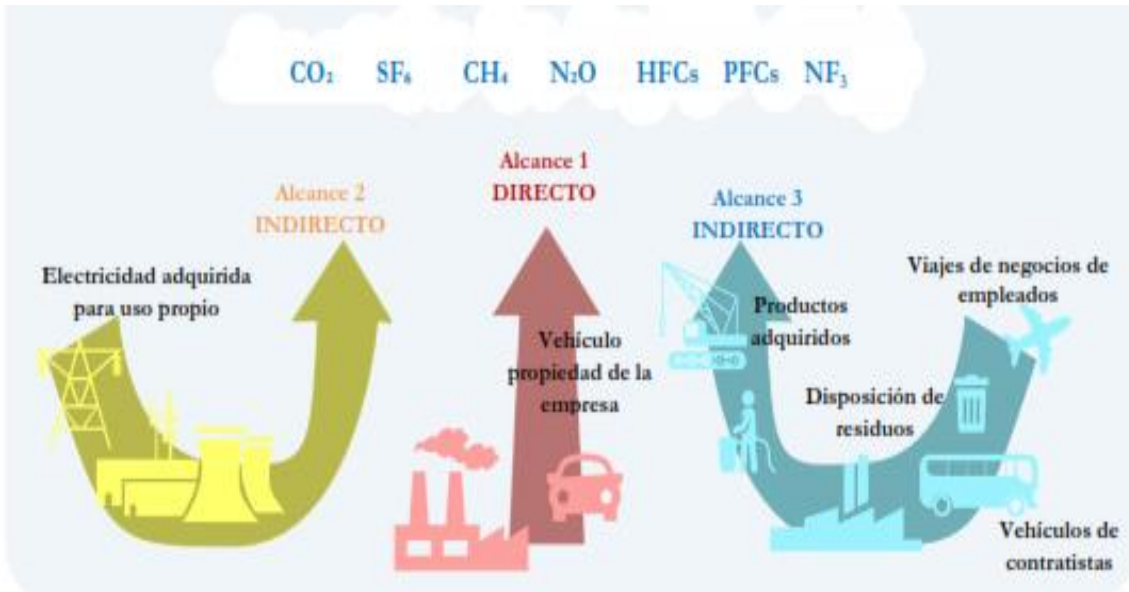
Según el MINAM (2020), de acuerdo con el tipo de actividad del trabajo, se seleccionó el Alcance 1 y Alcance 3 para obtener los cálculos de emisión de GEI:

- Alcance 1: Emisiones directas, son fuentes que se encuentran controladas por la empresa, ejemplo de ello emisiones provenientes de quema de combustible.
- Alcance 3: Emisiones indirectas, emisiones resultado de las actividades, ejemplo de ello consumo de agua, transporte casa trabajo, transporte de insumos, generación de RRSS.

Se detalla los alcances 1,2 y 3 en el gráfico de la **Figura 16** empleados en la calculadora de HC-Perú. Además, se detalla en la **Tabla 7**, los ítems de cada tipo de fuente de los alcances.

**Figura 16**

*Determinación de límites operacionales-alcances de la calculadora HC-Perú*



*Nota.* Guía técnica de Huella de Carbono Perú (2020)

**Tabla 7**

*Alcance de las fuentes empleadas en la calculadora HC-Perú*

Nombre	Código	Descripción	Nivel de actividad
<b>Alcance 1 emisiones directas</b>			
<b>Transporte propio</b>	A1_3	Emisiones GEI por quema de combustible	Consumo de combustible
<b>Alcance 3- emisiones indirectas</b>			
<b>Transporte casa-trabajo</b>	A3_1	Emisiones GEI generadas por combustión vehicular local	Distancias recorridas por tipo de transporte
<b>Consumo de agua</b>	A3_5	Emisiones GEI por m <sup>3</sup> de agua	Consumo mensual
<b>Transporte de insumos</b>	A3_6	Emisiones GEI por distancias recorridas	Distancias recorridas

<b>Generación de residuos</b>	<b>de</b>	A3_7	Emisiones de metano, que se generan por descomposición de residuos	Cantidad y tipo de residuos
-------------------------------	-----------	------	--	-----------------------------

**Cálculo de emisiones Alcance 1**

- Transporte Propio

Paso 1. Cálculo del consumo de energía: Se estima el consumo de combustible.

$$\text{Consumo } TJ_{\alpha} = \Sigma(\text{Consumo de combustible} \times VCN_{\alpha})$$

Donde:

*Consumo  $TJ_{\alpha}$ : Consumo en Tj al año por tipo de transporte*

*Consumo de combustible $_{\alpha}$ : Consumo consumido en cada transporte por tipo*

*VCN $_{\alpha}$ : valor calórico ipo de combustible*

Paso 2. Cálculo de emisiones de CO2: Se estima las emisiones de CO2 por el tipo de combustible quemado.

$$\text{Emisiones GEI } CO_{2\alpha} = (\text{Consumo de } TJ_{\alpha} \times FE_{\alpha})$$

Donde:

*Emisiones GEI  $CO_{2\alpha}$ : emisiones de  $CO_2$  por tipo de combustible ( $\alpha$ ) en  $tCO_2$ /año*

*Consumo  $TJ_{\alpha}$ : Consumo en Tj por tipo de combustible ( $\alpha$ )*

*FE $_{\alpha}$ : Factor de emisión de  $CO_2$  por tipo de combustible*

Paso 3. Cálculo de emisiones de CH4: Estima las emisiones de CH4 por el tipo de combustible.

$$\text{Emisiones GEI } CH_{4\alpha} = (\text{Consumo de } TJ_{\alpha} \times FE_{\alpha})$$

Donde:

*Emisiones GEI  $CH_{4\alpha}$ : emisiones de  $CH_4$  por tipo de combustible ( $\alpha$ ) en  $tCH_4$ /año*

*Consumo  $TJ_{\alpha}$ : Consumo en Tj por tipo de combustible ( $\alpha$ )*



$FE_{\alpha}$ : Factor de emisión de  $CH_4$  por tipo de combustible

Paso 4. Cálculo de emisiones de  $N_2O$ : Consiste en estimar  $N_2O$  por el tipo de combustible quemado.

$$\text{Emisiones GEI } N_2O_{\alpha} = (\text{Consumo de } TJ_{\alpha} \times FE_{\alpha})$$

Donde:

$\text{Emisiones GEI } N_2O_{\alpha}$ : emisiones de  $N_2O$  por tipo de combustible  
( $\alpha$ ) en  $tN_2O/año$

$\text{Consumo } TJ_{\alpha}$ : Consumo en TJ por tipo de combustible ( $\alpha$ )

$FE_{\alpha}$ : Factor de emisión de  $N_2O$  por tipo de combustible

Paso 5: Cálculo del total de emisiones directas de GEI: Consiste en estimar el total de emisiones GEI por combustible quemado.

$$\begin{aligned} \text{Emisiones GEI}_{\alpha} \\ = \sum (\text{Emisiones GEI } CO_{2\alpha} + \text{Emisiones GEI } CH_{4\alpha} \times GWP_{CH_4} \\ + \text{Emisiones GEI } N_2O_{\alpha} \times GWP_{N_2O}) \end{aligned}$$

Donde:

$\text{Emisiones GEI}$  : Emisiones GEI por tipo de combustible ( $\alpha$ ) en  $t CO_2e$

$GWP_{CH_4, N_2O}$ : Potencial de calentamiento global tipo de gas

### **Cálculo de emisiones. Alcance 3**

- Transporte casa-trabajo de los colaboradores

Paso 1. Determinar modo de transporte y distancia recorrida.

Tipo de transporte utilizado

- Transporte público-cúster
- Transporte público- combi
- Bus
- Transporte público metropolitano
- Taxi
- Motocicleta-moto taxi (propia)
- Auto Propio DB5, etc.

Distancia total recorrida en el año (casa-trabajo): Expresada en kilómetros (Km) por persona y determinada por el número de viajes.

Paso 2: Cálculo del total de emisiones indirectas de GEI: Consiste en estimar total de emisiones indirectas de GEI.

$$Emisiones\ GEI = \sum_p \sum_i (Distancia_{p,i} \times FE_i) \times 10^{-3}$$

Donde:

*Distancia<sub>p,i</sub>*: Es la distancia por persona y modo de transporte.  
Se debe expresar en kilómetros por persona al año

*FE<sub>i</sub>*: Factor de emisión de GEI, por tipo de transporte, expresado en  
 $\frac{kgCO_2e}{km * persona}$

- Consumo de agua potable

Paso 1. Cálculo del total de emisiones de GEI

$$Emisiones\ GEI = Consumo\ Agua\ Potable \times FE_i \times 10^{-3}$$

Donde:

*Consumo de agua*: Consumo de agua potable, expresado en m<sup>3</sup>/año

*FE*: Factor de emisión para consumo de agua, se expresa en kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>

- Transporte de material e insumos

Paso 1. Cálculo del total de emisiones indirectas de GEI

$$Emisiones\ GEI = (\sum peso_i \times distancia_i) \times FE$$

Donde:

*Peso<sub>i</sub>*: Peso transportado por viaje i. Se expresa en t

*Distancia*: distancia recorrida, por el viaje i. Se expresa en km.

*FE*: factor de emisión, según el tipo transporte usado.

Se expresa en  $\frac{kgCO_{2e}}{Km * t}$

- Generación de residuos

Paso 1: Cálculo de residuos degradables

$$RRSS_{deg} = \sum \text{Residuos} * DOC_i$$

Donde:

*Residuos<sub>i</sub>: Cantidad residuos, por tipo i. Se expresa en t/año*

*DOC<sub>i</sub>: Cantidad de carbono orgánico degradable por tipo de desecho i*

## 4.2. Implementación de la investigación

### 4.2.1. Pruebas realizadas

Para la medición de los parámetros en los tratamientos, se utilizó los siguientes equipos:

- Higrómetro calibrado, para la medición de la temperatura (°C) y Humedad (%)
- Potenciómetro, para la medición del pH.

**Figura 17**

*Higrómetro debidamente calibrado para la medición de temperatura y humedad*



**Figura 18**

*Potenciómetro debidamente calibrado para la medición del pH*



**Para el tratamiento de compostaje**

Se midió los parámetros de humedad y temperatura con el higrómetro calibrado, con monitoreo de dos veces a la semana durante las 3 semanas primeras en el mes de formada las pilas. Luego la frecuencia cambió a una vez por semana, pasada la etapa termófila.

**Figura 19**

*Medición de la temperatura y humedad en las pilas de compostaje*



Para la medición del pH, se esperó a que las pilas de compostaje cumplieran aproximadamente los dos meses, esto pasando las etapas de mesófila y termófila.

## Figura 20

*Medición de pH en las pilas de compostaje con el potenciómetro*



### **Para el tratamiento de la biodigestión**

Se midió parámetros temperatura con el higrómetro, Potenciómetro calibrados y PH esto se realizó cuando el biodigestor cumplió aproximadamente los dos meses.

## **4.3. Población y muestra**

### ***Población***

En el estudio de investigación incluye 3 mercados empadronados que son: San Felipe, La calera y Angamos, donde los residuos orgánicos son recogidos y tratados en el parque Reducto N°5 en el distrito de Surquillo 2023.

### ***Muestra***

La unidad de muestra y análisis de este trabajo es de 2550.26 kg de residuos orgánicos valorizados en un día, utilizados en los dos tratamientos con la finalidad de calcular la huella de carbono y comparar la eficiencia.

## **4.4. Técnicas de recolección de datos**

### ***4.4.1. Técnicas***

Se empleará la técnica de observación a través de registros de recopilación de datos y registros de datos estadísticos de la generación de residuos municipales tomando como



referencia el Plan de Manejo de Residuos Sólidos del 2022 y utilizando la Calculadora de Huella de Carbono -HC PERÚ, que se encuentra en formato Excel.

#### **4.5. Instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos se realizó un trabajo en conjunto tanto con la selección de datos en campo para los parámetros en los tratamientos como la medición de temperatura, pH, % de humedad y recopilación de información documentaria para el llenado del formato Excel de la huella de carbono del MINAM.

##### **4.5.1. Validez**

Para la validez de instrumentos de recolección de los datos, se tomaron de referencia los antecedentes de este trabajo de investigación, en los cuales se realizaron los monitoreos de los parámetros de temperatura, % de humedad y pH, el cálculo del volumen del gas como resultado de la descomposición de los residuos orgánicos dentro del biodigestor e identificación de las fuentes directas e indirectas para el llenado del inventario de la Huella de carbono en la plataforma HC-Perú.

##### **4.5.2. Confiabilidad**

Para el presente trabajo, la medición de los parámetros se realizó con el higrómetro calibrado de certificación LTH-477-2023 según el PC-026:2019 “Procedimiento para la calibración de Higrómetros y Termómetros ambientales”, aprobado por el INACAL y el potenciómetro calibrado según el PC-020 “Procedimiento para la calibración de Medidores de pH” aprobado por el INACAL.

Para el desarrollo del inventario y obtención de resultados, se utilizó la calculadora de HC-Perú, la cual esta certificada por el Ministerio del Ambiente; asimismo para la recopilación de datos de Surquillo, se revisó documentaciones y reportes municipales a cargo de la Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental.

#### **4.6. Resultados**

##### **4.6.1. Resultados de las Emisiones GEI en el tratamiento tradicional**

###### **4.6.2.1. Fuentes de Alcance I**

Los Residuos Sólidos del Distrito de surquillo registran los siguientes valores:

La siguiente tabla detalla valores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance I como: *A1\_3 transporte Propio*.

**Tabla 8**

*Emisión de GEI del consumo de combustible en el transporte propio*

Tipo de transporte	Tipo de Combustible	unidad	Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (t CH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	Total de emisiones GEI (tCO <sub>2</sub> e)
<b>Todo Terreno</b>	Gasolina	gal	55.07	0.0955	0.00163	58.35

#### 4.6.2.2. Fuentes de Alcance III

La siguiente tabla detalla valores de Co<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_1 Transporte casa- trabajo*.

**Tabla 9**

*Emisión de GEI del transporte casa-trabajo*

Tipo de transporte	Cantida de personas	Distancia recorrida (km/año)	Emisiones GEI			Total de emisiones GEI (tCO <sub>2</sub> e)
			Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (t CH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	
<b>Transporte público</b>	21	72274.03	7.24	0.0001	0.0002	7.29

La siguiente tabla detalla valores en kg de residuos sólidos y total de emisiones GEI para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_7 Generación de RRSS*.

**Tabla 10***Emisión de GEI de generación de residuos sólidos en el tratamiento tradicional*

Descripción	Kg	Total bruto anual de metano generado (t CH <sub>4</sub> /año)	Total de emisiones GEI (tCO <sub>2</sub> e/año)
<b>Comida, residuos de comida, tabaco y otros</b>	12407952	163.6261	4581.53

**4.6.2. Emisiones GEI del Compostaje**

El tratamiento de compostaje en el parque Reducto N°5 cuenta con las siguientes fuentes de emisión de GEI en dos de los tres alcances, a continuación, se detalla:

**4.6.2.1. Fuentes de Alcance I**

La siguiente tabla detalla valores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance I como: *A1\_3 transporte Propio*.

**Tabla 11***Emisión de GEI del consumo de combustible en el transporte propio*

Tipo de transporte	Tipo de Combustible	unidad	Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (t CH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	Total de emisiones GEI (tCO <sub>2</sub> e)
<b>Todo Terreno</b>	Gasolina	gal	16.42	0.0284	0.00051	17.40

**4.6.2.2. Fuentes de Alcance III**

La siguiente tabla detalla valores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_1 Transporte casa- trabajo*.



**Tabla 12***Emisión de GEI del transporte casa-trabajo*

Tipo de transporte	Cantidad de personas	Distancia recorrida (km/año)	Emisiones GEI			Total de emisiones GEI (tCO <sub>2</sub> e)
			Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (t CH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	
<b>Transporte público</b>	4	18999.99	1.90	0.00	0.00	1.92

La siguiente tabla detalla valores de consumo en m<sup>3</sup> y emisiones GEI para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_5 Consumo de Agua potable.*

**Tabla 13***Emisión de GEI del consumo de agua potable*

Descripción	Consumo volumen m <sup>3</sup>	Emisiones GEI (t CO <sub>2</sub> e)
<b>Tratamiento compostaje</b>	46.08	0.02

La siguiente tabla detalla valores de emisiones GEI para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_7 Transporte de insumos.*

**Tabla 14***Emisión de GEI del transporte de insumos*

<b>Descripción de carga</b>	<b>Viajes totales (viajes/año)</b>	<b>Tramo de viaje</b>	<b>Peso promedio transportado (Kg/viaje)</b>	<b>Distancia recorrida (Km)</b>	<b>Total de emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e/año)</b>
<b>orgánicos</b>	480	2	505.025	3.32	4.96
<b>malezas</b>	192	2	537.5	181.44	

La siguiente tabla detalla valores en Kg de residuos sólidos y total de emisiones GEI para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_7 Generación de RRSS*.

**Tabla 15***Emisión de GEI de la generación de residuos sólidos en el tratamiento de compostaje*

<b>Descripción</b>	<b>Kg</b>	<b>Total de emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e/año)</b>
<b>Comida, residuos de comida, tabaco y otros</b>	242412	71
<b>Residuos de jardines y parques</b>	103200	

**4.6.3. Emisiones GEI del Biodigestor**

El tratamiento de la biodigestión en el parque Reducto N°5, cuenta con las siguientes fuentes de emisión de GEI, descritas a continuación:

**4.6.3.1. Fuentes de Alcance I**

La siguiente tabla indican los valores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> para la actividad identificado en la fuente de emisión de Alcance I como: *A1\_1 Generación Electricidad*.

**Tabla 16***Emisión de GEI en la generación de Electricidad por el biodigestor*

Tipo de combustible	Unidad	Emisiones GEI			
		Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (t CH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	Total de Emisiones GEI (t CO <sub>2</sub> e)
Gas natural	m <sup>3</sup>	8.2	0.0002	0.00	8.93

La siguiente tabla indican valores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance I como: *A1\_3 transporte Propio*.

**Tabla 17***Emisión de GEI en el consumo de combustible por transporte propio*

Tipo de transporte	Tipo de Combustible	unidad	Emisiones GEI			Total de Emisiones GEI (t CO <sub>2</sub> e)
			Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (t CH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	
Todo Terreno	Gasolina	gal	12.29	0.0213	0.0004	13.02

## 4.6.3.2. Fuentes de Alcance III

La siguiente tabla indica los valores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_1 Transporte casa- trabajo*.

**Tabla 18***Emisión de GEI por el transporte del personal*

Tipo de transporte	Cantidad de personas	Distancia recorrida (km/año)	Emisiones GEI			Total de Emisiones GEI (t CO <sub>2</sub> e)
			Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (t CH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	

<b>Transporte público</b>	4	18999.99	1.90	0.00	0.00	1.92
---------------------------	---	----------	------	------	------	------

La siguiente tabla indica los valores de consumo en m<sup>3</sup>/año y emisiones GEI para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_5 Consumo de Agua potable*.

**Tabla 19**

*Emisión de GEI en el consumo de agua potable*

<b>Descripción</b>	<b>Consumo volumen m<sup>3</sup>/año</b>	<b>Emisiones GEI (t CO<sub>2</sub>e)</b>
<b>Tratamiento Biodigestión</b>	2186.47	0.75

La siguiente tabla detalla valores de emisiones GEI para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_7 Transporte de insumos*.

**Tabla 20**

*Emisión de GEI en el transporte de insumos*

<b>Descripción de carga</b>	<b>Viajes totales (viajes/año)</b>	<b>Tramo de viaje</b>	<b>Peso promedio transportado (Kg/viaje)</b>	<b>Distancia recorrida (Km)</b>	<b>Total de emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e)</b>
<b>Orgánicos</b>	480	2	505.025	3.32	4.53
<b>estiércol</b>	480	2	500	71.00	

La siguiente tabla detalla valores en Kg de residuos sólidos y total de emisiones GEI para la actividad identificada en la fuente de emisión de alcance III como: *A3\_7 Generación de RRSS*.

**Tabla 21***Emisión de GEI en la Generación de Residuos Sólidos*

<b>Descripción</b>	<b>Kg</b>	<b>Total de emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e/año)</b>
<b>Comida, residuos de comida, tabaco y otros</b>	727238.40	335.66

**4.6.4. Cuadro resumen de resultados por tratamiento**

La siguiente tabla detalla los valores para el *tratamiento tradicional* de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e) y porcentaje de participación (%) de acuerdo con el tipo de alcance y tipo fuente.

**Tabla 22***Resumen general de las emisiones de GEI en el tratamiento tradicional*

<b>Alcance</b>	<b>Dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>)</b>	<b>Metano (tCH<sub>4</sub>)</b>	<b>Óxido Nitroso (tN<sub>2</sub>O)</b>	<b>Emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>Participación general (%)</b>
<b>Alcance 1</b>				58.36	1.26%
<b>Transporte propio</b>	55.07	0.0954	0.0016	58.35	1.26%
<b>Alcance 3</b>				4588.82	98.74%
<b>Transporte casa-trabajo</b>	7.24	0.0001	0.0002	7.29	0.16%
<b>Generación de residuos sólidos</b>		163.6261		4581.53	98.59%
<b>Total Huella de Carbono</b>	62.31	163.72	0.00	4647.18	100%

**Figura 21**

*Inventario de GEI para tratamiento tradicional*



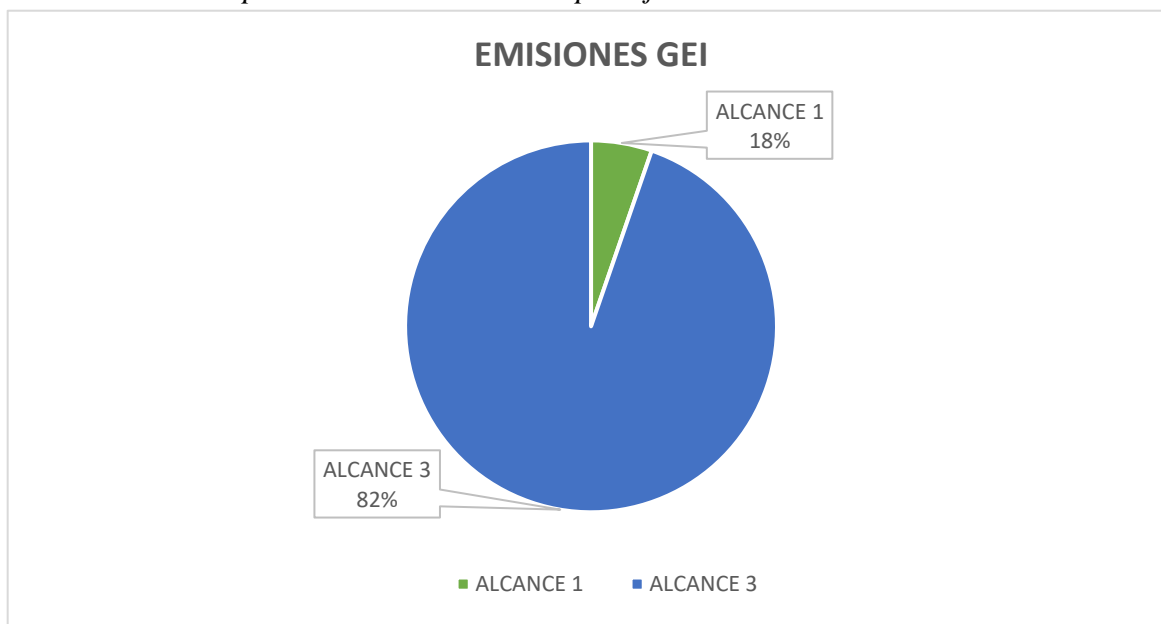
*Nota.* Plataforma de HC-PERÚ (2023)

La siguiente tabla detalla los valores para *Compostaje* de Dióxido de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e) y porcentaje de participación (%) de acuerdo con el tipo de alcance y tipo de fuente de consumo.

**Tabla 23**

*Resumen general de las emisiones de GEI en el compostaje*

Alcance	Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (tCH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	Emisiones GEI (tCO <sub>2</sub> e)	Participación general (%)
<b>Alcance 1</b>				17.40	18.26%
<b>Transporte propio</b>	16.42	0.0284	0.00051	17.40	18.26%
<b>Alcance 3</b>				77.89	81.74%
<b>Transporte casa-trabajo</b>	1.90	0.00	0.00	1.92	2.01%
<b>Consumo de agua potable</b>				0.02	0.02%
<b>Transporte de insumos</b>				4.96	5.20%
<b>Generación de residuos sólidos</b>		2.536		71	74.51%
<b>Total Huella de Carbono</b>	18.33	2.56	0.00	95.29	100%

**Figura 22***Inventario de GEI para tratamiento con compostaje*

La siguiente tabla detalla los valores para *la biodigestión* de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, emisiones GEI (tCO<sub>2</sub>e) y porcentaje de participación (%) de acuerdo con el tipo de alcance y tipo de fuente de consumo.

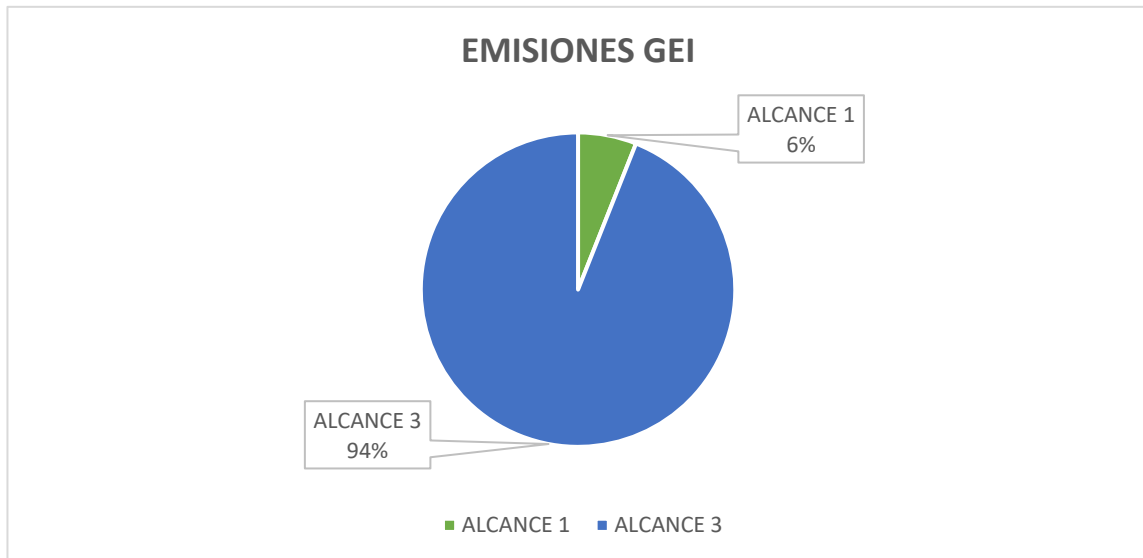
**Tabla 24***Resumen general de las emisiones de GEI en la biodigestión*

Alcance	Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Metano (tCH <sub>4</sub> )	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O)	Emisiones GEI (tCO <sub>2</sub> e)	Participación general (%)
<b>Alcance 1</b>				21.95	6.02%
<b>Generación electricidad</b>	8.92	0.0002	0.00	8.93	2.45%
<b>Transporte propio</b>	12.89	0.0213	0.0004	13.02	3.57%
<b>Alcance 3</b>				342.86	93.98%
<b>Transporte casa-trabajo</b>	1.90	0.00	0.00	1.92	0.53%
<b>Consumo de agua potable</b>				0.75	0.21%
<b>Transporte de insumos</b>				4.53	1.24%
<b>Generación de residuos sólidos</b>		11.9878		335.66	92.01%

<b>Total Huella de Carbono</b>	23.12	12.01	0.00	364.81	100%
--------------------------------	-------	-------	------	--------	------

**Figura 23**

*Inventario de GEI para tratamiento de la biodigestión*



#### 4.6.5. Análisis y comparación de resultados

##### 4.6.5.1. Análisis de Resultados

Como lo describe Luna (2018), un biodigestor es un contenedor herméticamente cerrado que está compuesto por una entrada, donde se introduce los insumos (orgánicos, estiércol y agua) y tres salidas, una para la salida del gas generado, la siguiente para salida del biol y la última para la salida de la biomasa.

El biodigestor por encontrarse totalmente hermético impide que los gases de efecto invernadero (GEI) se expandan en la atmósfera.

Por ello, se ha analizado los resultados calculados en la plataforma de Huella de Carbono del MINAN e identificado los tipos y fuentes directas que afectan directamente para llevar a cabo el proceso de la biodigestión, de las que se quedan retenidas al interior del biodigestor.



**Tabla 25**

*Análisis de resultados GEI por el tratamiento de la biodigestión*

ANÁLISIS DE RESULTADOS GEI DEL TRATAMIENTO DE LA BIODIGESTIÓN					
EMISIONES DE GEI	ALCANCE	TIPO	SUBTOTAL DE EMISIONES GEI (tCO <sub>2</sub> e)	SUBTOTAL DE EMISIONES GEI (tCO <sub>2</sub> e)	TOTAL DE EMISIONES GEI (tCO <sub>2</sub> e)
<b>EMISIONES DE GEI AL EXTERIOR (tCO<sub>2</sub>e)</b>	ALCANCE 1	GENERACIÓN ELECTRICIDAD	8.93		
		TRANSPORTE PROPIO	13.02		
	ALCANCE 3	TRANSPORTE CASA-TRABAJO	1.92		28.4
		TRANSPORTE DE INSUMOS	4.53		
					364.81
<b>EMISIONES DE GEI RETENIDOS EN EL BIODIGESTOR (tCO<sub>2</sub>e)</b>	ALCANCE 3	CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA RED PÚBLICA (EN M <sup>3</sup> )	0.75		
		GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	335.66		
					336.41

**4.6.5.2. Comparación de Resultados**

Para la comparación de resultados, se ingresaron los datos obtenidos en la plataforma de Huella de carbono del MINAM de los tres tratamientos.

**Tabla 26**

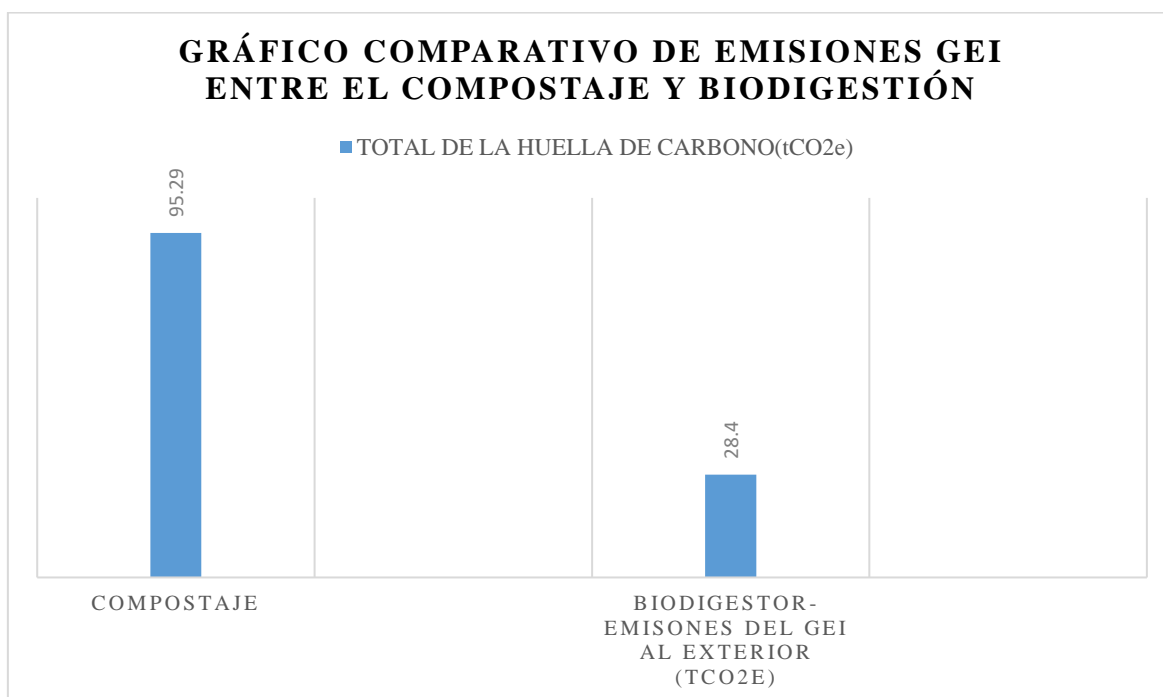
*Cuadro comparativo de resultados de los tratamientos*

CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS			
TRATAMIENTOS	ALCANCE	SUBTOTAL DE LA HUELLA DE CARBONO (tCO <sub>2</sub> e)	TOTAL DE LA HUELLA DE CARBONO (tCO <sub>2</sub> e)
<b>TRADICIONAL</b>	ALCANCE 1	58.36	
	ALCANCE 3	4,588.82	4647.18

<b>COMPOSTAJE</b>	ALCANCE 1	17.4	95.29
	ALCANCE 3	77.89	
<b>BIODIGESTOR- EMISIONES DEL GEI AL EXTERIOR (tCO<sub>2</sub>e)</b>	ALCANCE 1	21.95	28.4
	ALCANCE 3	6.45	

**Figura 24**

*Gráfico comparativo de resultados de los tratamientos de compostaje y biodigestión*



**Tabla 27**

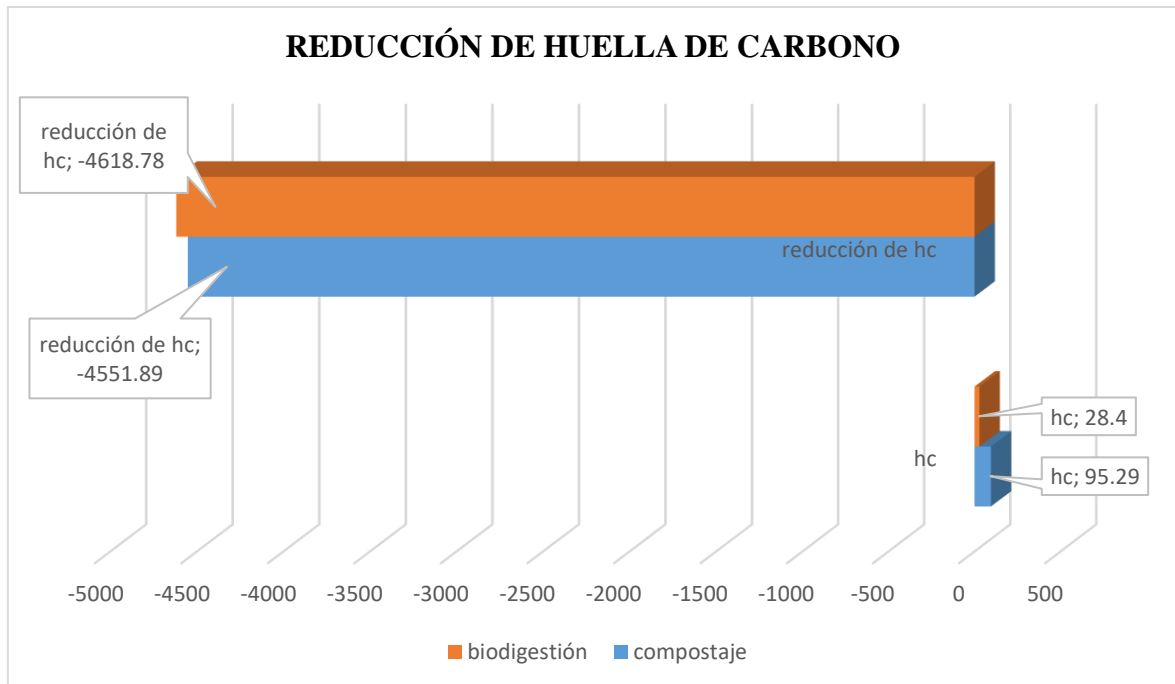
*Cuadro comparativo de la reducción de Huella de Carbono de los tratamientos frente al tratamiento tradicional*

TÉCNICA	COMPOSTAJE	BIODIGESTIÓN
<b>HUELLA DE CARBONO (TCO<sub>2</sub>E)</b>	95.29	28.4
<b>REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO (TCO<sub>2</sub>e)</b>	4551.89	4618.78

En la siguiente figura se muestra la comparación en la reducción de la huella de carbono de los dos tratamientos alternativos frente al tradicional.

**Figura 25**

*Gráfico comparativo de ambas técnicas frente al tratamiento tradicional*



Según los resultados obtenidos, se pudo evidenciar que la reducción de los gases de efecto invernadero generados por los residuos sólidos orgánicos fue de 4647.18tCO<sub>2</sub>e a 95.29 tCO<sub>2</sub>e mediante la técnica de compostaje mientras que con el tratamiento de la biodigestión se logró reducir de 4647.18 tCO<sub>2</sub>e a 28.4 tCO<sub>2</sub>e; pudiéndose evidenciar que el tratamiento de la biodigestión logra una mayor reducción de la huella de carbono.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Teniendo presente el objetivo general en el presente trabajo, se ha determinado la emisión de la huella de carbono del tratamiento tradicional o inicial, donde se identificaron 3 fuentes de generación con los siguientes porcentajes de participación: A1\_3 transporte propio 1.26%, A3\_1 transporte casa trabajo 0.16% y A3\_7 generación de residuos sólidos 98.59%, obteniendo 4647.18 TCO<sub>2</sub>e emitidos al ambiente.

Para la ejecución del primer objetivo específico, se empleó la técnica de compostaje para el manejo de residuos sólidos orgánicos en el parque Reducto N°5, tomando una muestra representativa de los residuos orgánicos recopilados en 3 mercados de surquillo durante 2 semanas.

En este tratamiento se identificó 5 fuentes de emisión con los siguientes porcentajes de participación en emisiones GEI: A1\_3 transporte propio 18.26%, A3\_1 transporte casa trabajo 2.01%, A3\_5 consumo de agua potable 0.02%, A3\_6 transporte de insumos 5.20% y A3\_7 generación de residuos sólidos 74.51%, obteniendo el 95.29 tCO<sub>2</sub>e emitidos al ambiente.

Considerando el segundo objetivo específico, se aplicó la técnica de la biodigestión para el manejo de residuos sólidos orgánicos tratados en el parque Reducto N°5, tomando una muestra representativa de los residuos orgánicos recolectados en 3 mercados de surquillo durante 2 semanas.

En este tratamiento se identificó 6 fuentes de emisión con los siguientes porcentajes de participación en emisiones GEI: A1\_1 generación de electricidad 2.45%, A1\_3 transporte propio 3.57%, A3\_1 transporte casa trabajo 0.53%, A3\_5 consumo de agua potable 0.21%, A3\_6 transporte de insumos 1.24% y A3\_7 generación de residuos sólidos 92.01%, obteniendo 364.81 TCO<sub>2</sub>e emitidos al ambiente. Como indica Luna (2018), un biodigestor al ser un contenedor herméticamente cerrado impide la salida de gases de efecto invernadero y así evita que esta se expanda a la atmosfera, por ello, se realizó una diferencia con los gases no emitidos al ambiente, obteniendo como resultado 28.4 tCO<sub>2</sub>e.

De acuerdo con el tercer objetivo específico, se comparó los resultados obtenidos en las emisiones de GEI en el tratamiento tradicional de 4647.18 t CO<sub>2</sub>e, el tratamiento de compostaje de 95.29 tCO<sub>2</sub>e y el tratamiento de biodigestión de 28.4 tCO<sub>2</sub>e.

Respecto a la reducción en base al tratamiento tradicional, el compostaje reduce al 4551.89 tCO<sub>2</sub>e y la biodigestión al 4618.78 tCO<sub>2</sub>e. Siendo el tratamiento favorable la

biodigestión seguido del tratamiento del compostaje, cumpliéndose el antecedente de Montejano (2018).

## VI. CONCLUSIONES

Para el tratamiento tradicional o inicial se obtuvo el 4647.18 tCO<sub>2</sub>e de los cuales se registraron 3 fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero GEI como el A3\_7 generación de residuos sólidos tiene el mayor porcentaje de participación con el 98.59% equivalentes a 4581.53 tCO<sub>2</sub>e, seguido de A1\_3 transporte propio con el 1.26% equivalentes a 58.35 tCO<sub>2</sub>e y por último el A3\_1 transporte casa trabajo 0.16% equivalentes a 7.29 tCO<sub>2</sub>e.

Para el proceso de compostaje se obtuvo el 95.29 tCO<sub>2</sub>e , de los cuales se registraron 5 fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero GEI, dando con el mayor porcentaje de participación a A3\_7 generación de residuos sólidos 74.51% equivalentes a 71 tCO<sub>2</sub>e, seguido del A1\_3 transporte propio con el 18.26% equivalentes a 17.40 tCO<sub>2</sub>e, A3\_6 transporte de insumos con el 5.20% equivalentes a 4.96 tCO<sub>2</sub>e, A3\_1 transporte casa trabajo con el 2.01% equivalentes a 1.92 tCO<sub>2</sub>e y por último el A3\_5 consumo de agua potable con el 0.02% equivalente a 0.02 tCO<sub>2</sub>e.

En el biodigestor se obtuvo el 28.4 tCO<sub>2</sub>e , donde se registraron 6 fuentes de emisión de GEI, donde el mayor porcentaje de participación fue del A3\_7 generación de residuos sólidos con el 92.01% equivalente a 335.66 tCO<sub>2</sub>e, A1\_3 transporte propio con el 3.57% equivalente a 13.02 tCO<sub>2</sub>e, A1\_1 generación de electricidad con el 2.45% equivalente a 8.93 tCO<sub>2</sub>e, A3\_6 transporte de insumos con el 1.24% equivalente a 4.53 tCO<sub>2</sub>e , A3\_1 transporte casa trabajo con el 0.53% equivalente a 1.92 tCO<sub>2</sub>e y por último el A3\_5 consumo de agua potable con el 0.21% equivalente a 0.75 tCO<sub>2</sub>e.

El tratamiento de biodigestión es de mayor eficiencia con una reducción de emisiones de GEI a 28.29 tCO<sub>2</sub>e comparado con la huella de carbono del tratamiento tradicional de 4647.18 tCO<sub>2</sub>e, seguido del compostaje a 95.4 tCO<sub>2</sub>e, esto debido a que el recipiente del biodigestor se encuentra herméticamente cerrado impidiendo la propagación de los gases de efecto invernadero a la atmósfera.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Para emplear la calculadora de huella de carbono del MINAM, se recomienda solicitar información mediante el correo oficial brindado en la página de la plataforma HC-PERÚ para la habilitación del usuario.
- Se recomienda recopilar datos validos desde enero a diciembre cumpliendo con el periodo de un año como línea base para el desarrollo del inventario en la calculadora de la huella de carbono.
- Para la implementación de la técnica de biodigestión se recomienda que los insumos para el tratamiento sean de fácil acceso y traslado al área.
- Para la mínima emisión de gases de efecto invernadero se recomienda implementar rutas de recolección de los residuos sólidos orgánicos en los establecimientos empadronados.
- Para controlar y verificar el correcto proceso de los tratamientos se recomienda realizar contantemente el monitoreo de los parámetros.
- Por último, se recomienda aplicar la técnica de la biodigestión en mayor escala, en caso se cuente con un presupuesto estable, ya que la inversión en la construcción es costosa y depende de la magnitud de residuos sólidos orgánicos que se desea reaprovechar. En el caso del compostaje el costo de inversión es menor.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centanaro Acuña L. (2023) *Plan para la Disminución de la Huella de Carbono Mediante la Adopción de Prácticas Sostenibles para la Empresa Palermo Sociedad Portuaria* [ Tesis de Maestría, Universidad de la Costa].  
[https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/9894/Tesis%20Liliana%20Centanaro\\_v7\\_0502.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/9894/Tesis%20Liliana%20Centanaro_v7_0502.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Saavedra Farfan E. (2020) *Huella de carbono- Emisiones de GEI por un sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.* [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2309-04132020000100121](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2309-04132020000100121)
- Luna Reyes J. I. (2018) *Potencial energético del biogás producido en biodigestores tipo Batch para excretas provenientes de ganado vacuno, camélido y equino de la universidad Científica del Sur* [Tesis de titulación, Universidad Científica del Sur].  
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/701>
- León Alvarez E. D. y López Severino J. K.(2022) *Cálculo de la huella de carbono y formulación de estrategias para la reducción de GEI en la empresa IMAQ PERÚ* [Tesis de titulación , Universidad San Ignacio de Loyola].  
<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/a663493b-449e-4cf1-8399-f0bbdbfe437e>
- Montejano Nares E. (2018) *Comparación de distintos escenarios de tratamiento de residuos urbanos en la ciudad de madrid mediante la metodología de la huella de carbono*[Tesis sin grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/50486/>
- Lemus Muñoz L. X. (2018) *Evaluación de la huella de carbono para el aprovechamiento de residuos orgánicos* [Tesis de titulación, Universidad de la Salle].  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/801/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/801/)
- MINAM (2012). *Glosario de Términos para la Gestión Ambiental Peruana* [Archivo PDF]  
<https://es.slideshare.net/hlarrea/minam-glosario-de-terminos-en-gestin-ambiental>
- FAO (2011). *Manual del Biogas* [Archivo PDF]  
<https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- FAO (2013). *Manual del comptaje y agricultor* [Archivo PDF]  
<https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- Municipalidad de Surquillo (2019) *Estudio de caracterización de Residuos Sólidos 2019*  
[file:///C:/Users/ASUS/Downloads/ECRS-SURQUILLO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/ECRS-SURQUILLO%20(1).pdf)



Municipalidad de Surquillo (2021) Plan de Manejo de Residuos Sólidos 2021-2025  
[file:///C:/Users/ASUS/Downloads/PLAN%20DISTRITAL%20DE%20MANEJO%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20DEL%20DISTRITO%20DE%20SURQUILLO%202021-2025\\_compressed.pdf.pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/PLAN%20DISTRITAL%20DE%20MANEJO%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20DEL%20DISTRITO%20DE%20SURQUILLO%202021-2025_compressed.pdf.pdf)

## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

**Tabla 28**

*Técnicas de compostaje y biodigestión en la reducción de la huella de carbono en el distrito de Surquillo, Lima 2023*

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b> ¿Cómo reducir la huella de carbono en el manejo de residuos sólidos orgánicos en el Distrito de Surquillo?</p> <p><b>Problema Específico 1</b> - ¿Cómo influye el manejo de residuos sólidos orgánicos a través del compostaje en la</p>	<p><b>Objetivo General</b> Comparar la reducción de la huella de carbono generados por los residuos sólidos orgánicos a través de las técnicas de compostaje y biodigestión en el distrito de Surquillo.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> La técnica de biodigestión reduce significativamente la huella de carbono en comparación a la técnica de compostaje en el distrito de Surquillo.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b> <i>Y: Reducción de huella de carbono</i></p>	Huella de carbono (inicio-final)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2 Equivalente</li> <li>• Porcentaje</li> </ul>	<p><b>Tipo investigación</b> Experimental</p> <p><b>Nivel de investigación</b> Aplicativo</p> <p><b>Diseño de investigación</b> Experimental</p> <p><b>Enfoque de investigación</b> Cuantitativo y cualitativo</p> <p><b>Técnica</b> Observación, Registro de recopilación de datos</p> <p><b>Instrumentos</b></p>
	<p><b>Objetivo Específico 1</b> - Determinar la reducción de huella de carbono a través de la técnica de compostaje</p>	<p><b>Hipótesis Específica 1</b> - La técnica de compostaje reduce significativamente la huella de carbono en el distrito de Surquillo.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> <i>X<sub>1</sub>: Técnica de compostaje</i></p> <p><i>X<sub>1</sub>: Técnica de biodigestión</i></p>	Parámetros de medición y gases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Temperatura (°C)</li> <li>• Humedad (%)</li> <li>• GEI</li> </ul>	

<p>generación de la huella de carbono en el distrito de Surquillo?</p> <p><b>Problema Específico 2</b></p> <p>¿Cómo influye el manejo de residuos sólidos orgánicos a través de la biodigestión en la generación de la huella de carbono en el distrito de Surquillo?</p> <p><b>Problema Específico 3</b></p> <p>¿Cuál de las dos técnicas de manejo de residuos sólidos orgánicos es más eficiente en la</p>	<p>en el manejo de residuos sólidos orgánicos en el distrito de Surquillo.</p> <p><b>Objetivo Específico 2</b></p> <p>- Determinar la huella de carbono por la aplicación de la técnica de la Biodigestión en el manejo de residuos sólidos orgánicos en el distrito de Surquillo.</p> <p><b>Objetivo Específico 3</b></p> <p>- Evaluar la eficiencia en la generación de la huella de carbono, mediante las técnicas de compostaje y biodigestión en el manejo de residuos</p>	<p><b>Hipótesis Específica 2</b></p> <p>- La técnica de biodigestión reduce significativamente la huella de carbono en el distrito de Surquillo.</p> <p><b>Hipótesis Específica 3</b></p> <p>La técnica de biodigestión resulta ser más eficiente que la técnica de compostaje en la generación de la Huella de carbono en el manejo de los residuos sólidos orgánicos el distrito de Surquillo.</p>				<p>Experimentación en campo y Registro cálculo</p> <p><b>Población</b></p> <p>mercados (San Felipe, La calera y Angamos)</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>614 kg de residuos orgánicos</p> <p><b>Métodos de Análisis de Datos</b></p> <p>Uso de calculadora HC Perú</p>
---	---	--	--	--	--	---

generación de la huella de carbono en el distrito de Surquillo?	sólidos orgánicos en el distrito de Surquillo.					
---	--	--	--	--	--	--

## Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

**Tabla 29**

*Instrumento de Medición de Datos para compostaje y Biodigestor*

<b>Instrumento de Medición de Datos para compostaje y Biodigestor</b>	
-	Se empleó la técnica de observación a través de registros de recopilación de datos y registros de datos estadísticos de la generación de residuos municipales del año 2023
-	Registro del monitoreo de parámetros en campo mediante la ficha de medición de parámetros, ya que se realizó la implementación de las dos técnicas en el parque Reducto N°5, Surquillo.
-	Análisis del cálculo la reducción de la huella de carbono del desarrollo de las dos técnicas, para lo cual se utilizó la calculadora HC Perú para determinar CO2 equivalente ( tCO <sub>2e</sub> ).

**Figura 26**

*Formato en blanco de la ficha de medición de parámetros del compostaje en campo*

### **FICHA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS (Tº, %H Y PH) DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE**

FECHA:						
Pila	Temperatura promedio		% H promedio		PH	
<b>1</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	
<b>2</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	
<b>3</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	
<b>4</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	
FECHA:						
<b>1</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	
<b>2</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	
<b>3</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	
<b>4</b>	A		A		A	
	B		B		B	
	C		C		C	

**Figura 27**

*Formato en blanco de la ficha de medición de parámetros de la biodigestión en campo*


**FICHA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS (Tº, %H Y PH) DEL BIODIGESTOR**

FECHA	TEMPERATURA	PH	FECHA	TEMPERATURA	PH

Registro de información de las fuentes directas e indirectas en los alcances 1 y 2 de las técnicas y/o tratamientos para el llenado del inventario en la calculadora de huella de carbono de la plataforma HC-PERÚ.

**Figura 28**


*Cuadro resumen del registro de información del tratamiento tradicional en la calculadora de la huella del carbono*

Calculadora Pública de Huella de Carbono Organizacional y el Sistema de Reconocimiento y Compensación									
Resultados									
Alcances	Dioxido de carbono [CO <sub>2</sub> ]	Metano [CH <sub>4</sub> ]	Óxido Nitroso [N <sub>2</sub> O]	Hexafluoruro de azufre [SF <sub>6</sub> ]	Hidrofluorocarbonos [HFC]	Perfluorocarbonos [PFC]	Trifluoruro de nitrógeno [NF <sub>3</sub> ]	CO <sub>2</sub> e	
								Emisiones GEI [CO <sub>2</sub> e]	Participación general [%]
<b>Alcance 1</b>								58.36	1.26%
Generación electricidad									
Generación otra energía									
<i>Fuentes fijas biogénicas</i>									
Transporte propio	55.07	0.0954	0.0016					58.35	1.26%
<i>Fuentes móviles biogénicas</i>		0.0001	0.00003					0.01	
Refrigerantes									
Uso de fertilizante									
Crianza de ganado									
Fugas de SF <sub>6</sub>									
Fugas de PFCs									
Otras fuentes									
<b>Alcance 2</b>									
Consumo de electricidad del SEIN (en kWh)									
Pérdidas por T&D									
Generación otra energía									
Otras fuentes									
<b>Alcance 3</b>								4,588.82	98.74%
Transporte casa-trabajo	7.24	0.0001	0.0002					7.29	0.16%
Transporte aéreo									
Transporte terrestre									
Consumo de papel									
Consumo de agua potable de la red pública (en m3)									
Transporte de insumos									
Generación de residuos sólidos		163.6261						4,581.53	98.59%
Generación de NF <sub>3</sub>									
Otras fuentes									
<b>TOTAL HUELLA DE CARBONO</b>	<b>62.31</b>	<b>163.72</b>	<b>0.00</b>					<b>4,647.18</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Calculadora de la huella de carbono, plataforma HC-PERÚ (2023)

**Figura 29**

*Cuadro resumen del registro de información de la técnica del compostaje en la calculadora de la huella del carbono*


Calculadora Pública de Huella de Carbono Organizacional y el Sistema de Reconocimiento y Compensación									
Resultados									
Alcances	Dioxido de carbono [CO <sub>2</sub> ]	Metano [CH <sub>4</sub> ]	Óxido Nitroso [N <sub>2</sub> O]	Hexafluoruro de azufre [SF <sub>6</sub> ]	Hidrofluorocarbonos [HFC]	Perfluorocarbonos [PFC]	Trifluoruro de nitrógeno [NF <sub>3</sub> ]	CO <sub>2</sub> e	
								Emisiones GEI [CO <sub>2</sub> e]	Participación general [%]
<b>Alcance 1</b>								17.40	18.26%
Generación electricidad									
Generación otra energía									
Fuentes fijas biogénicas									
Transporte propio	16.42	0.0284	0.0005					17.40	18.26%
Fuentes móviles biogénicas		0.0000	0.00001						
Refrigerantes									
Uso de fertilizante									
Crianza de ganado									
Fugas de SF <sub>6</sub>									
Fugas de PFCs									
Otras fuentes									
<b>Alcance 2</b>									
Consumo de electricidad del SEIN (en kWh)									
Pérdidas por T&D									
Generación otra energía									
Otras fuentes									
<b>Alcance 3</b>								77.89	81.74%
Transporte casa-trabajo	1.90	0.0000	0.0000					1.92	2.01%
Transporte aéreo									
Transporte terrestre									
Consumo de papel									
Consumo de agua potable de la red pública (en m <sup>3</sup> )								0.02	0.02%
Transporte de insumos								4.96	5.20%
Generación de residuos sólidos		2.5358						71.00	74.51%
Generación de NF <sub>3</sub>									
Otras fuentes									
<b>TOTAL HUELLA DE CARBONO</b>	<b>18.33</b>	<b>2.56</b>	<b>0.00</b>					<b>95.29</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Calculadora de la huella de carbono, plataforma HC-PERÚ (2023)



**Figura 30**

*Cuadro resumen del registro de información de la técnica de la biodigestión en la calculadora de la huella del carbono*

Calculadora Pública de Huella de Carbono Organizacional y el Sistema de Reconocimiento y Compensación									
Resultados								CO2e	
Alcances	Dioxido de carbono [CO <sub>2</sub> ]	Metano [CH <sub>4</sub> ]	Óxido Nitroso [N <sub>2</sub> O]	Hexafluoruro de azufre [SF <sub>6</sub> ]	Hidrofluorocarbonos [HFC]	Perfluorocarbonos [PFC]	Trifluoruro de nitrógeno [NF <sub>3</sub> ]	Emisiones GEI [CO <sub>2</sub> e]	Participación general [%]
<b>Alcance 1</b>								21.95	6.02%
Generación electricidad	8.92	0.0002	0.0000					8.93	2.45%
Generación otra energía									
Fuentes fijas biogénicas									
Transporte propio	12.29	0.0213	0.0004					13.02	3.57%
Fuentes móviles biogénicas		0.0000	0.00001						
Refrigerantes									
Uso de fertilizante									
Crianza de ganado									
Fugas de SF <sub>6</sub>									
Fugas de PFCs									
Otras fuentes									
<b>Alcance 2</b>									
Consumo de electricidad del SEIN (en kWh)									
Pérdidas por T&D									
Generación otra energía									
Otras fuentes									
<b>Alcance 3</b>								342.86	93.98%
Transporte casa-trabajo	1.90	0.0000	0.0000					1.92	0.53%
Transporte aéreo									
Transporte terrestre									
Consumo de papel									
Consumo de agua potable de la red pública (en m <sup>3</sup> )								0.75	0.21%
Transporte de insumos								4.53	1.24%
Generación de residuos sólidos		11.9878						335.66	92.01%
Generación de NF <sub>3</sub>									
Otras fuentes									
<b>TOTAL HUELLA DE CARBONO</b>	<b>23.12</b>	<b>12.01</b>	<b>0.00</b>					<b>364.81</b>	<b>100%</b>

Nota. Calculadora de la huella de carbono, plataforma HC-PERÚ (2023)

### Anexo 3. Formato de Validación de expertos

Figura 31

Certificado de validación de la calculadora de huella de carbono en la plataforma HC-PERÚ del Ministerio del Ambiente

Declaración PE.VER.0150  
Declaración de Verificación de metodología y factores de emisión del cálculo de las emisiones GEI de la Huella de Carbono-Perú (HC Perú)

para:  
**Alwa S.A.C.**  
Jr. Hermilio Valdizan N°317 – Jesús María – Lima, Lima - Perú

ha sido verificado de acuerdo a la ISO 14064-3:2006 que cumple con los requisitos de  
**ISO 14064-1:2006**

Para las siguientes actividades:  
**“Calculadora pública de huella de carbono organizacional: Huella de Carbono-Perú (HC Perú) elaborada para el Ministerio del Ambiente”**

Verificadora Líder: Fanny Valencia  
Revisora Técnica: Ursula Antúnez de Mayolo Corzo

Autorizado por:  
  
Ursula Antúnez de Mayolo Corzo

SGS del Perú S.A.C.  
Av. Elmer Faucett 3348, Callao 1 - Perú  
Telf: (51) 1 -517 1900  
[www.sgs.com](http://www.sgs.com)

Fecha: 14 de mayo del 2019

Esta Declaración no es válida sin el alcance, objetivos, criterios y conclusiones de la verificación disponibles en las páginas 2, 3 y 4 de esta Declaración.



Este documento se emite por SGS bajo sus condiciones generales de servicio, a las que se puede acceder en [http://www.sgs.com/lima\\_ast\\_coeditores.htm](http://www.sgs.com/lima_ast_coeditores.htm). La responsabilidad de SGS queda limitada en los términos establecidos en las citadas condiciones generales que resultan de aplicación a la prestación de sus servicios. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en [http://www.sgs.com/lima\\_ast\\_coeditores.htm](http://www.sgs.com/lima_ast_coeditores.htm).

Nota. Ministerio del Ambiente (2019)

## **Anexo 4. Glosario de términos**

### ***Aeróbico***

Proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico.

### ***Agua***

Líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos.

### ***Anaeróbico***

Proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, éste se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición.

### ***Bacteria***

Es un microorganismo unicelular. Por lo general su tamaño es de algunos micrómetros de largo (entre 0,5 y 5  $\mu\text{m}$ ) y se presentan de diversas formas: esferas (cocos), barras (bacilos) y hélices (espirales), etc. Además, son muy abundantes en el planeta y pueden vivir en condiciones ambientales muy extremas.

### ***Biogás***

Es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.)

### ***Biosol***

Es el segundo efluente de salida del biodigestor, El biosol presenta una cantidad bastante equilibrada de nutrientes los cuales influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas, es un producto de uso orgánico que ayuda a fortalecer las plantas.

### ***Biomasa***

Toda la materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía.

### ***CO<sub>2</sub> Equivalente***

Es una medida en toneladas de la huella de carbono. Huella de carbono es el nombre dado a la totalidad de la emisión de gases de efecto invernadero.

### ***Combustible Fósil***

Es aquel que procede de la biomasa producida en eras pasadas, que ha sufrido enterramiento y tras él, procesos de transformación, por aumento de presión y temperatura,

hasta la formación de sustancias de gran contenido energético, como el carbón, el petróleo, o el gas natural. Al no ser energía renovable, no se considera como energía de la biomasa, aunque su origen sea orgánico o de biomasa.

### ***Estiércol***

Material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y orina de animales domésticos. Puede presentarse mezclado con material vegetal como paja, heno o material de cama de los animales. Aunque el estiércol es rico en nitrógeno, fósforo y potasio, comparado con los fertilizantes sintéticos sus contenidos son menores y se encuentran en forma orgánica. Puede aplicarse en mayor cantidad para alcanzar las cantidades que necesita el cultivo, pero en general, el nitrógeno es menos estable y está disponible por menos tiempo en el suelo. Es rico en materia orgánica, por lo que aumenta la fertilidad del suelo y mejora su capacidad de absorción y retención de agua.

### ***Fermentación***

Es un proceso que degrada moléculas para transformarlas en otras moléculas más simples.

### ***HC-Perú***

Permite el reporte de emisiones directas de GEI de organizaciones públicas y privadas sólo dentro del ámbito geográfico nacional.

### ***Huella de carbono***

Consiste en el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se generan por las diversas actividades humanas y económicas.

### ***Materia orgánica***

Residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo.

### ***Microorganismos***

Organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actinobacterias, protozoos como nemátodos etc.).

### ***Microorganismos mesófilos***

Grupo de bacterias, y hongos (levaduras u hongos filamentosos) que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 30°C a 40°C.

### ***Orgánico***

Un compuesto orgánico es una sustancia que contiene carbono e hidrógeno y, habitualmente, otros elementos como nitrógeno, azufre y oxígeno. Los compuestos

orgánicos se pueden encontrar en el medio natural o sintetizarse en laboratorio. La expresión sustancia orgánica no equivale a sustancia natural. Decir que una sustancia es natural significa que es esencialmente igual que la encontrada en la naturaleza. Sin embargo, orgánico significa que está formado por carbono.

**Relación C/N:** cantidad de carbono con respecto a la cantidad nitrógeno que tiene un material.

**Suelo:** está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo.