



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica**

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Propuesta de disposición final de residuos sólidos basado en el método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral - departamento de Lima

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTORES

Keth Lee Jacob GALLEGOS BLAS

Patricia Alejandra NIETO MEDINA

ASESOR

Alberto HUIMAN CRUZ

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Gallegos, K. & Nieto, P. (2023). *Propuesta de disposición final de residuos sólidos basado en el método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral - departamento de Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Keth Lee Jacob Gallegos Blas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72191447
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4142-2352
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Patricia Alejandra Nieto Medina
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72421224
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3718-9009
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Alberto Huiman Cruz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41459167
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5507-9903
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Giuliana Patricia Becerra Celis
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40745335
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Augusto Guillermo Bravo Malca

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06016801
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Eric Rendon Schneir
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09377940
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.8. Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Huaral Distrito: Chancay Latitud: -11.477945 Longitud: -77.326874
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019 - 2030
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería ambiental y geológica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01 Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

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

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; el día 29 de Noviembre del año 2023, siendo las 12:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Dra. GIULIANA PATRICIA BECERRA CELIS	(Presidente del Jurado)
Dr. ERIC RENDON SCHNEIR	(Miembro del Jurado)
Mg. AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA	(Miembro del Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de los Tesistas Bachilleres PATRICIA ALEJANDRA NIETO MEDINA y KETH LEE JACOB GALLEGOS BLAS, quien sustentaran la Tesis Titulada:

“PROPUESTA DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS BASADO EN EL MÉTODO FUKUOKA PARA EL RELLENO SANITARIO DE CHANCAY, PROVINCIA DE HUARAL – DEPARTAMENTO DE LIMA”, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon a los graduandos las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A. KETH LEE JACOB GALLEGOS BLAS/PATRICIA ALEJANDRA NIETO MEDINA

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

DIEN. 30. 5. (16)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL a los Bachilleres:
PATRICIA ALEJANDRA NIETO MEDINA y KETH LEE JACOB GALLEGOS BLAS.

Siendo las 13:00 horas se dio por concluido el acta académico,
expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Dra. GIULIANA PATRICIA BECERRA CELIS
PRESIDENTE DEL JURADO

Dr. ERIC RENDON SCHNEIR
MIEMBRO DE JURADO

Mg. AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA
MIEMBRO DE JURADO

Dr. ALBERTO HUIMAN CRUZ
ASESOR



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Dr. Msc. Ing. Alberto Huiman Cruz en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 001289-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es *«Propuesta de disposición final de residuos sólidos basado en el método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral - departamento de Lima»* presentado por los bachilleres Keth Lee Jacob Gallegos Blas y Patricia Alejandra Nieto Medina para optar el título de Ingeniero Ambiental, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 16 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor: _____

DNI: 41459167

Nombres y apellidos del asesor: Alberto Huiman Cruz

Huella digital



DEDICATORIA

*La presente tesis se la dedico a mi familia, en
especial a mis padres, Esperanza Marcelina Blas
De Gallegos y Pedro Manuel Gallegos Jacobo, por
su apoyo constante en mi etapa universitaria.*

Keth Lee Jacob Gallegos Blas

DEDICATORIA

*La presenta tesis está dedicada a mis padres:
Jannet Medina Quiñonez y Wilfredo Nieto Curi;
quienes siempre me brindaron su apoyo
incondicional y consejos para ser la persona y
profesional que soy hoy en día.*

Patricia Alejandra Nieto Medina

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a:

El Ministerio del Ambiente (MINAM) a través de la Unidad Ejecutora 003: Gestión Integral de la Calidad Ambiental por el acceso a la información.

A los profesionales de la Municipalidad Distrital de Chancay por las facilidades brindadas durante el desarrollo de la etapa de campo.

A las instituciones que elaboraron los diversos estudios.

A nuestro asesor, Dr. Msc. Ing. Alberto Huiman por la orientación, apoyo y aliento en el proceso de elaboración de la presente investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivos de la investigación	5
1.4. Importancia y alcance de la investigación	5
1.5. Limitaciones de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.2. Bases teóricas	13
2.3. Definición de términos	33
CAPÍTULO III	35
3. HIPÓTESIS Y VARIABLES	35
3.1. La hipótesis	35
3.2. Las variables	35
3.3. Operacionalización de variables	36
CAPÍTULO IV	37
4. MATERIALES Y MÉTODOS	37
4.1. Área de estudio	37
4.2. Diseño de investigación	40
4.3. Población y muestra	41
4.4. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información	41
4.5. Análisis estadístico	52
CAPÍTULO V	53
5. RESULTADOS	53
5.1. Caracterización de la disposición final de residuos sólidos	53

5.2.	Aplicación del método Fukuoka a la disposición final de residuos sólidos	56
5.3.	Propuesta de disposición final de residuos sólidos	61
6.	DISCUSIÓN	78
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
7.1.	Conclusiones	80
7.2.	Recomendaciones	81
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
9.	ANEXOS	94
9.1.	Anexo N° 1: Fotografías	94
9.2.	Anexo N° 2: Mapas	98
9.3.	Anexo N° 3: Cálculo de proyección de población	100
9.4.	Anexo N° 4: Cálculo de proyección de generación de residuos sólidos	101
9.5.	Anexo N° 5: Cálculo de generación de gases	103
9.6.	Anexo N° 6: Cálculo de evaluación de impacto ambiental	108

Índice de tablas

Tabla N° 1:	Composición de lixiviados	18
Tabla N° 2:	Rangos de composición del biogás generados en rellenos sanitarios	18
Tabla N° 3:	Operacionalización de variables	36
Tabla N° 4:	Coordenadas del área de estudio	37
Tabla N° 5:	Variables utilizadas	46
Tabla N° 6:	Factor de corrección de metano	46
Tabla N° 7:	Criterios para la evaluación de impactos ambientales	48
Tabla N° 8:	Jerarquía de impactos ambientales	49
Tabla N° 9:	Factores socioambientales	50
Tabla N° 10:	Parámetros del monitoreo ambiental de los lixiviados	50
Tabla N° 11:	Parámetros del monitoreo ambiental de la calidad del aire	51
Tabla N° 12:	Principales características del relleno sanitario	54
Tabla N° 13:	Proyección de los habitantes de Chancay	55
Tabla N° 14:	Proyección de la generación de residuos sólidos por composición en Chancay	55
Tabla N° 15:	Resultados de monitoreo de aguas de lixiviados	56
Tabla N° 16:	Resultados de generación de metano – método anaeróbico	58
Tabla N° 17:	Resultados de generación de CO ₂ – eq – método aneróbico	58

Tabla N° 18: Resultados de generación de metano – método semi-aeróbico	59
Tabla N° 19: Resultados de generación de CO ₂ – eq – método semi-aeróbico	60
Tabla N° 20: Evaluación Socio Ambiental del relleno sanitario de Chancay – Método Fukuoka	64
Tabla N° 21: Evaluación Socio Ambiental del relleno sanitario de Chancay – Método Anaeróbico	68
Tabla N° 22: Comparativo de evaluación de impactos de acuerdo al método Fukuoka y anaeróbico	71
Tabla N° 23: Características por tipo de digestión de relleno sanitario	75
Tabla N° 24: Presupuesto del monitoreo ambiental del método Anaeróbico.....	75
Tabla N° 25: Presupuesto del monitoreo ambiental del método Fukuoka	77

Índice de ilustraciones

Ilustración N° 1: Visita de campo al relleno sanitario de Chancay	7
Ilustración N° 2: Mecanismo del relleno sanitario semi-aeróbico	22
Ilustración N° 3: Concentración de la DBO en rellenos sanitarios anaeróbico, aeróbico y semi-aeróbico durante los primeros 1.5 años de operatividad	25
Ilustración N° 4: Fluctuación de DBO según diferentes tipos de sistema de relleno sanitario	26
Ilustración N° 5: Reducción de emisión de metano – estudio de caso Malasia.....	28
Ilustración N° 6: Construcción del relleno sanitario de Xuân Son en Hanoi, Vietnam	29
Ilustración N° 7: Infraestructura del Relleno sanitario en Sikhio, Ratachasima-Tailandia	31
Ilustración N° 8: Localización del relleno sanitario de Chancay	38
Ilustración N° 9: Acceso al relleno sanitario de Chancay.....	39

Índice de gráficos

Gráfico N° 1: Clasificación de residuos sólidos	14
Gráfico N° 2: Gestión de residuos sólidos municipales	15
Gráfico N° 3: Ejemplificación del ingreso del aire al relleno sanitario semi-aeróbico	23
Gráfico N° 4: Diagrama del proceso metodológico.....	51
Gráfico N° 5: Concentración de la DBO en el relleno sanitario de Chancay durante los años 2019 y 2021	57
Gráfico N° 6: Generación de metano CH ₄ en el relleno sanitario de Chancay.....	60
Gráfico N° 7: Generación de CO ₂ – eq en el relleno sanitario de Chancay	61

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es elaborar una propuesta de disposición final de residuos sólidos basada en el método Fukuoka para el relleno sanitario Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima. Se describe la situación actual de la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay determinando sus características técnicas; asimismo, se identifica que la oferta existente logra cubrir la demanda de la población en toda su vida operativa. Asimismo, se aplicó el método Fukuoka a la disposición final, el cual permitió la reducción de la carga orgánica de lixiviados y de biogás, y donde se obtuvo una reducción máxima del 50 % en emisión de metano (CH_4) y CO_2 – eq durante la operación y una potencial reducción del 90 % de la carga orgánica (Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO) de los lixiviados generados durante los seis primeros meses de funcionamiento. Finalmente, se realizó la propuesta que resultó de aplicar el método Fukuoka (método semi-aeróbico) respecto al método tradicional (método anaeróbico), donde se obtuvo desde el factor ambiental una reducción en la magnitud de los impactos ambientales referidos al componente aire y suelo, en el factor social no se evidenció variación considerable; finalmente, en el factor económico se presentó una reducción de costos durante la etapa de post cierre. Como conclusión, la propuesta de disposición final basado en el método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay generó beneficios ambientales y económicos, por lo cual se presentó como alternativa factible para la replicabilidad en las infraestructuras de disposición final en nuestro país con vistas a la sostenibilidad.

Palabras claves: *residuos sólidos, disposición final, método Fukuoka, método anaeróbico, relleno sanitario de Chancay, biogases, lixiviado.*

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to develop a proposal for the final disposal of solid waste based on the Fukuoka method in the final disposal in the Chancay landfill, located in the province of Huaral, department of Lima. The investigation presented the description of the current final disposal of solid waste in the Chancay landfill situation, determining its technical characteristics; likewise, it is identified that the existing offer accomplishes to cover the demand of the population throughout its operative life. Furthermore, the Fukuoka method was applied to the final disposal, present the reduction of the organic load of leachate and biogas, where the results indicated a maximum 50 % reduction in methane emissions (CH_4) and CO_2 – eq during its operation, and a potential reduction of 90 % of the organic load (Biochemical Oxygen Demand - BOD) of leachate generated during the first six months of operation. Finally, the proposal was made that resulted from applying the Fukuoka method (semi-aerobic method) compared to the traditional method (anaerobic method), where a reduction in the magnitude of the environmental impacts referred to the air and soil component was obtained from the environmental factor, no considerable variation was evident in the social factor; finally, in the economic factor, there was a reduction in costs during the post-closure stage. In conclusion, the proposal for final disposal through the Fukuoka method in the Chancay landfill generated environmental and economic benefits, which is presented as a feasible alternative for replicability in final disposal infrastructures in our country with a view to sustainability.

Keywords: *solid waste, final disposal, Fukuoka method, anaerobic method, Chancay landfill, biogases, leachate.*

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. *Introducción*

Los residuos sólidos son considerados elementos provenientes del uso o consumo de un bien o servicio (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016); los cuales, por sus características fisicoquímicas, pueden ser valorizados y así alcanzar el nivel más alto de utilidad. Sin embargo, aquellos bienes que no pueden ser aprovechados generalmente son dispuestos en infraestructuras de residuos sólidos denominadas relleno sanitario; donde luego del proceso de descomposición se genera biogás y lixiviados, los cuales, al no presentar un adecuado manejo, se ha de generar impactos al ambiente y a la salud pública (Zafra Mejía & Gutiérrez Gil, 2014). Por lo mismo, se desarrolló el método Fukuoka con la finalidad de mejorar la calidad de los rellenos sanitarios al reducir la carga orgánica de los lixiviados y la generación de gases de efecto invernadero (Fukuoka City Environmental, 2013).

En el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima, se encuentra ubicado el relleno sanitario de Chancay bajo la gestión de la Municipalidad Distrital de Chancay el cual se está ejecutando con el método anaeróbico; este no se presenta como un método sostenible que presente reducción de los impactos ambientales. Por lo tanto, el objetivo que presenta la investigación es realizar una propuesta de disposición final de residuos sólidos basado en el método Fukuoka, la cual busca generar beneficios socioambientales y económicos para garantizar la sostenibilidad de la gestión de residuos sólidos. Para lograr ello se realizará la caracterización de la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay, la aplicación del método Fukuoka a la disposición final, y, por último, el determinar a propuesta de disposición final basada en el método indicado. Asimismo, la investigación comprende materiales y métodos empleados, en la cual se describió las características del área de estudio, siendo el relleno sanitario de Chancay, la identificación del diseño, tipo, nivel y enfoque de investigación,

y se precisa la población y muestra. Posteriormente, se explica las técnicas e instrumentos de recolección, así como el procedimiento el cual se consta de la recopilación y análisis de datos, algoritmos de proyección para población y residuos sólidos, y metodologías validadas con el fin de obtener la información que permita construir la propuesta y exponer los beneficios aplicados a la disposición final con el método Fukuoka.

Finalmente, se exponen los resultados de la investigación los cuales constituyeron la caracterización de la disposición final de residuos sólidos en base a sus características técnicas y la determinación de la oferta y la demanda; el análisis del método Fukuoka en los subproductos generados en el relleno sanitario resultando en la reducción de carga orgánica de lixiviados y cantidad emitida de biogás; para seguidamente determinar la propuesta resultante relacionada a los beneficios ambientales, sociales y económicos; está se encuentra alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13 (Acción por el clima) planteado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), al contribuir con la reducción de gases de efecto invernadero; además, se discute los resultados y se compara con otras investigaciones. Por último, se presenta las respectivas conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Descripción de la problemática

Los residuos sólidos se han constituido como uno de los grandes problemas en la actualidad, debido a que los daños económicos y sociales de su inadecuada gestión ha llegado a tal magnitud que requiere la atención inmediata y medidas adecuadas para su control (Rondón Toro *et al.*, 2016). Se estima que, a nivel mundial, para el 2030 se estaría generando 2.59 billones de toneladas de residuos sólidos anualmente y para el 2050 superaría los 3.4 billones de toneladas (Kaza *et al.*, 2018). En muchos casos, la acumulación de residuos provoca «serios daños al ecosistema, porque contribuyen a la contaminación del

recurso suelo, el hídrico, el aire y el paisaje, con lo cual amenaza la sustentabilidad ambiental del sistema urbano» (Rodríguez, 2002, p. 3). Por ello, existen diferentes medios para el correcto manejo de los residuos, siendo las infraestructuras de residuos sólidos denominada relleno sanitario, aquella instalación destinada para la disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos, bajo especificaciones técnicas y sanitarias (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016, p. 16).

La provincia de Huaral cuenta con un relleno sanitario ubicado en el distrito de Chancay el cual brinda el servicio de disposición final al mismo, bajo el método tradicional anaeróbico. Esta metodología impide el paso del oxígeno a las capas de residuos del relleno sanitario, efectuándose la fermentación mediante microorganismos metanogénicos (Vallejo Villegas *et al.*, 2021); esto produce subproductos lixiviado con alta carga orgánica y una mayor generación de subproducto gases representado por el metano, gas de efecto invernadero cuyo poder de calentamiento es 80 veces mayor que el dióxido de carbono.

El método anaeróbico no se presenta como un método sostenible que busque la reducción de los impactos ambientales; en cambio, el manejo inadecuado de los subproductos puede resultar en impactos ambientales negativos, la infiltración del lixiviado en el suelo o el vertimiento a una fuente hídrica altera las condiciones naturales del ecosistema, degrada del suelo, produce la pérdida de cobertura vegetal y decesos en fauna (Gómez Vasquez, 2018); por otro lado, las emisiones del subproducto biogás manejadas inadecuadamente en los rellenos sanitarios, ocasionan problemas en la salud de las comunidades asentadas a su alrededor con síntomas respiratorios en dificultad para respirar, dolor de garganta, rinorrea, entre otros (Barba Regalado, 2019).

Es así, que el método Fukuoka, denominado también método semi-aeróbico, catalogado como método innovador de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (Fukuoka City Environmental, 2013), se presenta como una metodología sostenible para las infraestructuras

de residuos sólidos, toda vez que, se logra reducción de la peligrosidad de los subproductos generados y así mitigar los impactos ambientales relacionados.

El porqué de ello es debido a entrada de oxígeno a las capas de residuos que producen una descomposición en condiciones aeróbicas, incrementando la actividad microbiana (Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme (SPRED) & Japan International Cooperation Agency (JICA), 2010). Se produce beneficios sociales, económicos y ambientales, toda vez que, el relleno sanitario posee una rápida estabilización, los lixiviados generados en los rellenos sanitarios bajo esta metodología poseen menor carga orgánica, y el biogás generado se reduce contribuyendo así a la prevención del calentamiento global (Tashiro, 2010).

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema general

¿En qué medida contribuirá una propuesta basada en el método Fukuoka en la disposición final de residuos para el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima?

1.2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características de la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima?
- ¿Cuáles son los resultados de la aplicación del método Fukuoka a la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima?
- ¿Cómo influye la aplicación del método Fukuoka a la propuesta de disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima?

1.3. *Objetivos de la investigación*

1.3.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta de disposición final de residuos sólidos basada en el método Fukuoka para el relleno sanitario Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima.

1.3.2. Objetivo específico

- Caracterizar la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima.
- Aplicar el método Fukuoka a la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima.
- Determinar la propuesta de disposición final de residuos sólidos basada en el método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima.

1.4. *Importancia y alcance de la investigación*

La inadecuada disposición de residuos sólidos conlleva a no establecer un manejo en los subproductos generados, tales como: los lixiviados y biogás; los cuales traen a consecuencia impactos ambientales negativos al recurso hídrico, aire, suelo; además, de afectar la salud humana y su desarrollo social de las poblaciones. Ante ello se hace una necesidad la búsqueda de una alternativa que contemple una mejoría en los procesos que se dan en un relleno sanitario a través del Método Fukuoka, considerándose la importancia de generar una propuesta que contemple la mejorar el servicio de disposición final del relleno sanitario de Chancay que se viene realizando en la actualidad con método anaeróbico.

1.4.1. Importancia teórica

El método Fukuoka resulta en una alternativa que brinda sostenibilidad al servicio de disposición final de residuos en el relleno sanitario de Chancay; por lo tanto, la importancia

teórica se explica desde tres (03) enfoques: ambiental, económico y social. En lo ambiental, la propuesta basada en el método Fukuoka resulta ambientalmente viable permitiendo la mitigación y reducción de impactos ambientales relacionados al componente aire por la reducción en emisiones de gases de efecto invernadero, al componente suelo en una mejora en la calidad de lixiviados, lo cual ante un eventual evento no deseado de derrame o infiltración, se reduce el impacto; así como disminución de la proliferación de vectores que resultan de la reducción de los olores emitidos. En cuanto a lo económico, la generación de la propuesta se manifiesta en que las municipalidades posean una alternativa viable para economizar los gastos operativos vinculados a los lixiviados y biogás en los rellenos sanitarios, debido a la estabilización temprana del relleno sanitario. Finalmente, en lo social, contribuye que las personas ubicadas en el área de influencia, así como los trabajadores del emplazamiento gocen de mejores condiciones ambientales y con ello, una mejor calidad de vida.

1.4.2. Importancia práctica

El presente trabajo de investigación busca contribuir en una mejora de la disposición final de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay a través del Método Fukuoka, cuya importancia radica en ser una alternativa para la estabilización temprana del relleno sanitario que contempla la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 50% y la mejora de la calidad de los lixiviados en un 90% los primeros seis (06) meses; por lo tanto, resulta en un instrumento de apoyo para su potencial aplicación por gobiernos locales y regionales en diversos rellenos sanitarios a través de proyectos de inversión pública y privada, tomando las medidas necesarias para mejorar las condiciones ambientales y sociales, y buscar las miras a la sostenibilidad.

1.5. Limitaciones de la investigación

- La información respecto a los monitoreos ambientales de lixiviados realizados en el relleno sanitario de Chancay presentó una limitante, toda vez que, la Municipalidad Distrital de Chancay no ejecutó el monitoreo del 2020 debido a coyuntura de pandemia COVID-19. Por lo tanto, se limitó a utilizar los informes del 2019 y 2021 durante la realización de la investigación.
- La accesibilidad al área de estudio presento una limitante al contar con caminos no identificados y por la necesidad de movilidad específica; por lo mismo no se logró realizar más de una visita técnica al emplazamiento. Por lo tanto, se optó por contactar con la Municipalidad Distrital de Chancay, quien nos brindó una (01) visita de campo guiada al relleno sanitario de Chancay junto con la Subgerencia de Residuos Sólidos de la Municipalidad Distrital de Chancay el día 15 de febrero del 2022.

Ilustración N° 1: Visita de campo al relleno sanitario de Chancay



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Ámbito internacional

Dos Muchangos & Tokai (2020) en su investigación «*Greenhouse gas emission analysis of upgrading from an open dump to a semi-aerobic landfill in Mozambique – the case of Hulene dumpsite*» busca evaluar las emisiones de gases del botadero a cielo abierto Hulene, ubicado en Mozambique, el cual opera bajo condiciones anaeróbicas y sus cambios al aplicar la metodología semi-aeróbica; para lograr ello se utilizó la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Como resultado se obtuvo la reducción del 40 % de emisiones totales al aplicar el método semi-aeróbico, siendo así una cantidad de 685 Gg CO₂-eq del 2020 al 2030 a comparación de 568 Gg CO₂-eq emitidos por el botadero a cielo abierto. Se concluye que se reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), representando en impactos positivos al ambiente y a la salud de la población mediante la aplicación del Método Fukuoka.

Aziz *et al.* (2010) desarrollan la investigación titulada «*Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study*» el cual tiene como objetivo analizar y comparar los lixiviados del relleno sanitario semi-aeróbico Pulau y Burung y el relleno sanitario anaeróbico de Kulim. Para ello se analizaron 20 parámetros, tales como nitrógeno total, fenol, amoníaco, nitrato, nitrito, fósforo total, orto-fósforo, DBO, COD, DBO/COD, pH, conductividad eléctrica, turbidez, color, sólidos totales, sólidos suspendidos, hierro total, zinc, coliformes totales y *E. Coli*. Los resultados presentaron una mayor estabilización en los lixiviados generados por el relleno sanitario semi-aeróbico Pulau, presentando también una reducción de la concentración de contaminantes debido a la mayor aireación que posee. Asimismo, los lixiviados generados en el relleno sanitario semi-aeróbico

Pulau poseen una baja biodegradabilidad, evidenciándose así un mejoramiento con la aplicación del Método Fukuoka.

Sutthasil *et al.* (2014) en su investigación titulada «*Comparison of Solid Waste Stabilization and Methane Emission from Anaerobic and Semi-Aerobic Landfills Operated in Tropical Condition*» posee como objetivo el de analizar y comparar lisímetros de rellenos sanitarios anaeróbicos operados bajo condiciones simuladas, con rellenos sanitarios semi-aeróbicos. Los lisímetros se monitorearon un total de 650 días, ambos llenados con residuos sólidos domiciliarios de alta humedad y en condiciones tropicales. Como resultado se obtuvo que la estabilización de los lixiviados en el lisímetro semi-aeróbico fue mucho más rápida que el anaeróbico, reduciendo así en un 90 % el DBO en 60 días; asimismo, la concentración de nitrógeno se redujo en un 90 %. En cuanto a los gases, el lisímetro semi-aeróbico emitió 2.8 g/m²/día de metano comparado con los 62.6 g/m²/día de tasa de emisión del lisímetro anaeróbico.

La Agencia de Cooperación Internacional de Japón - Ministerio de Vivienda y el Gobierno Local de Malasia (2004) realizaron un informe titulado «*The study on the safe closure and rehabilitation of landfill sites in Malaysia*». Esta investigación presenta la guía técnica y sanitaria para el diseño, y operación del relleno sanitario ubicado en Malasia con el método Fukuoka. En ella se encuentra una introducción al diseño de relleno sanitario, las guías técnicas que incluyen clasificación del relleno, instalación de complementos operativos (drenaje, lixiviados, chimeneas para gases, entre otros), la operación del relleno, costo por construcción. Finalmente, menciona el manejo de un relleno sanitario, su manejo ambiental, manejo post cierre, manejos administrativos, entre otros. Esta investigación muestra información para la comprensión del funcionamiento de un relleno sanitario bajo la metodología de Fukuoka, así como su manejo en operación.

El Ministerio del Medio Ambiente de Japón (2012) elaboró un informe titulado «*Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan: Toward a Sustainable Society*» en

el cual se presenta cómo es la gestión de residuos en Japón y cómo es la tecnología del reciclaje que utilizan. En ella explican sobre el método Fukuoka y de cómo comparado con otras metodologías, estabiliza rápidamente los rellenos para su posterior uso. Asimismo, esta metodología logra la reducción del 90 % del DBO en lixiviados y una reducción del 30 % en la generación del metano del biogás.

Villamil Casallas (2020) en su investigación denominada «*Optimización del dimensionamiento de un relleno sanitario convencional complementado con el método Fukuoka*» busca optimizar un relleno sanitario ubicado en la provincia de Almeidas en Colombia con la aplicación del conocido método. Para lograr ello se realizó una descripción del relleno sanitario en mención, una evaluación de las técnicas de mejoramiento (p.ej. planta de termo valorización, planta de reciclaje, planta de compostaje, entre otros) y por último se realiza la optimización del dimensionamiento del relleno sanitario mediante cálculos para hallar la cantidad de población, residuos sólidos, lixiviados, gases, entre otros a través de fórmulas; asimismo, se da la selección del tipo de construcción y se aplica el método escogido. Como resultado se obtiene que para el 2045 se habrían generado 78,776.315 kg/día, la cantidad de lixiviado de 0.000700 m³/s y el biogás 948,281.62 m³/año. El dimensionamiento escogido fue de método combinado debido a las condiciones físicas del terreno; con la aplicación del método Fukuoka se instala una tubería de 0.3 m de diámetro la cual contiene agujeros de 0.06 m de diámetro, esta se encuentra rodeada por una capa de grava y se instalaron dos columnas en cada zanja, que van unidas al drenaje de lixiviados. Las nuevas implementaciones lograron que la calidad del lixiviado y cantidad de gases generados en el relleno sanitario puedan mejorar y disminuir, respectivamente.

Vallejo Villegas *et al.* (2021) realizó una investigación titulada «*Evaluación de la degradación de residuos sólidos urbanos por medio de un relleno sanitario a escala piloto*». Este estudio posee como objetivo la evaluación de la degradación biológica de los residuos sólidos a nivel de escala piloto realizado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas,

comparando el método convencional y el método Fukuoka para evaluar qué método es el óptimo. Para lograr ello se realizó un montaje a escala piloto en la universidad en mención, a través de tres columnas en las cuales se instalaron mangueras, válvulas de recolección y extracción de lixiviados, termómetros, y demás elementos para simular el caso. La primera columna es el blanco, la segunda se proporcionó aire y la tercera se implementó el método Fukuoka. Asimismo, se realizó la recolección de datos de las temperaturas, presión, cantidad de producción de lixiviados, y producción de biogás. Como resultado se obtuvo que el método más adecuado fue el método Fukuoka, ya que este permite una rápida degradación, mayor cantidad de lixiviados generados y una menor producción de gases, y no es necesario mecanismos altamente tecnológicos.

2.1.2. Ámbito nacional

Valverde Romero (2021) posee una investigación titulada «*Análisis de la Implementación del Método Fukuoka en el Proyecto de Relleno Sanitario Mariscal Castilla – Alto Utcubamba, Provincia de Luya y Chachapoyas, Amazonas, Perú*». El propósito de este estudio es examinar la aplicación del método Fukuoka, método semi-aeróbico, durante la etapa de construcción del relleno sanitario. Se realizó la descripción del ámbito de intervención del área operativa del relleno sanitario y del proceso constructivo de cada componente del mismo. Como resultado se obtuvo los beneficios de la aplicación del método Fukuoka, evidenciando una mejora en la calidad de los lixiviados, reducción de la humedad existente entre las capas del relleno, mejor estabilización del mismo, y reducción de las emisiones de gases como los compuestos orgánicos volátiles y el sulfuro de hidrógeno (H_2S). Asimismo, el método resultó ser de fácil implementación constructiva y de bajo costo en su mantenimiento y operación. Por último, se sugiere que, por su bajo costo, el Estado Peruano utilice el método para reconvertir áreas degradadas en rellenos sanitarios.

Mayorca Malpartida (2017) en su trabajo de investigación denominado «*Reducción de la carga orgánica en lixiviado estabilizado del botadero municipal de San Ramón mediante oxidación avanzada foto-fenton*» tiene por objetivo determinar la reducción de la carga orgánica del subproducto en mención a través de la aplicación de la oxidación avanzada foto-fenton. Para ello se muestreó y caracterizó los lixiviados generados, y se utilizó diversos materiales y equipos para llevar a cabo el experimento en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de La Selva (UNAS). Como resultado se obtuvo la reducción significativa de la materia orgánica en relación con la relación molar de $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$ utilizado, así se obtuvo una reducción de microorganismos bacterianos y fúngicos en un 37 % y 50 %, respectivamente.

Sota Iparraguirre (2021) desarrolló la investigación «*Efectos del diseño de un relleno sanitario en la percepción de disposición de residuos de los pobladores de Chincha Alta – Ica*» en la cual buscó determinar la percepción de la población de Chincha Alta, en Ica respecto al diseño de la infraestructura de disposición final. Se tomó como población a un total de 66,349 habitantes, donde se obtuvo una muestra 68 habitantes a los cuales se les realizó preguntas en relación con la construcción de un relleno sanitario. La construcción está conformada por especificaciones de un tipo de operación mecanizada, desarrollo de método Fukuoka, disposición de residuos sólidos municipales, estimación de una producción de residuos al año 2020 de 55,612.09 ton/año, una vida útil de 10 años, el manejo de gases se realiza mediante chimeneas y un tratamiento de lixiviados por recirculación. Los resultados muestran que el 61.8 % de la población está de acuerdo con el diseño de la infraestructura, asimismo un 80.9 % de la población percibe favorablemente la planificación de la disposición final de residuos sólidos planteada. Por consiguiente, se concluye que el diseño de un relleno sanitario aplicando el método Fukuoka mantiene aceptación por parte de la población de Chincha Alta, Ica, toda vez que, se obtendría una mejora en la gestión de los residuos sólidos y, además, disminuiría la cantidad de puntos críticos.

2.2. Bases teóricas

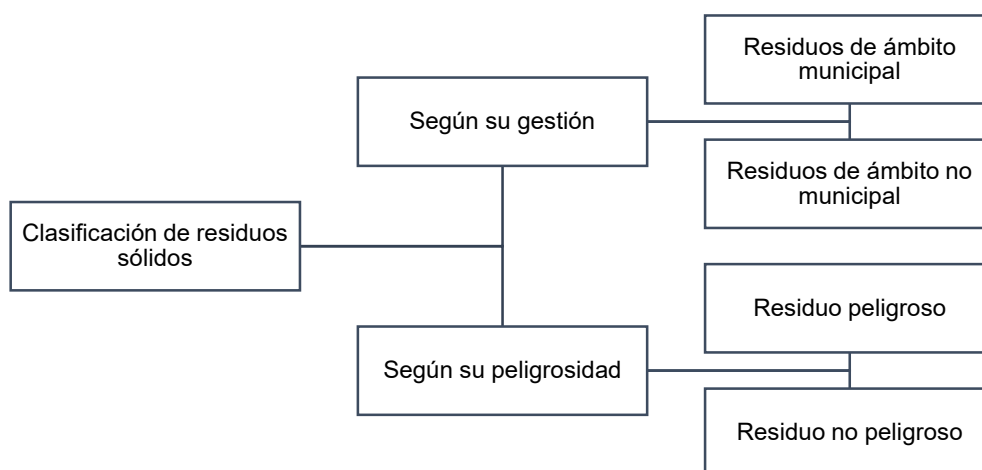
2.2.1. Residuos sólidos

Existen diferentes conceptos de residuos sólidos en la bibliografía, uno de ellos se encuentra en la legislación peruana. Según el «*Decreto Legislativo N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*», modificado por el Decreto Legislativo N° 1501, los residuos sólidos son objetos, elemento, sustancia y/o material que resulta del consumo de un bien o el uso de un servicio; el residuo sólido puede encontrarse en fase sólida o semisólida (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016). Asimismo, en otro concepto, el residuo sólido puede definirse como un producto, sustancia y/o material que se genera a partir de las actividades humanas o eventos naturales, y que no posee función alguna para el evento que lo provocó. En el caso de las comunidades, sus residuos sólidos se generan a partir de las actividades económicas y sus hábitos diarios (Lara Contreras & Velásquez Hernández, 2016). No obstante, en los últimos años se ha integrado al concepto una visión más general del mismo, siendo la palabra residuo sólido aquel material sobrante que aún puede tener valor, y puede ser reutilizado como un nuevo recurso (Hoyos, 2018).

2.2.1.1. Tipos de residuos sólidos

La legislación peruana establece una clasificación de residuos sólidos según el manejo que reciben, siendo los tipo no peligrosos y peligrosos; asimismo, se clasifican según la autoridad competente en no municipales y municipales (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016).

A continuación, se muestra una figura resumen de la clasificación de residuos sólidos:

Gráfico N° 1: Clasificación de residuos sólidos

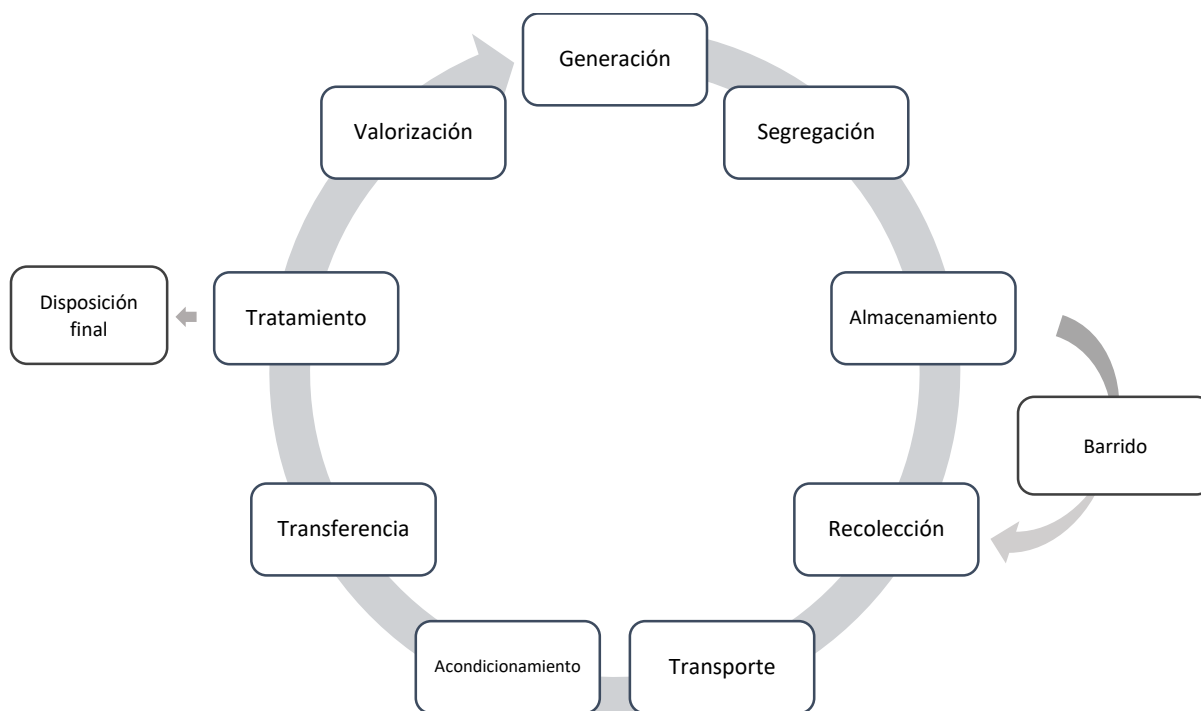
Fuente: Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016).

2.2.2. Gestión de residuos sólidos

La gestión de residuos sólidos es un tema que ha dado que hablar en los últimos tiempos debido a la complejidad que representa, especialmente en los países en vías de desarrollo, toda vez que está relacionado con factores como el crecimiento de la población, la cantidad generada de residuos, problemas económicos, problemas institucionales y la educación ambiental (Jaramillo, 1999). Es así que la gestión de residuos sólidos es aquella donde se incluye a diversos componentes tales como: administrativas, económicas, legales, planificación e ingeniería que tienen como objetivo el dar solución a los problemas que acontece a los residuos sólidos; estas soluciones daban «relaciones interdisciplinarias complejas entre campos como la ciencia política, el urbanismo, la planificación regional, la geografía, la economía, la salud pública, la sociología, la demografía, las comunicaciones, la conservación, así como, la ingeniería y la ciencia de los materiales» (Rondón Toro *et al.*, 2016, p. 30).

En el ámbito municipal, según la legislación peruana se clasifica en las siguientes etapas:

Gráfico N° 2: Gestión de residuos sólidos municipales



Fuente: «Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólido» (2017), modificado por el «Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM».

Además, el manejo de los residuos sólidos está relacionado con tres importantes ejes: salud de la población, ambiente y desarrollo. En primer lugar, debido al inadecuado manejo de residuos sólidos, la salud de la población es afectada a través de enfermedades bacterianas y parasitarias, toda vez que se generan vectores; asimismo, se da lugar a lesiones e infecciones generadas por objetos cortopunzantes en los botaderos; por último, la afectación al sistema respiratorio por la quema de residuos sólidos. En segundo lugar, un inadecuado manejo de residuos sólidos llega a afectar a los componentes ambientales agua, tierra y aire; por ejemplo: mediante la acumulación de residuos sólidos próximos a aguas que contaminan las mismas con metales pesados, entre otros; impacto al aire por la quema

indiscriminada de residuos sólidos, así como la generación de ruido, entre otros. Finalmente, el inadecuado manejo de residuos sólidos trae consigo a problemas económicos y sociales altos toda vez que afectan la calidad de vida de la población, reducen la productividad, e impactan en el camino a un desarrollo sostenible (Contreras Santos, 2008).

2.2.3. Relleno sanitario

Los rellenos sanitarios son aquellas infraestructuras destinadas a la disposición final de residuos sólidos que no son aprovechables ni reciclables, su diseño permite la minimización de los impactos ambientales y reduce los riesgos sanitarios (Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, 2002). Asimismo, en la legislación peruana el relleno sanitario es aquella instalación que posee el objetivo que la disposición final sea ambiental y sanitariamente segura, ya sea en la superficie o bajo tierra en base a especificaciones técnicas de ingeniería (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016).

2.2.3.1. Tipos de relleno

Según la disposición final se distingue tres (03) tipos: relleno sanitario manual que posee una capacidad operativa diaria de máximo seis (06) toneladas métricas. Asimismo, se encuentra el relleno sanitario semi mecanizado, que posee una capacidad operativa diaria de seis (06) a 50 toneladas métricas. Finalmente, se encuentra el relleno sanitario mecanizado con capacidad operativa diaria de 50 toneladas métricas a más (Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM, 2022).

Del mismo modo, de acuerdo con el método de edificación de un relleno sanitario, se identifican tres (03) tipos. El primero es el método de trinchera o zanja, el cual cada dos (02) o tres (03) metros se excava zanjas o trincheras con un tractor oruga o retroexcavadora, donde luego los residuos sólidos municipales se esparcen y acomodan para luego verter material de cobertura. El segundo tipo es denominado método de área, el cual vierte los residuos sólidos sobre el suelo que previamente se encuentra aislado por una capa

impermeabilizable, agregando una capa de residuos sólidos seguido de una capa de suelo que es transportado de otro lugar, formando así varias capas alternadas. Finalmente, el tercer método es la combinación de los anteriores mencionados, el cual combina los dos diseños para aprovechar de la mejor manera el terreno y material de cobertura (Jaramillo, 2002).

Por otro lado, de acuerdo con el proceso de descomposición, los rellenos sanitarios se clasifican en tres; descomposición anaeróbica, siendo aquella donde se impide la entrada de oxígeno al cuerpo de los residuos sólidos dando lugar al proceso de la fermentación, donde intervienen microorganismos metanogénicos, asimismo se encuentra la descomposición aeróbica, siendo este proceso provocado por el aire atrapado en las capas del relleno sanitario, además la actividad microbiana logra estabilizar la materia orgánica presente y con ello aminorar la generación de metano. Del mismo modo se menciona la descomposición semi-aeróbica, la cual consiste en crear condiciones para el ingreso de oxígeno a través de grava ampliando en tal sentido la región aeróbica en los residuos, obteniéndose la supresión de la generación del metano y aminorando la DBO en el lixiviado (Vallejo Villegas *et al.*, 2021).

2.2.3.2. Subproductos

El funcionamiento de un relleno sanitario genera diversos contaminantes producto de la actividad microbiana y la liberación de estos a partir de los residuos. Por un lado, se pueden encontrar contaminantes sólidos como el material ligero y polvo que son desplazados por el viento, y los contaminantes líquidos resaltando la generación del lixiviado. Este es el resultado del contacto de las aguas de lluvias infiltradas en las capas del relleno con los residuos sólidos con, y pueden representar un potencial peligro al suelo y aguas subterráneas si no se establecen las medidas necesarias (Kiss Köfalusi & Encarnación Aguilar, 2006). Los lixiviados tienen elevada carga orgánica y una coloración variante café-pardo-grisáceo

cuando están frescos y coloración negro viscoso cuando envejecen, asimismo la composición de los componentes mantiene un rango que se muestra a continuación:

Tabla N° 1: Composición de lixiviados

Componentes	Rango (mg/l)
Sodio	200 – 2,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	2,000 – 30,000
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	3,000 – 45,000
pH	5.3 - 8.5
Nitratos	5 - 40
Cloruros	100 - 400
Cobre	0 - 9
Cadmio	0 - 17
Sulfatos	100 – 1,500
Dureza (CaCO ₃)	300 – 10,000
Flúor	0 - 1
Fierro	50 - 600
Cromo (VI)	2
Plomo	2

Fuente: Corena Luna (2008).

Asimismo, los rellenos sanitarios emiten biogás, compuesto en su mayoría por metano y anhídrido carbónico los cuales contribuyen con el calentamiento global (Kiss Köfalusi & Encarnación Aguilar, 2006). Los componentes del biogás producido en los rellenos sanitarios se encuentran en rangos de acuerdo con cada parámetro, que es mostrado a continuación:

Tabla N° 2: Rangos de composición del biogás generados en rellenos sanitarios

Parámetro	Rango de variación
Nitrógeno	5 -40 % N ₂
Sulfuro de hidrógeno	0 – 0.01 % H ₂ S
Metano	30 – 65 % CH ₄
Cloruro total	0.005 % Cl
Nivel de energía mínimo	10.8 - 23.3 MJ/Nm ³
Dióxido de carbono	20 – 40 % CO ₂
Hidrógeno	1 – 3 % H ₂
Sulfato total	0 – 0.01 % S
Oxígeno	0 – 5 % O ₂
Contenido de humedad	0 -100 % humedad relativa
Argón	0 – 0.4 % Ar

Parámetro	Rango de variación
Temperatura	10 – 40 °C
Masa	1.1 - 1.28 kg/m ³

Fuente: Camargo & Vélez (2009).

2.2.4. Marco legal

A nivel nacional, la gestión de residuos sólidos distintos a los de origen doméstico, comercial o que debido a que tengan distinto origen posea cualidades similares a aquellos, son de responsabilidad del generador hasta su disposición final adecuada (Ley General del Ambiente, 2005; Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016). Por lo mismo, el gobierno establece un instrumento donde se plasma el cumplimiento de los compromisos y ejes estratégicos que orientan a fortalecer y mejorar el sector, el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (MINAM, 2017). Además, la gestión integral de residuos sólidos establece lineamientos en relación con la disposición final, donde se establece acciones destinadas a la recuperación de áreas degradadas que han sido influenciadas por la descarga incontrolada e inapropiada de residuos sólidos o gestionar la transformación progresiva en rellenos sanitarios (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016).

Por otro lado, los rellenos sanitarios son considerados como infraestructura de residuos sólidos; estos poseen especificaciones mínimas en las instalaciones bajo regulación legal. En cuanto a las especificaciones para el manejo de los lixiviados y biogás, se exige la construcción de poza de almacenamiento, drenes y sistema de circulación de lixiviados, sistema de monitoreo y control de biogás y lixiviados, la impermeabilización de la base (Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM, 2022).

2.2.5. Método Fukuoka

2.2.5.1. Historia

En los años 1970, la ciudad Fukuoka sufría serios problemas de contaminación debido a los lixiviados, drenajes y otros generados en las áreas degradadas. Es por ello por lo que la universidad de Fukuoka empezó a trabajar con el objetivo de mejorar la calidad de los rellenos sanitarios, haciendo así que, por 13 años, desde 1973, se experimentaran en el relleno de Hisayama (Fukuoka City Environmental, 2013), dando a conocer el Método Fukuoka o método de relleno sanitario semi-aeróbico, inventado por el catedrático Masataka Hanashima. En 1975 se implementó por primera vez en el vertedero Shin-Kamata en la ciudad de Fukuoka y en 1979 se adopta aquel método como diseño estándar para las directivas definitivas en los vertederos de Japón (Fukuoka Prefecture, 2020). Cabe resaltar que el método fue certificado como un método innovador de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que se especifica en la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* en el año 2011 (Fukuoka City Environmental, 2013).

2.2.5.2. Características del Método Fukuoka

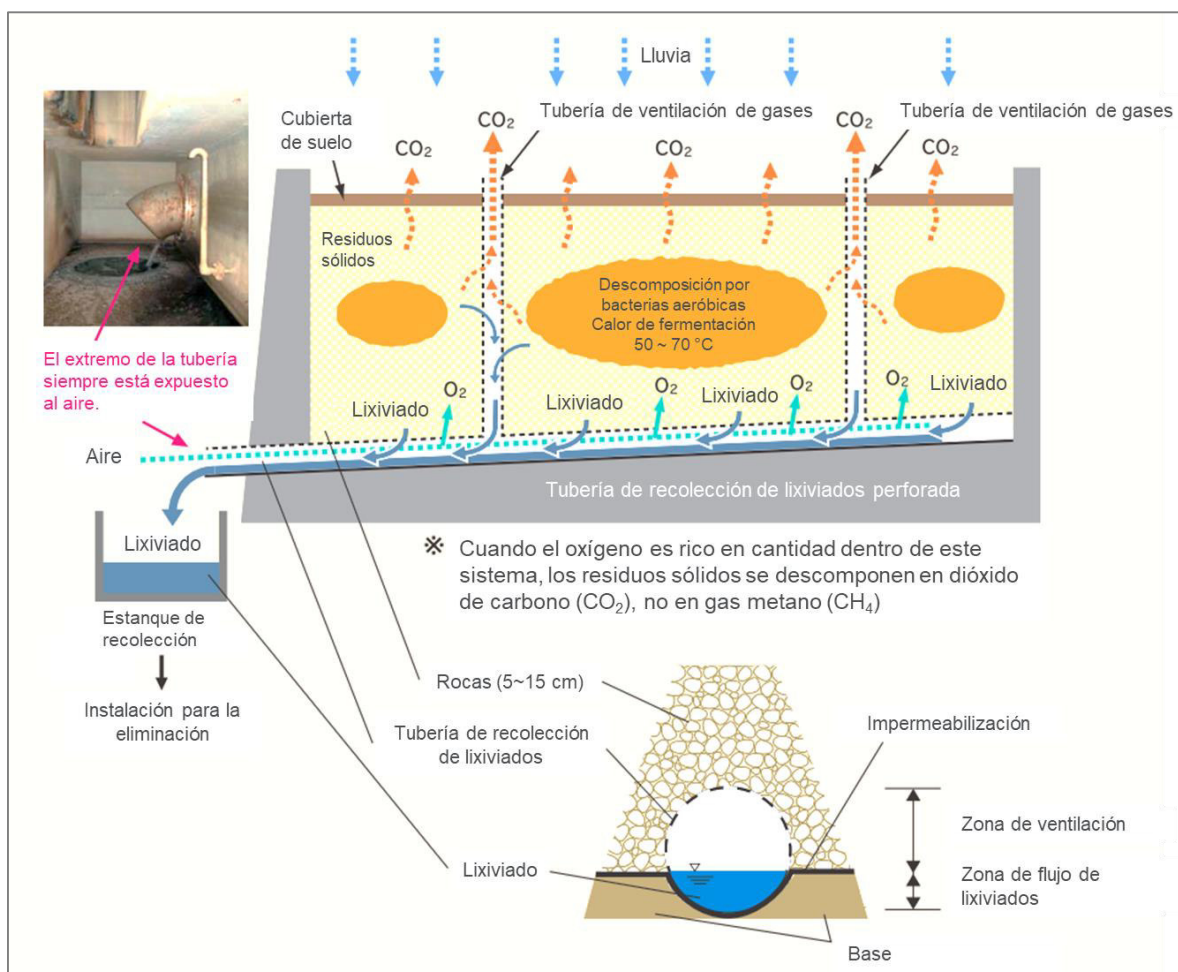
Con el fin de entender la generación de los subproductos, se debe de hablar de la digestión anaeróbica la cual es una fermentación microbiana que se da en ausencia del oxígeno, el cual da lugar una mezcla gaseosa de metano (50 % a 70 %), dióxido de carbono (30 % a 50 %) y otros gases en menores proporciones. Esta se realiza a base de una gran cantidad de microorganismos que realizan su metabolismo en serie o serie-paralelo, donde degradan la materia orgánica en etapas sucesivas. Se destaca la fase no metanogénica, donde se puede encontrar a aquellos microorganismos anaeróbicos facultativos, tales como *Lactobacillus*, *Spirillum*, *Klebsiella*, entre otros; microorganismos anaeróbicos estrictos, tales como *Bacteroides*, *Sphaerophorus*, *Peptococcus*, entre otros; y la fase metanogénica, donde se encuentran los anaeróbicos extremos, tales como el *Methanobacterium*, *Methanococcus*,

Methanospirillum, *Methanobrevibacter* y *Methanomicrobium*, principalmente (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005). Asimismo, el otro tipo de digestión es la aeróbica, la cual se da en presencia del oxígeno.

En ese sentido, el método Fukuoka opta por considerar disminuir costos de inyección de aire como lo sería un relleno sanitario aeróbico para promover el desarrollo de microorganismos aeróbicos que realicen la digestión aeróbica, por lo cual consta de un sistema de relleno sanitario semi-aeróbico, el cual utiliza procesos de descomposición en condiciones aeróbicas para la promoción en el incremento de la actividad microbiana y por consiguiente lograr una mayor estabilización de los residuos sólidos (SPRED & JICA, 2010). Este sistema elimina lixiviados y biogás generado de la masa de residuos sólidos mediante un sistema de recolección, cuyos diseños de ingeniería han sido adecuados para que el aire del ambiente fluya hacia la masa de residuos sólidos a través de tuberías que recolectan los lixiviados (Chong *et al.*, 2005).

Para ejemplificar tal consideración, se explica que el método consta de un sistema de recolección de lixiviados compuesto por una tubería central, tubería principal de recolección, con ramales hacia ambos lados colocados en un espacio adecuado; la tubería principal de recolección termina en un estanque de recolección de lixiviados. Cada tubería posee orificios de aproximadamente 2.54 cm de diámetro, estos se colocan en roca graduada de 10 a 25 cm de diámetro y sobre una pendiente que permita la fácil recolección de lixiviados. Las tuberías están diseñadas con el fin de que solo un tercio de su total se llene con lixiviados, y el resto para que el aire pueda fluir libremente. En el caso del biogás, en cada intersección de la tubería de recolección principal con las tuberías de derivación, y al final de estas, se instala las tuberías verticales de ventilación de gas, estos tubos están perforados en su largo y cubiertos por rocas clasificadas (JICA & Ministry of Housing and Local Government, 2004).

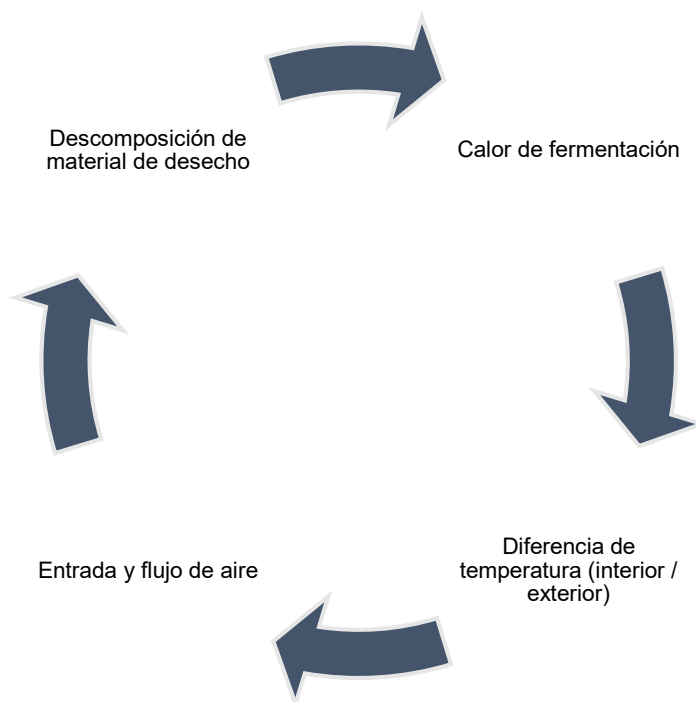
Ilustración N° 2: Mecanismo del relleno sanitario semi-aeróbico



Fuente: Adaptado de Fukuoka City Environmental (2013, p.3).

Asimismo, lo que permite el ingreso del aire a través de la tubería principal son las corrientes de convección generadas por la diferencia de temperatura entre capa y capa de residuo; por consiguiente; la actividad microbiana aumenta en el relleno sanitario y a su vez el calor, generando así un bucle (JICA & Ministry of Housing and Local Government, 2004).

Gráfico N° 3: Ejemplificación del ingreso del aire al relleno sanitario semi-aeróbico



Fuente: Fukuoka City Environmental (2013).

El método Fukuoka posee múltiples beneficios, entre ellos se encuentra el bajo grado de demanda técnica, menor costo y facilidad para la operación y mantenimiento; la generación de lixiviados con menor carga orgánica lo cual representa un menor riesgo de contaminación a las aguas subterráneas; existe una contribución a la prevención del calentamiento global debido a un control y menos generación de biogás; y brinda una rápida estabilización del relleno sanitario debido a la biodegradación de los residuos sólidos (Tashiro, 2010).

El diseño integral del relleno sanitario semi-aeróbico del método Fukuoka puede aplicarse en países en desarrollo ya sea para el desarrollo de un nuevo relleno sanitario, la mejora del relleno sanitario operativo o establecer un adecuado cierre de un relleno sanitario terminado (Chong *et al.*, 2005). Esto se debe a que el método semi-aeróbico reduce costos en instalaciones y sistemas de bombeo de inyección de aire debido a que el sistema de

drenaje de biogás y de lixiviados que se contempla sirve como conductor de aire para el ingreso hacia los residuos sólidos, por el cual se considera económicamente eficiente en el proceso en relación al método aeróbico; asimismo, el tiempo de descomposición de la materia orgánica es menor en relación al método anaeróbico tradicional (Compromiso Empresarial para el Reciclaje (CEMPRE) Uruguay, 1998).

2.2.5.3. Lixiviados

Los rellenos sanitarios poseen un segundo subproducto denominado lixiviados, los cuales se generan debido a la descomposición de residuos y el agua que entra en contacto. Su poder contaminante es alto debido a características tales como elevado contenido de materia orgánica, metales pesados, patógenos, fósforo, nitrógeno, entre otros; y de no manejarse adecuadamente trae consigo impactos a aguas subterráneas, suelo y aguas superficiales (Giraldo, 2001). En un relleno sanitario joven, las concentraciones contaminantes son mucho más elevadas, alcanzando así su mayor carga contaminante reduciéndose con los años; es por ello por lo que se requieren tratamientos para la remoción de DBO (Reyes Medina, 2015).

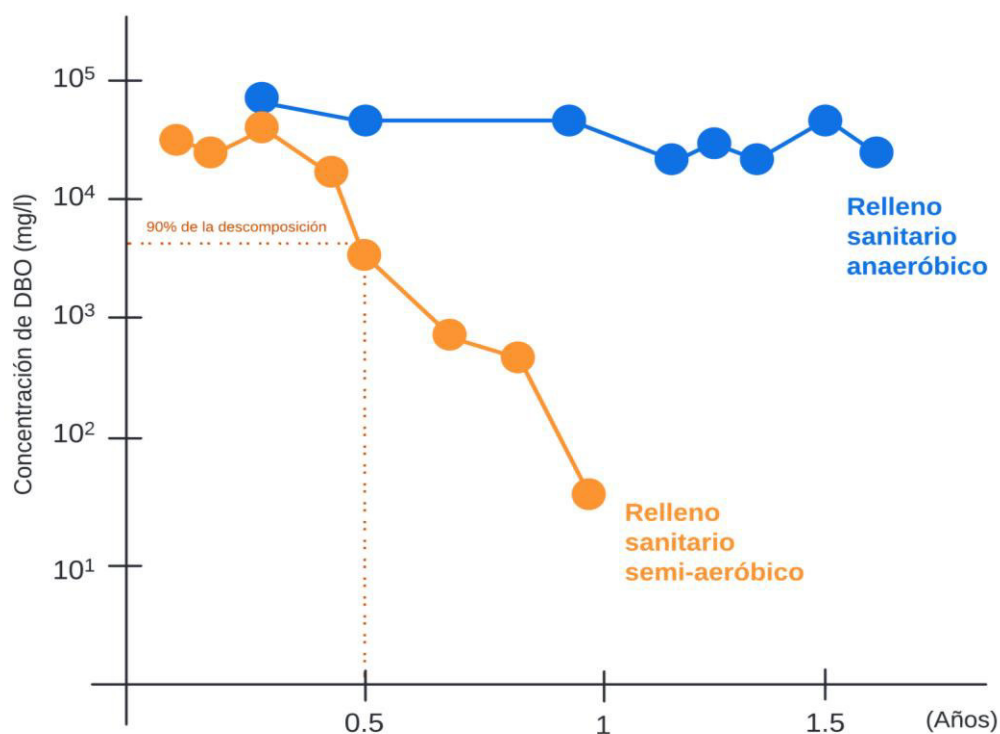
Sin embargo, en países de Latinoamérica, las tecnologías aplicadas para el tratamiento de lixiviados no son suficientes para controlar la contaminación ambiental, por lo cual se incrementan los costos de la operación y manejo de lixiviados, además de poner en riesgo el uso de recursos ambientales en un futuro (Zafra Mejía & Romero Torres, 2019).

2.2.5.3.1. Reducción de lixiviados aplicando el método Fukuoka

Existe una reducción de la concentración de DBO de los lixiviados generados en un relleno sanitario si se utiliza el método Fukuoka, el cual sostiene el Ministerio del Medio Ambiente de Japón (2012) en su publicación Gestión de residuos sólidos y tecnología de reciclaje de Japón - Hacia una sociedad sostenible.

La Ilustración N° 3, indica la variaciones de las concentraciones del DBO a través del tiempo en relación a tres tipos de rellenos sanitarios; en primer lugar, se observa la tendencia del relleno sanitario anaeróbico, la cual muestra una disminución no significativa de la concentración del DBO; en segundo lugar, se aprecia la tendencia del relleno sanitario aeróbico, la cual muestra una disminución considerable en el primer año de operatividad; del mismo modo, podemos resaltar la tendencia que conlleva el relleno sanitario semi-aeróbico, debido a que en los seis primeros meses indica una descomposición del 90 %, el cual se expresa en una disminución significativa en la concentración del DBO; asimismo, transcurrido un año podemos resaltar que la descomposición se da al 99.9 %.

Ilustración N° 3: Concentración de la DBO en rellenos sanitarios anaeróbico, aeróbico y semi-aeróbico durante los primeros 1.5 años de operatividad

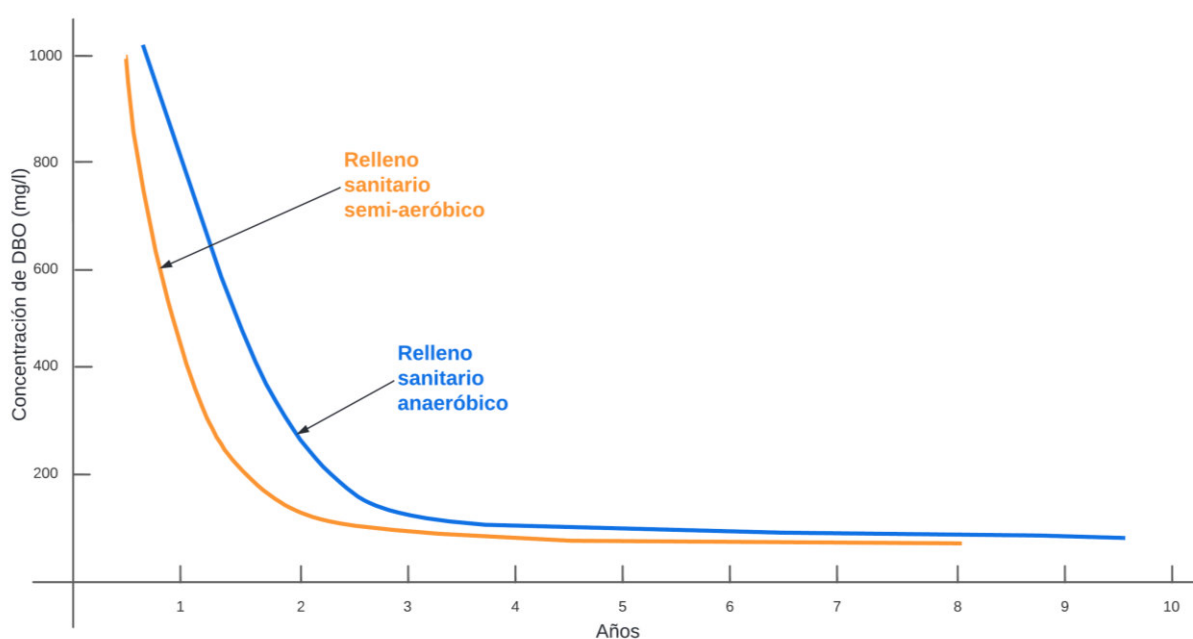


Adaptado de: Ministry of the Environment of Japan (2012, p. 26).

De similar modo, investigaciones realizadas por organismos internacionales, señalan resultados satisfactorios en la reducción de la carga orgánica del lixiviados, analizando la

variación de la concentración de la DBO a través del tiempo. En la Ilustración N° 4, se muestra tres (03) lugares de rellenos sanitarios durante un periodo de 10 años a partir del funcionamiento de los mismos. Se aprecia que inmediatamente después del inicio de la disposición final en el relleno sanitario semi-aeróbico alcanzó su punto máximo en concentración de DBO (1,000 mg/l), sin embargo, luego de un año de actividad, se muestra la reducción significativa de la concentración de la DBO, la cual cae por debajo de 100 mg/l.

Ilustración N° 4: Fluctuación de DBO según diferentes tipos de sistema de relleno sanitario



Adaptado de: JICA & Ministry of Housing and Local Government (2004, fig. II-29).

2.2.5.4. Gases (biogás)

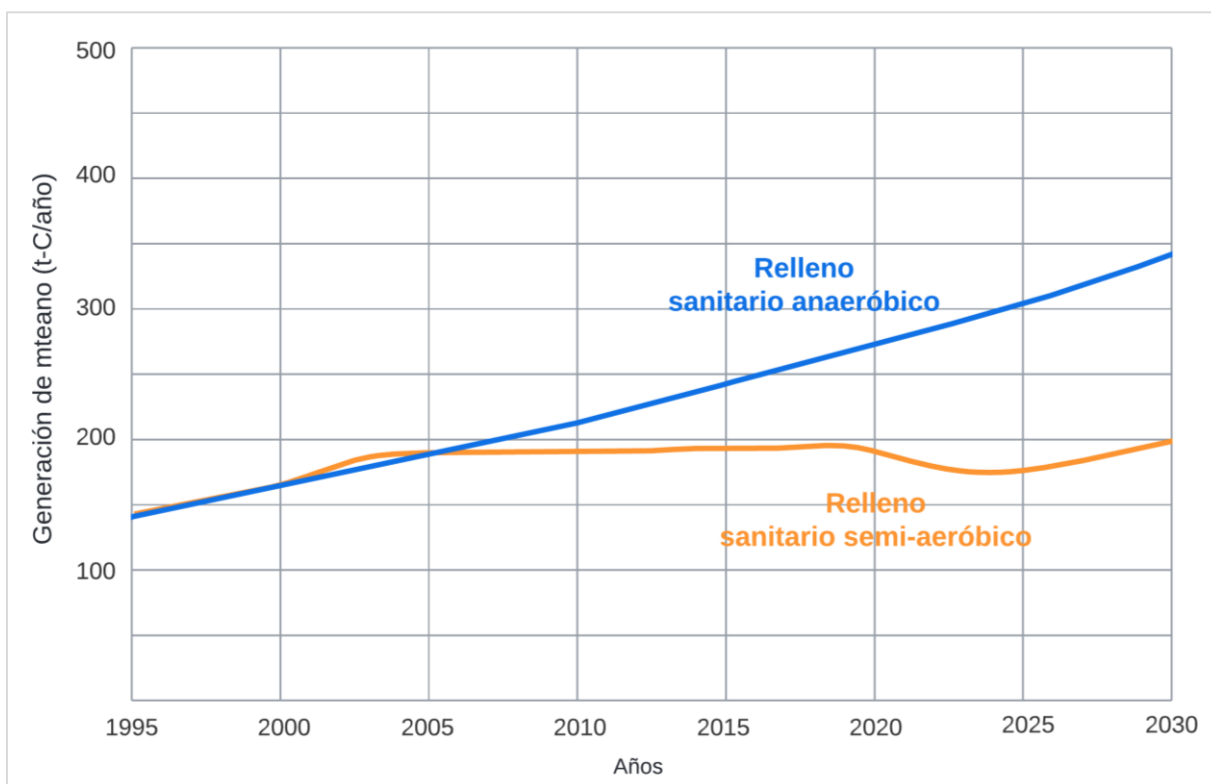
La funcionalidad de los rellenos sanitarios trae consigo impactos ambientales relacionados a sus subproductos, tal es el caso de la generación de gases de efecto invernadero. El cambio climático y los rellenos sanitarios se asocian mediante la generación de metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2), los cuales son emitidos por la acción de descomposición de residuos sólidos. Estas emisiones representan del 3 % al 5 % del total de emisiones antropogénicas en el mundo de gases de efecto invernadero.

(Cabeza Díaz, 2020). Entre los gases, el metano (CH_4) es uno de los más contaminantes y perjudiciales ya que posee una vida media de 12 años en la atmósfera y un alto poder de absorción de radiaciones haciendo que el impacto sea más fuerte; mientras que el dióxido de carbono, si bien tiene una vida media de 120 años, posee bajo poder de absorción. Las emisiones generadas de metano por la disposición de residuos sólidos han sido estimadas por la Environmental Protection Agency (EPA), llegando a producirse entre 22 y 46 millones de toneladas al año emitidas (Pinzón Uribe, 2019) y se calcula que el 14 % de las emisiones de metano en el mundo son relacionados a rellenos sanitarios (Armenta Rivas *et al.*, 2017).

2.2.5.4.1. Reducción de metano aplicando el método Fukuoka

Según el Fukuoka City Environmental (2013), un relleno sanitario que aplica el método Fukuoka puede reducir hasta en un 50 % la emisión de gases de efecto invernadero, en comparación a un relleno sanitario anaeróbico. El suministro de oxígeno provoca una aceleración en la descomposición de los residuos, uniéndose al carbono de este para así producir dióxido de carbono. Una vez que el oxígeno se ha consumido, incorporado con los residuos sólidos, pasa a la etapa de fermentación anaeróbica para producir metano y dióxido de carbono.

En la Ilustración N° 5, se presenta la reducción de las emisiones del gas de efecto invernadero metano en el caso del botadero de Malasia, convertido al método Fukuoka.

Ilustración N° 5: Reducción de emisión de metano – estudio de caso Malasia

Adaptado de: Fukuoka City Environmental (2013, p. 7).

2.2.5.5. Aplicaciones

En Hanoi, Vietnam, la disposición de los residuos sólidos generados se tornó en un desafío debido al desarrollo económico, por lo cual la disposición adecuada de los residuos sólidos se consideró una prioridad, optando el mejoramiento y desarrollo de los vertederos finales. En ese sentido, la prefectura de Fukuoka y la ciudad de Hanoi firmaron un acuerdo de cooperación ambiental y se optó por la edificación de un lugar de disposición final de residuos sólidos en la ciudad de Hanoi con una capacidad alrededor de 240,000 m³ y una frecuencia de eliminación de residuos de 300 t/día, utilizando el método Fukuoka como tecnología ambiental guiada por el inventor del mismo, Masataka Hanashima, además de brindar apoyo del programa de cooperación técnica de base de Japan International Cooperation Agency (en adelante JICA). En 2008, se firmó un acuerdo de amistad entre la

prefectura de Fukuoka y la ciudad de Hanoi, y en 2009 se envió un equipo de profesionales para la realizar un estudio ambiental que propondrían las medidas pertinentes en relación con la problemática ambiental en Hanoi. En el 2010, se firmó un acuerdo de cooperación ambiental entre la prefectura de Fukuoka y la ciudad de Hanoi; en el 2012, se tomó la decisión de introducir el método Fukuoka previa su evaluación; en el 2013, se dio inicio el proyecto en cooperación técnica de base de JICA denominado «*Proyecto de mejora del desarrollo del relleno sanitario en Hanoi*»; en 2014 se comenzaron las actividades en el lugar de eliminación de Xuân Son; en junio del 2015, se culminó las labores en el lugar de eliminación de Xuân Son. Finalmente, en noviembre del 2018, el vertedero de Xuân Son logró su capacidad estimada (Fukuoka Prefecture, 2020).

Ilustración N° 6: Construcción del relleno sanitario de Xuân Son en Hanoi, Vietnam





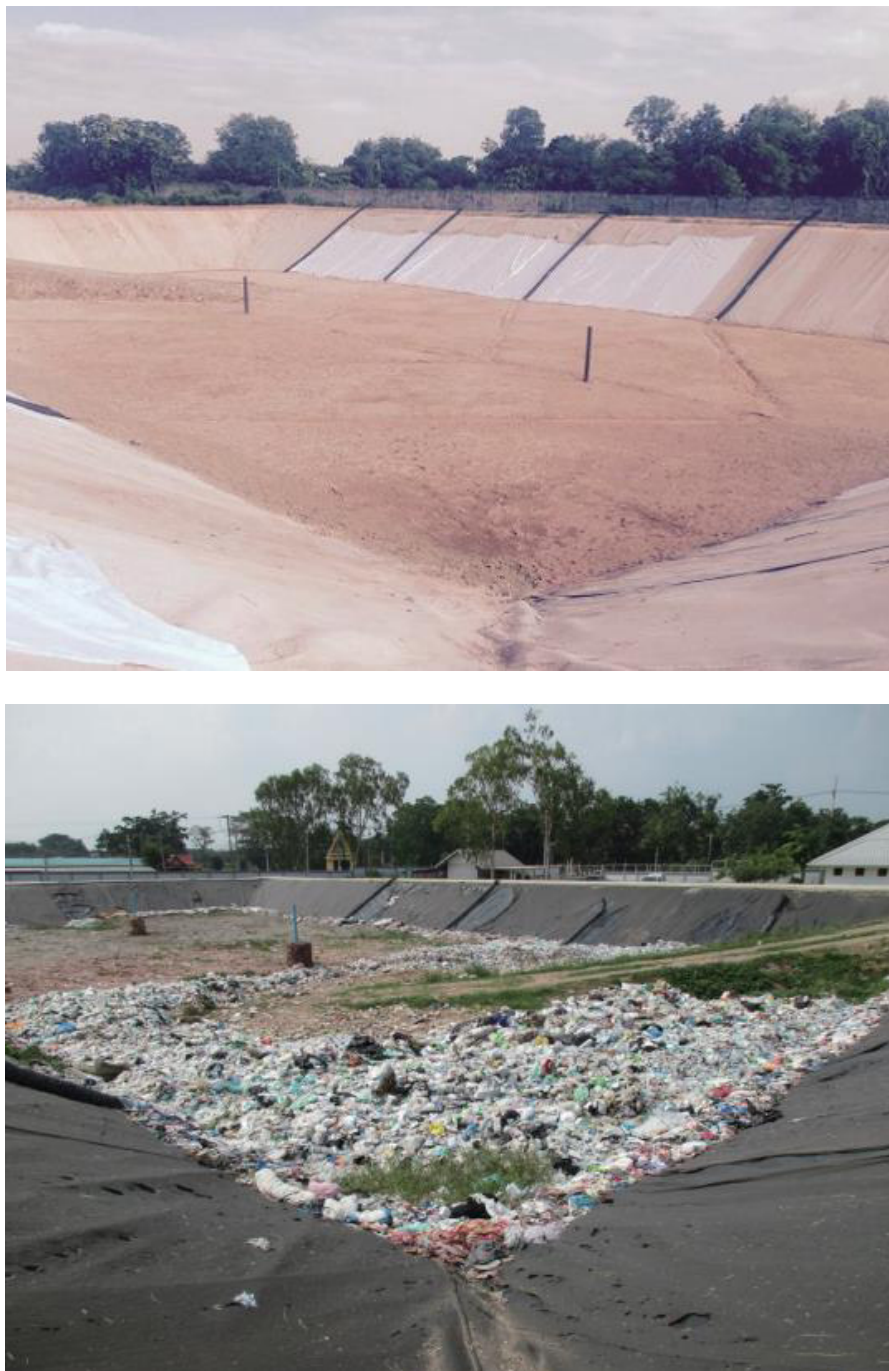
Nota: La imagen superior es el inicio de la construcción del relleno; mientras que la imagen inferior es el relleno sanitario en su capacidad estimada.

Fuente: Fukuoka Prefecture (2020, p.11).

Otra aplicación a nivel internacional se llevó a cabo en el distrito de Sikhio, provincia de Nakhon Ratchasima, Tailandia. En este país se optó por la aplicación del método Fukuoka para la disposición final de los residuos sólidos, por la cual se solicitó apoyo de la prefectura de Fukuoka, la cual contaba con la técnica base de JICA. Durante el 2009, el personal del Departamento de Control de la Contaminación (PCD) del Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Tailandia asistió a una capacitación internacional a cerca del desarrollo de recursos humanos ambientales, el cual analizó el lugar de eliminación del método Fukuoka, con lo cual el gobierno decidió establecer comunicación con la prefectura de Fukuoka para la aplicación en su territorio. En el 2012, se dio inicio al Proyecto de Cooperación Técnica de base de JICA denominado «*Asistente para la planificación de vertederos de residuos para Tailandia (Fase I)*»; durante el 2014, comenzó las obras en el vertedero en Sikhio; en setiembre de 2015, se culminó las obras en el vertedero, el cual cuenta con una capacidad de 6,966 m², una superficie del terreno de 18,712 m² y un periodo de utilidad estimada de 10 años; en setiembre de 2016, se inició las operaciones en el vertedero. Finalmente, en el 2017, se dio inicio al proyecto de Cooperación Técnica de base

de JICA denominado «*Apoyo a la construcción adecuada de tratamiento de residuos en el Reino de Tailandia (Fase II)*».

Ilustración N° 7: Infraestructura del Relleno sanitario en Sikhio, Ratachasima-Tailandia



Nota: La imagen superior es la infraestructura de residuos sólidos completada; mientras que la imagen inferior es la infraestructura durante su etapa de operación en octubre del 2019.

Fuente: Fukuoka Prefecture (2020, p.14).

Por otro lado, el método fue aplicado también en el relleno sanitario de Malasia. Este vertedero estaba en deplorables condiciones debido a la generación de biogás por los residuos sólidos, lo cual significaba un gran reto por resolver. Su recuperación constó de tres pasos; en primer lugar, la mejora del relleno existente, segundo la transferencia técnica al método Fukuoka, y por último el eventual tratamiento de lixiviados generados. El sitio de disposición final mejoró enormemente (Yasushi, 2019).

A nivel nacional existen infraestructuras de disposición final de residuos sólidos que utilizan este método. Los primeros en realizarse fueron del proyecto denominado «*Desarrollo Rural en la Región Amazonas*» que fue financiado por JICA. Este proyecto constó de la construcción de cuatro rellenos sanitarios que aplican el método Fukuoka para la región Amazonas, siendo el primer relleno sanitario del país en aplicar dicho método el llamado Relleno Sanitario Magdalena, Tilacancha con una capacidad de 222,000 m³ de residuos sólidos por 10 años (JICA Peru, 2019). Los tres rellenos sanitarios restantes que utilizan el método Fukuoka son Relleno Sanitario Mariscal Castilla, Alto Utcubamba; Relleno Sanitario Luya, Chillaos; y Relleno Sanitario San Carlos, Valle de las Cataratas (Valverde Romero, 2021). Por otro lado, la Celda Transitoria de Rupa Rupa ubicada en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco fue inaugurada en julio del 2021, beneficiando a más de 78,000 habitantes de cinco distritos de la provincia de Leoncio Prado con un volumen capaz de recepcionar 72,768 m³ de residuos sólidos; su diseño consta de la tecnología japonesa del método Fukuoka (MINAM, 2021). A la actualidad, existen un total de 13 rellenos sanitarios que aplican el presente método a nivel nacional.

2.3. Definición de términos

Biogás: «El 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 (...) y otros factores, en ausencia de oxígeno (...). El producto resultante es una mezcla constituida por metano (CH_4) (...), dióxido de carbono (CO_2), (...) hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S)» (Ayala, 2010).

Disposición final: «Procesos u operaciones para tratar y disponer en un lugar los residuos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura» (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016, p. 15).

Lixiviado: El lixiviado es un líquido generado por el agua de lluvia o superficiales en contacto con los residuos. Además, se produce por la descomposición de los residuos sólidos depositados, los cuales se supera su capacidad de absorción, pasando a través de ellos y aumentando la concentración de contaminantes (Contreras Santos, 2008).

Método Fukuoka: El método Fukuoka es una estructura de relleno sanitario semi-aeróbico, el cual posee tuberías de recolección de lixiviado y gases por donde ingresa el aire. Esto favorece la descomposición de los residuos sólidos debido a un aumento de actividad microbiana, resultando con ello una menor carga contaminante en los lixiviados y gases generados (JICA & Institute for International Cooperation (IFIC), 2007).

Residuos sólidos: «Residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final» (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016, p. 16).

Relleno sanitario: «Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos en los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y

métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental» (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016, p. 16).

Sostenibilidad: es el resultado de la unión de los tres pilares fundamentales del Desarrollo Sostenible: económico, social y ambiental (Castaño Martínez, 2020).

CAPÍTULO III

3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. *La hipótesis*

3.1.1. Hipótesis general

La propuesta de disposición final de residuos sólidos basada en el método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima permite la reducción de impactos ambientales, sociales y económicos.

3.1.2. Hipótesis específica

- La caracterización de la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima, permite proyectar la demanda y oferta del servicio.
- El método Fukuoka permite reducir la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno y la cantidad de metano presente en el lixiviado y biogás, respectivamente, generados en el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima.
- La propuesta de disposición final de residuos sólidos basado en el método Fukuoka en el relleno sanitario de Chancay provincia de Huaral, departamento de Lima influye en la generación de beneficios ambientales, sociales y económicos.

3.2. *Las variables*

Las variables consideradas para la presente investigación son las siguientes:

- a) **Variable dependiente:** Propuesta de disposición final de residuos sólidos.
- b) **Variable independiente:** Método Fukuoka.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla N° 3: Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Método Fukuoka	El método Fukuoka es un relleno sanitario de tipo semi-aeróbico, el cual posee tuberías de recolección de lixiviado y biogás por donde ingresa el aire. Esto favorece que los residuos sólidos se descompongan por el aumento de actividad microbiana, resultando con ello una menor carga contaminante en los lixiviados y biogases generados (JICA & IFIC, 2007).	El método Fukuoka se aplicará a través de la proyección de residuos sólidos y la reducción los subproductos generados tales como la calidad orgánica de lixiviados y la cantidad de biogás emitido.	Residuos sólidos	Cantidad de residuos sólidos
				Lixiviados
			Subproductos	Gases (biogás)
Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Propuesta de disposición final de residuos sólidos	La propuesta es la primera fase de un proyecto, en el cual se centra en analizar, probar y permitir una investigación exhaustiva posterior (Fundación de Estudios Superiores, 2009).	La propuesta de disposición final de residuos sólidos se encuentra basada en el método Fukuoka, y se relaciona con los beneficios ambientales, sociales y económicos que se obtienen posterior a su aplicación en el relleno sanitario de Chancay.	Ambiental	Identificación de aspectos e impactos ambientales
				Impactos ambientales mitigados
			Social	Identificación de aspectos e impactos socioambientales
				Conflictos sociales evitados
			Económica	Identificación de procesos vinculados a los subproductos
				Costos ahorrados

CAPÍTULO IV

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

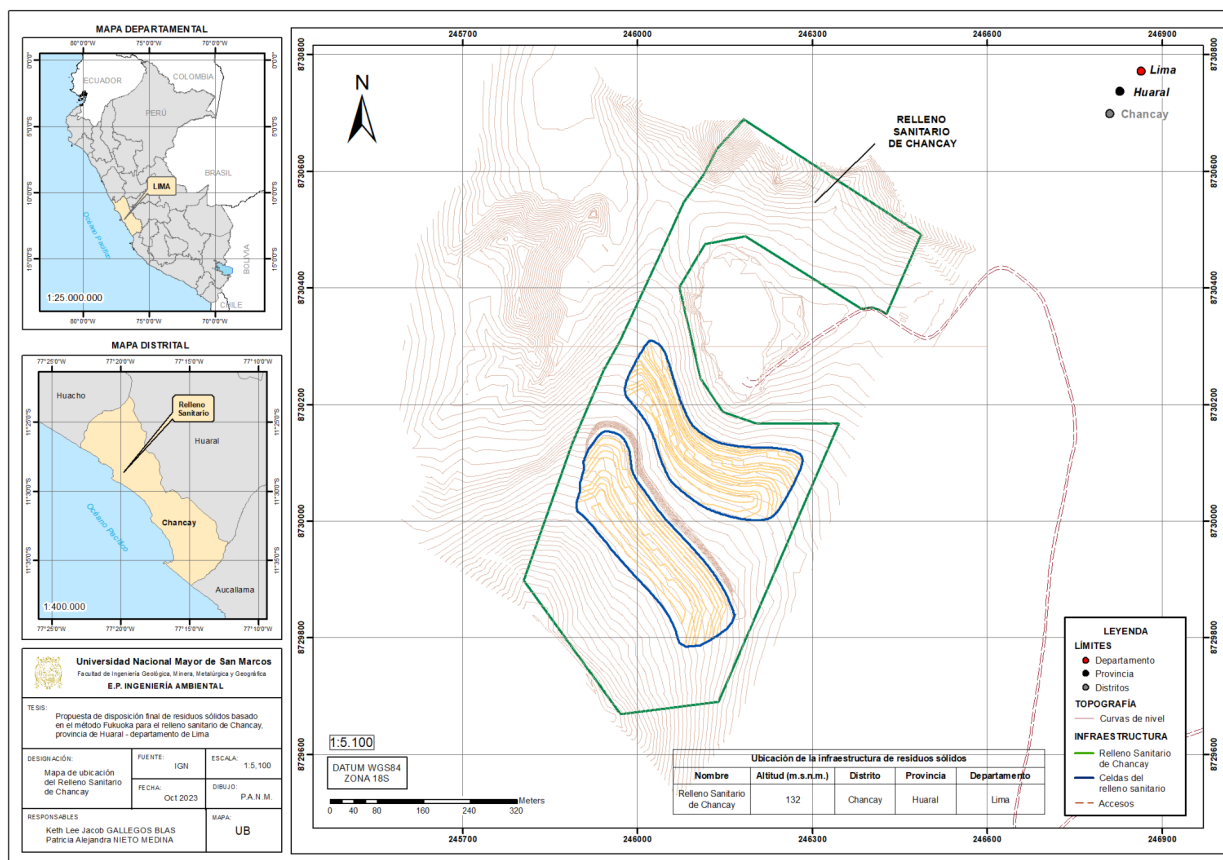
El área de estudio corresponde al relleno sanitario de Chancay, que recepciona los residuos sólidos del ámbito municipal no peligroso generados por los pobladores del distrito de Chancay. La infraestructura se ubica en el Centro Poblado 04 de Junio, km 93.5 Panamericana Norte, en el Sector Chancayllo – Punta Grita Lobos, distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima con Código de Ubigeo N° 150605. Posee una extensión de 36.83 ha, perímetro de 2,573.93 m, y altitud promedio 132 m.s.n.m. Las coordenadas de ubicación se muestran a continuación:

Tabla N° 4: Coordenadas del área de estudio

Descripción	Coordenadas UTM (WGS 84 – zona 18S)	
	Este	Norte
Relleno sanitario de Chancay	259942	8715994

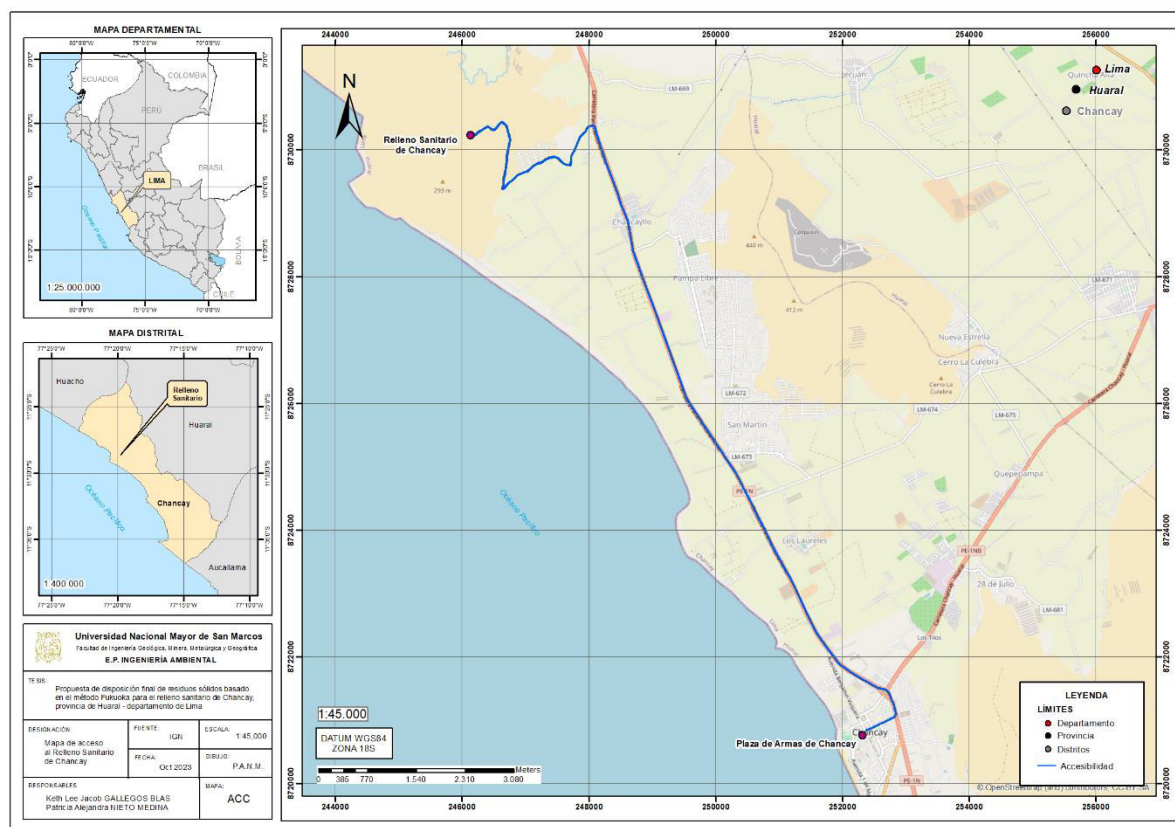
Fuente: «*Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral – 2014*», (Municipalidad Distrital de Chancay, 2014).

Ilustración N° 8: Localización del relleno sanitario de Chancay



El acceso al relleno sanitario de Chancay desde la Plaza de Armas de Chancay es dirigiéndose con dirección al norte por la Panamericana Norte hasta el km 93. Se desvía con dirección al Centro Poblado 04 de junio mediante un camino afirmado de 4 km aproximadamente hasta llegar a la tranquera que controla el ingreso al relleno sanitario.

Ilustración N° 9: Acceso al relleno sanitario de Chancay



4.1.1. Características físicas

Clima y meteorología: clasificado como E(d) B'1 H3, el cual es descrito como zona de clima semicálido, con lluvias mínimas influenciadas por la corriente peruana, y temperaturas de entre 16 y 23 °C (SENAMHI, 2021). La precipitación de la zona anual promedio es de aproximadamente 170.9 mm, siendo agosto el mes más lluvioso con 35.7 mm; la temperatura de la zona media anual es de 17.7 °C, constituyéndose entre enero y abril los de mayor temperatura, la humedad relativa mensual es de 91 %, y la velocidad del viento promedio es con dirección suroeste a 2.4 m/s (MINAM, 2020).

Geología: La geomorfología local está constituida de mantos de arena formados por el transporte y acumulación eólica, y colinas y lomadas las cuales están conformadas por laderas disectadas, elevaciones alargadas, y una pendiente moderada. La geología local,

está compuesta por depósitos residuales (Q-re), andesitas del grupo Casma (Ki-c), depósitos eólicos (Q-eo) y depósitos antrópicos (Q-ant). Los eventos con potencial de ocurrencia son las caídas de rocas de las colinas siendo las más cercanas a 100 o 200 m de distancia, inundación debido a épocas extraordinarias o fenómenos relacionados a El Niño; sin embargo, la zona de estudio se encuentra alejada de zonas inundables (MINAM, 2020).

Hidrología: El área de estudio se emplaza en dos (02) microcuencas, y se ubica en una cuenca endorreica, denominada Intercuenca 137559. No se identificó cuerpos de agua superficiales y subterráneas en las proximidades del lugar de emplazamiento (MINAM, 2020).

4.2. Diseño de investigación

Para la determinación del diseño, tipo, nivel y enfoque de la presente investigación, se utilizó los lineamientos publicados por Hernández *et al.* (2014).

4.2.1. Diseño

El diseño de investigación es no experimental, toda vez que, las variables de la presente investigación no se han manipulado, siendo así que se observó y analizó los fenómenos generados por la propuesta. Asimismo, la investigación es de tipo longitudinal de tendencia debido al análisis de los cambios al paso del tiempo, representándose como la vida útil del relleno sanitario de Chancay.

4.2.2. Tipo

El tipo de investigación es aplicada, toda vez que, busca resolver un problema: la disposición final que se viene realizando en el relleno sanitario de Chancay actualmente con el método anaeróbico, a través de una propuesta mediante el Método Fukuoka.

4.2.3. Nivel

Se desarrolló un nivel de investigación descriptivo, toda vez que, se describe la situación y manifestación posterior al análisis de la investigación. Es decir, describir la situación posterior a la propuesta de disposición final basado en el Método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay.

4.2.4. Enfoque

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, toda vez que, se da la recolección de datos de investigaciones previas, tales como informes técnicos de autoridades competentes, y la identificación, recopilación y análisis de los datos pertinentes para probar la hipótesis (Hernández *et al.*, 2014). Es así como se analizó desde la perspectiva de la cuantificación de los subproductos emitidos por el relleno sanitario relacionados a la población, generación de residuos y gases de efecto invernadero.

4.3. Población y muestra

La población de la presente investigación corresponde al relleno sanitario de Chancay, y la muestra es la Celda 01 construida para el periodo 2018 – 2023 y la Celda 02 correspondiente para el periodo 2023 – 2028; ambas constituyen el espacio físico que albergar los residuos sólidos generados por la población del distrito de Chancay.

4.4. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información

4.4.1. Técnica

La técnica que se utilizó para la presente investigación es de recopilación y análisis de datos. Estos datos secundarios implican la revisión de documentos, informes, archivos, entre otros (Hernández *et al.*, 2014); la exploración exhaustiva de estos documentos es con

el fin de seleccionar y extraer la información pertinente para alcanzar el objetivo de la investigación (Useche *et al.*, 2019). En la presente investigación se recopiló informes técnicos elaborados por las autoridades, y se analizó la información mediante hojas de cálculo de Excel.

4.4.2. Instrumentos

Los instrumentos poseen como finalidad el registrar los datos que el investigador dispone con el fin de medir las variables identificadas en las hipótesis (Hernández *et al.*, 2014). Por lo tanto, en la presente investigación el instrumento para la recopilación y análisis de datos fue el Software Microsoft Excel, en el cual se consignó la data identificada en los informes técnicos para realizar los cálculos de generación y proyección de población, generación de residuos y biogás.

4.4.3. Procedimiento

El procedimiento de metodología se explica a continuación:

4.4.3.1. Descripción de la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Chancay

Se utilizó información proporcionada por el «*Expediente Técnico de Disposición Final y Reaprovechamiento del Relleno Sanitario de Chancay*» (MINAM, 2015) y el «*Plan de Manejo de Residuos Sólidos del distrito de Chancay – 2020*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2020) con la finalidad obtener información técnica sobre la construcción del relleno sanitario y el proceso de disposición final, y elaborar mapas temáticos del área donde se emplaza la infraestructura a través del Software ArcGis.

Esta etapa incluyó visitas de campo al relleno sanitario de Chancay junto con la Subgerencia de Residuos Sólidos de la Municipalidad Distrital de Chancay, con la finalidad de conocer *in situ* el área de estudio.

4.4.3.2. **Proyección de datos de interés**

Para la proyección de datos de interés se usó de la data proporcionada por la Municipalidad Distrital de Chancay en el «*Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos del distrito de Chancay*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2019a), e información del «*Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*» (INEI, 2017). Se efectuó los cálculos con el fin de hallar los siguientes puntos:

A) Cálculo de la proyección de la población del distrito de Chancay

Para calcular la proyección de la población hasta el año 2030, se utilizó la formula geométrica basada en los lineamientos de Jaramillo (2002):

$$P_{f(n)} = P_o * (Tc + 1)^n$$

$P_{f(n)}$: población final en el año n

P_o : población inicial

Tc: tasa de crecimiento

n: ($t_{inicial} - t_{final}$) intervalo de años

t: variable tiempo

Se consideró una tasa de crecimiento urbano y/o rural constante, el cual fue hallado bajo la fórmula brindada por el INEI (2009). La tasa de crecimiento rural se considera cero (0) al resultar de tendencia negativa.

$$Tc = \left[\left(\frac{P_t}{P_o} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] * 1000$$

Tc: tasa de crecimiento

P_t : población en el año censal t

P_o : población en el año censal inicial

t: tiempo en años del periodo entre censos

B) Cálculo de la proyección de generación de residuos sólidos

De acuerdo con el «*Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales de Chancay*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2019a), la generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Chancay es de 0.61 kg/habitante-día. Los residuos sólidos no domiciliarios están constituidos por residuos generados en restaurantes, hoteles, comercios, barrido de calles, instituciones públicas y privadas, mercados e instituciones educativas, siendo una generación total de 3.27 t/día. Asimismo, los residuos sólidos especiales la cual constituyen los lubricantes y centros veterinarios posee una generación total de 0.03 y 0.01 t/día, respectivamente.

En base a los datos anteriormente describo, se calculó la generación per cápita de residuos sólidos futura, el cual está en relación en la generación per cápita actual, crecimiento de la población y número de años del estudio. Se utilizó la formula geométrica basada en los lineamientos de Jaramillo (2002):

$$GPC_{f(n)} = GPC_o * (Tc + 1)^n$$

$GPC_{f(n)}$: generación per cápita final en el año n

GPC_o : generación per cápita inicial

Tc: tasa de crecimiento

n: ($t_{inicial} - t_{final}$) intervalo de años

t: variable tiempo

Se ha considerado la tasa de crecimiento de generación de residuos sólidos domiciliarios en 1 % de acuerdo con los lineamientos de Jaramillo (2002). Por otro lado, la tasa de crecimiento de generación de residuos sólidos domiciliarios especiales y no domiciliarios se consideró igual a la calculada para la proyección de la población.

Seguidamente, se calculó la proyección de la generación de residuos sólidos relacionado a la generación per cápita proyectada y número de años del estudio. Para los residuos sólidos domiciliarios se obtiene multiplicando la generación per cápita, la población en el

año de estudio, y el porcentaje de representatividad del tipo de residuo sólido según el ECRS.

$$R_{f(n)} = \frac{GPC_n * P_n * \%Tipo * 365}{1000}$$

$R_{f(n)}$: Residuos sólidos final en el año n

GPC_n : Generación per cápita en el año n (kg/hab.día)

$\%Tipo$: porcentaje de tipo de residuo según el Estudio de Caracterización.

365: días del año hábil, exceptuando los años bisiestos en donde se tomó el valor de 366

n: año tomado

Por otro lado, la generación de residuos sólidos no domiciliarios y domiciliarios especiales, se consideró que el valor proyectado sea igual a la generación per cápita de residuos sólidos proyectada en el año de estudio, debido a la naturaleza no relacional con la población.

$$R_{f(n)} = GPC_n * \%Tipo * 365$$

$R_{f(n)}$: Residuos sólidos final en el año n

GPC_n : Generación per cápita en el año n (t/día)

$\%Tipo$: porcentaje de tipo de residuo según el Estudio de Caracterización.

365: días del año hábil, exceptuando los años bisiestos en donde se tomó el valor de 366

n: año tomado

4.4.3.3. Análisis de la aplicación del método Fukuoka

En la aplicación del método escogido, método Fukuoka, se midió la reducción de la demanda biológica (DBO) del lixiviado y la generación de metano en el biogás con el método tradicional y el método escogido. Por lo cual, se utilizó los informes de monitoreo ambiental del relleno sanitario para el conocimiento del valor del parámetro DBO de aquellos lixiviados generados en el relleno con el método tradicional (anaeróbico), así como información bibliográfica para la proyección de reducción con el método Fukuoka.

Por otro lado, en cuanto al cálculo del biogás, se utilizó el cálculo de la proyección de emisión de gases de efecto invernadero y metano por el método «2006 Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero» para determinar la generación con el método tradicional y el método Fukuoka (IPCC, 2006). La metodología permite seleccionar los parámetros según la data disponible, la climatología, la región y el destino final de los residuos sólidos; para aplicación del presente estudio se consideró que el 100 % de los residuos generados se disponen en el relleno sanitario.

Para el llenado de data se empleó información sobre la población del distrito durante los años de estudio calculado en la proyección de datos de interés; asimismo, se empleó la cantidad de residuos sólidos generados en municipal (domiciliarios) e industrial (domiciliarios especiales y no domiciliarios) a través de los años y su composición según el ECRS. Se empleo las siguientes variables:

Tabla N° 5: Variables utilizadas

Variable	Valor
Relación CH ₄ / C	1.33
Fracción de COD que puede descomponerse	0.5

Fuente: IPCC, 2006.

El factor de corrección de metano según lugares de eliminación de residuos sólidos se tomó el valor de 0.5 correspondiente a relleno sanitario semi-aeróbico, método Fukuoka.

Tabla N° 6: Factor de corrección de metano

Tipo de disposición final	Valor
Relleno sanitario controlado	1
Relleno sanitario semi-aeróbico	0.5
Botaderos poco profundos	0.4
Botaderos profundos	0.8
No categorizados	0.6

Fuente: IPCC, 2006.

Se realizó la simulación en tres (03) escenarios en relación con la muestra de la presente investigación:

- Escenario 01: celda 01 y celda 02 aplican método anaeróbico.
- Escenario 02: celda 01 aplica método anaeróbico y celda 02 aplica método Fukuoka.
- Escenario 03: celda 01 y celda 02 aplican método Fukuoka.

4.4.3.4. Determinación de la propuesta

a) Análisis ambiental

Con el fin de realizar el análisis ambiental respecto a los impactos ambientales generados y evitados, se empleó la «*Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales de Leopold Modificada*» aplicado a el método anaeróbico y método Fukuoka. Se consideró la evaluación de las etapas de (i) operación y mantenimiento y (ii) cierre, al ser aquellas que se relacionan directamente con la aplicación del método Fukuoka.

Para el análisis ambiental se empleó dos (02) matrices:

1. Matriz de interacción de impactos ambientales: de tipo cualitativo, el cual se muestra la causa-efecto a través de un cuadro de doble entrada para relacionar los factores ambientales susceptibles a ser impactados (filas) y actividades del relleno sanitario en las etapas estudiadas (columnas) para determinar la naturaleza del impacto: negativo o positivo.
2. Matriz de evaluación de impactos ambientales: de tipo cuantitativo, que tiene como fin evaluar las interacciones identificadas en la matriz previa para determinar el valor de importancia del impacto de acuerdo con los criterios explicados a continuación:

Tabla N° 7: Criterios para la evaluación de impactos ambientales

Características	Puntuación				
	1	2.5	5	7.5	10
	Puntual	Particular	Local	Generalizada	Regional
Extensión (E)	Extensión dentro del área del emplazamiento	Extensión en la totalidad del área del emplazamiento.	Extensión en el área de influencia del emplazamiento.	Extensión a los distritos que son beneficiados.	Extensión más allá de los distritos que son beneficiados.
	Intermitente	Temporal	Periódico	Recurrente	Permanente
Duración (D)	Duración de un momento en el desarrollo de las actividades.	Duración de un momento definido en el desarrollo de las actividades	Duración en toda la actividad con frecuencia definida.	Duración en toda la actividad con frecuencia no definida.	La duración diariamente.
Reversibilidad (R)	Reversible completamente	Reversible medianamente	Irreversible parcialmente	Irreversible medianamente	Irreversible completamente
Magnitud (Mag)	Sin incidencia	Con incidencia poca	Con incidencia parcial	Con incidencia mediana	Con incidencia alta

Fuente: «*Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd) Categoría II del Proyecto Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos y planta de separación de residuos inorgánicos reciclables para la ciudad de Orcopampa, provincia de Castilla, departamento de Arequipa*», (Municipalidad Distrital de Orcopampa, 2025).

Seguidamente, para valorizar y jerarquizar los impactos ambientales se toma en cuenta la siguiente fórmula para hallar la importancia (Imp):

$$Imp = We * E + Wd * D + Wr * R$$

Donde:

- E: puntuación del criterio extensión
- D: puntuación del criterio duración
- R: puntuación del criterio reversibilidad
- We: Peso del criterio de extensión

- Wd: Peso del criterio de duración
- Wr: Peso del criterio de reversibilidad

En donde se cumple lo siguiente:

$$We + Wd + Wr = 1$$

$$Wd = 0.30$$

$$We = 0.30$$

$$Wr = 0.35$$

Finalmente, se obtiene el valor de la importancia (VI) el cual muestra valores máximos y mínimos según la intrascendencia con el medio. Este se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$VI = \pm (Imp * Mag)^{0.5}$$

La jerarquía de los valores, según el valor del impacto, se muestran a continuación:

Tabla N° 8: Jerarquía de impactos ambientales

Tipo de impacto	Valor	Color
Altamente significativos	$VI < -7$	Red
Significativos	$-7 \leq VI < -4.5$	Orange
Moderados	$-4.5 \leq VI < -2.5$	Green
Despreciables	$-2.5 \leq VI < 0$	Yellow
Positivos	$VI > 0$	Blue

b) Análisis social

Con el fin de realizar el análisis social respecto a los impactos socioambientales generados y evitados, se empleó la «*Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales de Leopold Modificada*» aplicado a el método anaeróbico y método Fukuoka. Bajo la metodología descrita en el ítem anterior, se evaluó los factores socioambientales mostrados a continuación:

Tabla N° 9: Factores socioambientales

Componente	Subcomponente	Factor ambiental
Antrópico	Población	Salud pública
		Involucramiento de población beneficiada
		Salud ocupacional
	Territorio	Usos y costumbres territoriales
		Flujo vial
	Economía local	Generación de empleo
		Actividades económicas
	Seguridad	Accidentes

Fuente: «*Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral – 2014*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2014).

c) Análisis económico

Con el fin de realizar el análisis económico, se analizó el ahorro producto de la estabilización del relleno sanitario con el método anaeróbico y método Fukuoka. Para ello, se usó el Plan de Monitoreo Ambiental comprendido en el «*Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2014), para poseer los datos de los monitoreos ambientales de calidad del aire y de los lixiviados proyectados durante la etapa de post cierre, por una duración de 10 años posterior a la culminación de la vida útil del relleno. Los parámetros evaluados son los siguientes:

Tabla N° 10: Parámetros del monitoreo ambiental de los lixiviados

N°	Parámetro
1	pH
2	Temperatura
3	Conductividad
4	Sólidos totales disueltos
5	Aceites y grasas
6	DBO ₅
7	DQO
8	Coliformes totales
9	OD
10	Nitrógeno – nitrato

N°	Parámetro
11	Parásitos y protozoarios patógenos
12	Sólidos totales
13	Metales Pesados (Cd, Cr, Pb, Ni, Zn y Hg)
14	Coliformes fecales
15	No metales (N y P)
16	Sólidos totales suspendidos
17	Heterótrofos

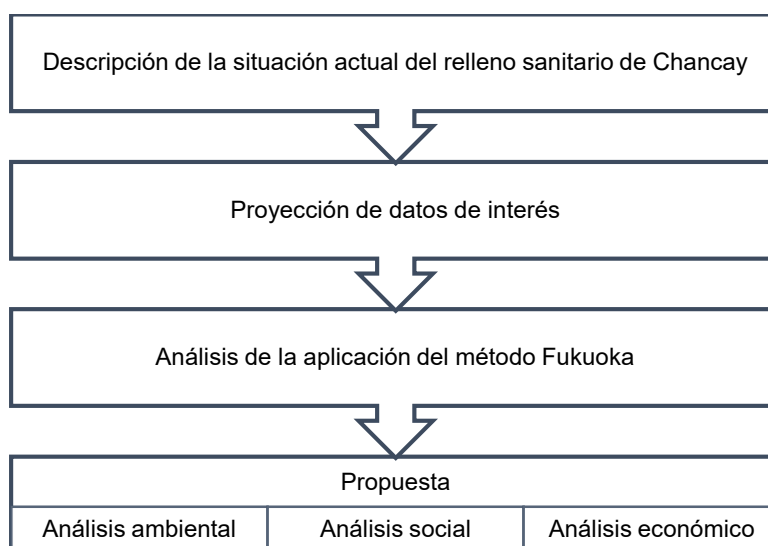
Fuente: «*Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral – 2014*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2014).

Tabla N° 11: Parámetros del monitoreo ambiental de la calidad del aire

N°	Parámetro
1	Dióxido de azufre (SO ₂)
2	Material particulado con diámetro inferior a 10 micras (PM ₁₀)
3	Material particulado con diámetro inferior a 2.5 micras (PM _{2.5})
4	Óxido de nitrógeno (NO _x)
5	Hidrógeno sulfurado (H ₂ S)

Fuente: «*Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2014).

Gráfico N° 4: Diagrama del proceso metodológico



4.5. *Análisis estadístico*

Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos se utilizó el software Microsoft Excel. En el análisis de datos se tiene como objetivo el analizar y generar información con la finalidad de contestar las preguntas de la investigación, siendo el software Microsoft Excel idóneo en caso de estadísticas descriptivas (Rodríguez & Lucena, 2015).

Con la finalidad de alcanzar el objetivo de la investigación, este programa permitió ordenar, analizar y realizar los cálculos respectivos sobre la generación y proyección de población, generación y proyección de residuos a través de hojas de cálculo de Microsoft Excel adaptadas; y para generación y proyección de biogás se utilizó las hojas de cálculo publicadas por el (IPCC, 2006).

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

5.1. *Caracterización de la disposición final de residuos sólidos*

El relleno sanitario de Chancay es una infraestructura de disposición final de tipo semi mecanizado, el cual se disponen residuos sólidos municipales de tipo no peligroso. La cantidad de residuos sólidos que ingresa diariamente es 49.1 toneladas aproximadamente, los cuales se descargan en dos (02) celdas con capacidad total de 186,779 toneladas para una vida útil de 10 años; estos son disgregados y compactados con la finalidad de uniformizarse, y posteriormente ser cubiertos con una capa arena de espesor de 15 cm. Asimismo, las celdas presentan impermeabilización compuesta por geomembrana, el manejo de biogás y lixiviados se realiza mediante la evacuación por chimeneas, y almacenamiento y recirculación, respectivamente (MINAM, 2015). En relación con los subproductos generados en un relleno sanitario (biogás y lixiviados), se indica la relevancia que tienen estos y su continua generación durante la operación del relleno sanitario y culminado su vida útil. En ese sentido, de acuerdo con el Informe N° 3 – «Expediente Técnico de Disposición Final y Reaprovechamiento» (Documento I – Memoria Descriptiva) (MINAM, 2015), se evidencia una adecuada infraestructura para la recolección y contención de los lixiviados generados; sin embargo, no se precisa una temporalidad específica en el método de tratamiento de los lixiviados, en lugar de ello se precisa una recirculación de los mismos en la masa de los residuos sólidos por un tiempo indeterminado. Esto conlleva a indicar que no se evidencia un sistema de tratamiento adecuado para la generación del subproducto líquido durante la operación del relleno sanitario, e incluso posterior al cierre de este. Por otro lado, en cuanto al manejo de biogás, las chimeneas realizan el trabajo de quema de estos; sin embargo, estos están compuestos por principalmente por el gas metano el cual posee la potencialidad de un efecto no deseado de incendio en la masa de residuos.

A continuación, se lista las principales características del relleno sanitario:

Tabla N° 12: Principales características del relleno sanitario

Vida útil	10 años
Volumen que ingresa diariamente	49.1 t/día aprox.
Tipo de residuos	Municipales no peligrosos
Tipo de relleno	Semi mecanizado
Fondo	Impermeabilización con geomembrana
Capacidad	186,779 t
Manejo de biogás	Evacuación de chimeneas
Manejo de lixiviados	Almacenamiento – recirculación
Cobertura	Arena

Por otro lado, la generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios es de 0.61 kg/habitante-día o 35.85 t/día; los residuos sólidos no domiciliarios del distrito es 3.27 t/día, y los residuos sólidos domiciliarios especiales, lubricentos y centros veterinarios, es de 0.03 y 0.01 t/día, respectivamente (Municipalidad Distrital de Chancay, 2019a). Por lo cual, en las siguientes tablas se presentan la proyección de la población de Chancay, así como de la demanda del servicio de recolección y transporte que posteriormente se dispone en el relleno sanitario de Chancay.

Tabla N° 13: Proyección de los habitantes de Chancay

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
56,920	57,841	58,777	59,730	60,700	61,686	62,689	63,709	64,747	65,803	66,878	67,971	69,082	70,213

Tabla N° 14: Proyección de la generación de residuos sólidos por composición en Chancay

Generación de Residuos Sólidos	Unidad	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Domiciliario Urbano	t / día	35.85	36.80	37.77	38.77	39.79	40.84	41.93	43.04	44.18	45.35	46.55	47.78
Orgánicos	t / día	18.27	18.75	19.25	19.76	20.28	20.82	21.37	21.93	22.51	23.11	23.72	24.35
Inorgánicos	t / día	4.65	4.77	4.90	5.02	5.16	5.29	5.43	5.58	5.73	5.88	6.03	6.19
Rechazables	t / día	12.93	13.28	13.63	13.99	14.36	14.73	15.12	15.53	15.94	16.36	16.79	17.24
No Domiciliario Urbano	t / día	3.27	3.33	3.39	3.45	3.51	3.57	3.63	3.69	3.75	3.82	3.89	3.95
Establecimientos Comerciales	t / día	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.44	0.45
Hoteles	t / día	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
Mercados	t / día	1.91	1.94	1.98	2.01	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.30
Restaurantes	t / día	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55
Instituciones Públicas y Privadas	t / día	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Instituciones Educativas	t / día	0.39	0.39	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.44	0.44	0.45	0.46	0.47
Barrido de Calles	t / día	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Especiales	t / día	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Lubricentos	t / día	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
Centros Veterinarios	t / día	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sub-Total	t / día	39.17	40.17	41.20	42.26	43.34	44.45	45.60	46.77	47.98	49.21	50.48	51.79
Sub-Total Año	t/año	14,296.11	14,702.33	15,037.91	15,423.61	15,819.55	16,270.44	16,643.20	17,071.50	17,511.17	18,011.74	18,476.36	18,953.34
Acumulativo por Año	t	14,296.11	28,998.44	44,036.35	59,459.97	75,279.51	91,549.95	108,193.15	125,264.65	142,775.82	160,787.56	179,263.93	198,217.26

Como se observa en la tabla anterior, se realizó la proyección poblacional del distrito de Chancay, resultando en un total de 49.21 t/día de residuos sólidos en el año 2028 (año 10 del proyecto de relleno sanitario) y se estimó la generación de residuos sólidos al 2028, 2029 y 2030 resultando 160,787.56, 179,263.93 y 198,217.26 toneladas, respectivamente; que serán dispuestas al relleno sanitario en cuestión. En tal sentido, se indica que el relleno sanitario podrá cubrir la demanda de la generación de los residuos sólidos urbanos hasta mediados del año 2029.

5.2. Aplicación del método Fukuoka a la disposición final de residuos sólidos

5.2.1. Lixiviados

De acuerdo con el Informe de monitoreo ambiental al relleno sanitario el cual desarrolló la Municipalidad Distrital de Chancay en julio del 2019 y octubre del 2021, se obtuvo los siguientes valores:

Tabla N° 15: Resultados de monitoreo de aguas de lixiviados

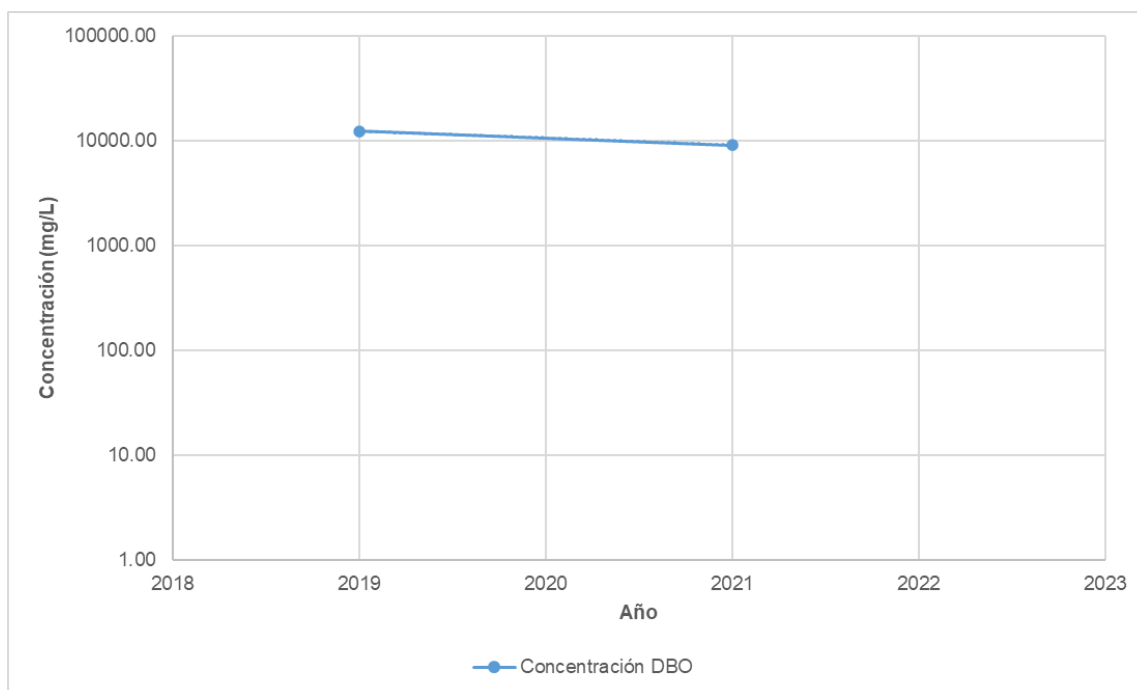
Parámetro	Unidad	Resultado	
		2019	2021
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg DBO/L	12,263.00	9,050.00

Fuente: Informe de monitoreo ambiental – Relleno Sanitario de Chancay (2019b) y (2021).

El relleno sanitario de Chancay se encuentra clasificado de acuerdo con el proceso de descomposición como un relleno sanitario anaeróbico, en la cual se indica las concentraciones de DBO obtenidas durante los periodos 2019 y 2021 mostrando valores de 12,263.00 mg DBO/L y 9,050.00 mg DBO/L, respectivamente (ver Tabla N° 15). Cabe indicar que el relleno sanitario entro funcionamiento a mediados del 2018, por lo tanto, los monitoreos

ambientales empezaron desde el 2019. Asimismo, debido al contexto de la pandemia por el COVID-19, no se realizaron labores de monitoreo ambiental durante el periodo 2020.

Gráfico N° 5: Concentración de la DBO en el relleno sanitario de Chancay durante los años 2019 y 2021



Fuente: Informe de monitoreo ambiental – Relleno Sanitario de Chancay (2021).

5.2.1.1. *Análisis Comparativo*

De acuerdo con los resultados obtenidos en los monitoreos realizados de lixiviados en el relleno sanitario de Chancay se evidencia que la aplicación del método anaeróbico, el cual ha estado desarrollándose desde su funcionamiento (2018-2021), ha logrado una reducción de la concentración de DBO en un 26.2 % aproximadamente. Del mismo modo, los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas en Japón y Malasia se dan a conocer que la aplicación del método Fukuoka o método de digestión semi-aeróbico, logra la reducción de la concentración de la DBO en más del 90 % tras un año de la continua disposición final de residuos sólidos.

5.2.2. Biogás

De acuerdo con las «2006 Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero» en el volumen 5 «Residuos» por el IPCC, brindan la metodología del cálculo de la generación de gases de efecto invernaderos (GEI), siendo para los rellenos sanitarios el metano (CH_4). Para la simulación de la presente investigación se tomó los parámetros según el escenario de que ambas celdas del relleno sanitario en mención utilicen el método de digestión anaeróbico. Se generó los resultados de la emisión de metano de las dos celdas en la siguiente tabla:

Tabla N° 16: Resultados de generación de metano – método anaeróbico

Generación de metano (CH_4 Gg)			
Año	Celda 01	Celda 02	Total
2018	0.00	0.00	0.00
2019	30.71	0.00	30.71
2020	59.73	0.00	59.73
2021	87.61	0.00	87.61
2022	114.27	0.00	114.27
2023	139.91	0.00	139.91
2024	164.64	0.00	164.64
2025	153.00	35.65	188.65
2026	142.21	69.60	211.81
2027	132.21	102.12	234.32
2028	122.93	133.32	256.26
2029	114.34	163.45	277.79
2030	106.37	192.39	298.76

Asimismo, para la presentación de las emisiones totales de GEI, se seleccionó como Potencial de Calentamiento Global del metano el valor 28, siendo los resultados en CO_2 – eq Gg los siguientes:

Tabla N° 17: Resultados de generación de CO_2 – eq – método anaeróbico

Generación de CO_2 – eq Gg			
Año	Celda 01	Celda 02	Total
2018	0.00	0.00	0.00
2019	859.89	0.00	859.89

Generación de CO ₂ – eq Gg			
Año	Celda 01	Celda 02	Total
2020	1 672.53	0.00	1 672.53
2021	2 453.01	0.00	2 453.01
2022	3 199.46	0.00	3 199.46
2023	3 917.52	0.00	3 917.52
2024	4 609.96	0.00	4 609.96
2025	4 283.95	998.17	5 282.11
2026	3 981.81	1 948.94	5 930.75
2027	3 701.76	2 859.29	6 561.06
2028	3 442.15	3 732.99	7 175.15
2029	3 201.45	4 576.57	7 778.01
2030	2 978.24	5 387.00	8 365.24

Con la aplicación del método Fukuoka (método de digestión semi-aeróbico), se obtiene los siguientes datos:

Tabla N° 18: Resultados de generación de metano – método semi-aeróbico

Generación de metano (CH ₄ Gg)			
Año	Celda 01	Celda 02	Total
2018	0.00	0.00	0.00
2019	15.36	0.00	15.36
2020	29.87	0.00	29.87
2021	43.80	0.00	43.80
2022	57.13	0.00	57.13
2023	69.96	0.00	69.96
2024	82.32	0.00	82.32
2025	76.50	17.82	94.32
2026	71.10	34.80	105.91
2027	66.10	51.06	117.16
2028	61.47	66.66	128.13
2029	57.17	81.72	138.89
2030	53.18	96.20	149.38

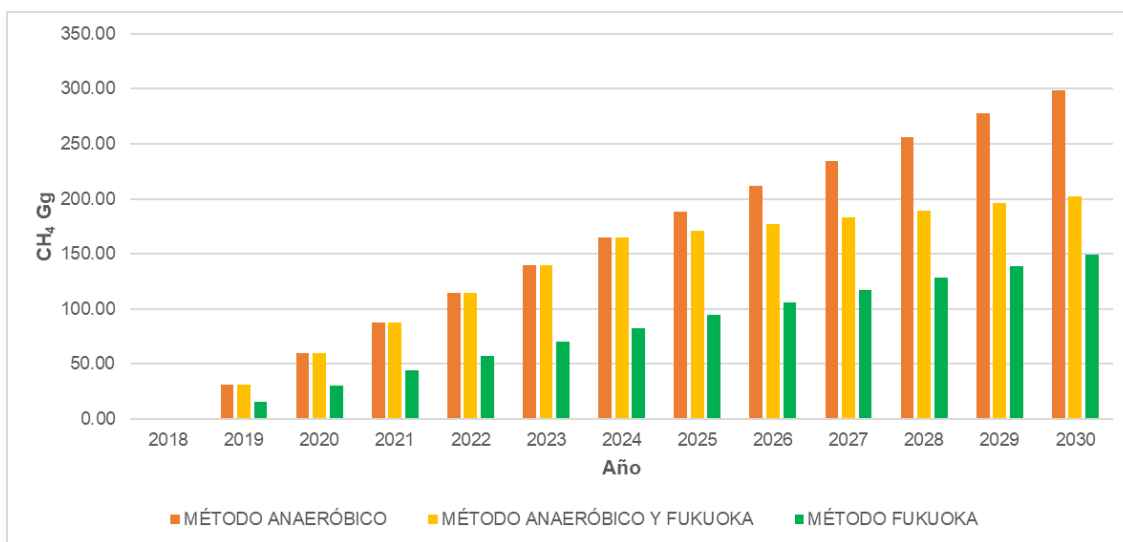
Asimismo, para la presentación de las emisiones totales de GEI, se seleccionó como Potencial de Calentamiento Global del metano el valor 28, siendo los resultados en CO₂ – eq Gg los siguientes:

Tabla N° 19: Resultados de generación de CO₂ – eq – método semi-aeróbico

Generación de CO ₂ – eq Gg			
Año	Celda 01	Celda 02	Total
2018	0.00	0.00	0.00
2019	429.94	0.00	429.94
2020	836.27	0.00	836.27
2021	1,226.51	0.00	1,226.51
2022	1,599.73	0.00	1,599.73
2023	1,958.76	0.00	1,958.76
2024	2,304.98	0.00	2,304.98
2025	2,141.97	499.08	2,641.06
2026	1,990.91	974.47	2,965.37
2027	1,850.88	1,429.65	3,280.53
2028	1,721.08	1,866.50	3,587.57
2029	1,600.72	2,288.28	3,889.01
2030	1,489.12	2,693.50	4,182.62

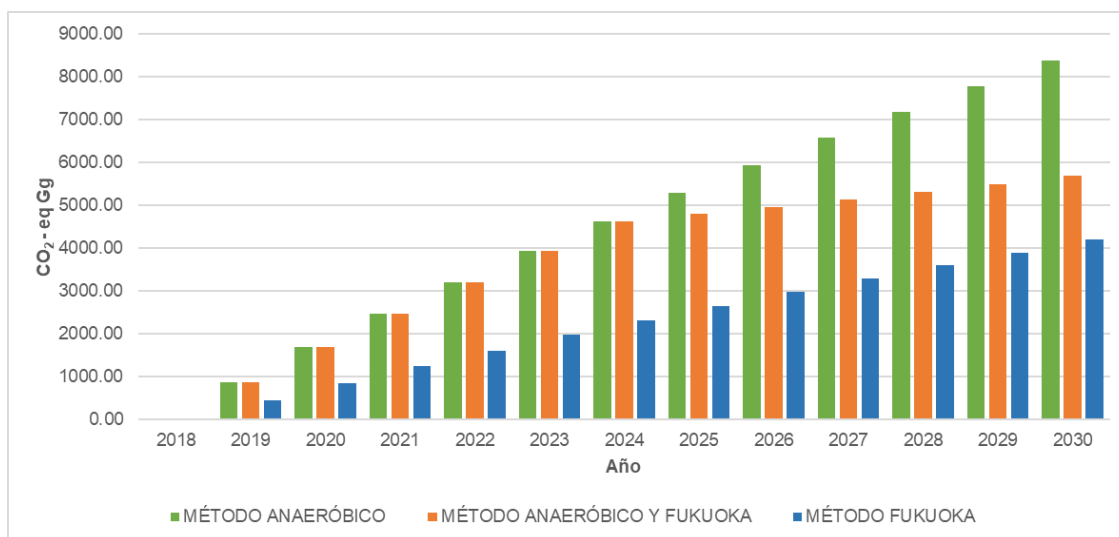
5.2.2.1. Análisis Comparativo

Los resultados presentados indican una reducción del 50 % de la generación de metano y CO₂ – eq mediante la aplicación del método Fukuoka en ambas celdas y un 24 % de reducción si se aplicará solo a la Celda 02. El Gráfico N° 6 ilustra las emisiones de gas metano desde el 2018 al 2030, arrojando 298.76 Gg CH₄ para el escenario 1; 202.56 Gg CH₄ para el escenario 2, y 149.38 Gg CH₄ para el escenario 3 en el año 2030.

Gráfico N° 6: Generación de metano CH₄ en el relleno sanitario de Chancay

De la misma forma, se estimó las emisiones de GEI en CO₂ - eq del año 2018 al 2030. El Gráfico N° 7 ilustra las emisiones arrojando 8,365.64 Gg CO₂ – eq para el escenario 1; 5,671.74 Gg CO₂ – eq; para el escenario 2, y 4,182.62 Gg CO₂ – eq para el escenario 3 en el año 2030.

Gráfico N° 7: Generación de CO₂ – eq en el relleno sanitario de Chancay



5.3. Propuesta de disposición final de residuos sólidos

5.3.1. Análisis ambiental

5.3.1.1. Método Fukuoka

El relleno sanitario de Chancay, aplicando el método de digestión anaeróbica durante las etapas de operación y mantenimiento, y cierre; genera impactos ambientales a los subcomponentes aire, suelo, paisaje, fauna, población, territorio, economía local y seguridad. La aplicación del método de digestión semi-aeróbico (método Fukuoka), durante la etapa de operación y mantenimiento, y cierre; generan mayor impacto positivo. A continuación, se muestra los resultados obtenidos de la aplicación del método Fukuoka:

Operación y mantenimiento

- **Aire**

Gases: El subcomponente aire es impactado por la generación de biogás por un total de nueve actividades: sellado diario de celdas y sellado final, flujo vehicular, transporte de residuos, instalación y uso de chimeneas, descarga y esparcido de residuos, compactación de residuos, captación y recirculación de lixiviados, y actividades de mantenimiento. Sin embargo, hay impactos despreciables en cuanto a la generación de biogás provenientes de los residuos sólidos cuando se aplica el Método Fukuoka debido a que se origina una disminución en la generación de gas metano.

- **Suelo**

Calidad del suelo: La calidad del suelo se encuentra impactado por dos actividades: higienización, y captación y recirculación de lixiviados.

Aplicando el método Fukuoka, se logra reducir la carga orgánica del lixiviado por la disminución significativa de aproximadamente del 90 % de concentración de DBO posterior a un año de operatividad. Asimismo, en caso de accidentes por desgaste, perforación de la membrana permeable que alberga el lixiviado o un desbordamiento de la poza de almacenamiento del mismo, este subproducto representaría un impacto despreciable debido a que la concentración de DBO reducida no representaría una peligrosidad significativa en la alteración de la calidad del suelo.

Cierre

- **Aire**

Gases: El subcomponente aire se encuentra impactado por la generación de biogás debido a cuatro actividades desarrolladas, de las cuales el suministro de material de cobertura para el sellado ocasiona impactos moderados, y las restantes (compactación final, Instalación de quemadores, disposición del lixiviado) ocasionan impactos despreciables.

- **Suelo**

Calidad del suelo: La calidad del suelo se encuentra impactado por dos actividades desarrolladas, siendo estas la higienización y la disposición del lixiviado. Cabe señalar sobre este último, ya que la aplicación del método Fukuoka reduce la carga orgánica del lixiviado, debido a que la DBO presenta una reducción significativamente aproximada del 90 % en concentración del mismo luego de un año de iniciar la operatividad. Asimismo, tener en cuenta en caso de accidentes por desgaste, perforación de la membrana permeable que alberga el lixiviado o un desbordamiento de la poza de lixiviado, este subproducto representaría un impacto despreciable debido a que la concentración de DBO reducida no representaría una peligrosidad significativa en la alteración de la calidad del suelo.

A continuación, se muestra la matriz de evaluación de impactos del relleno sanitario aplicando el Método Fukuoka.

Tabla N° 20: Evaluación Socio Ambiental del relleno sanitario de Chancay – Método Fukuoka

				Etapas de proyecto																
				Operación y mantenimiento										Cierre						
Factores ambientales / sub actividades del proyecto				Flujo Vehicular	Transporte de residuos	Descarga y esparcido de residuos	Compactación de residuos	Extracción, transporte y vertido del material de cobertura	Sellado diario de celdas y sellado final	Instalación y uso de chimeneas	Higienización	Captación y recirculación de lixiviados	Actividades de mantenimiento	Monitoreos Ambientales	Suministro de material de cobertura para sellado	Compactación final	Instalación de quemadores	Disposición del lixiviado	Higienización	Monitoreos Ambientales
Código	Componente	Subcomponente	Factor ambiental																	
AB001	Abiótico	AIRE	Material particulado	-2.67	-2.95	-2.45	-2.45	-4.54	-2.45	-1.58	0.00	0.00	-1.58	0.00	-4.54	-2.45	0.00	0.00	0.00	0.00
AB002			Gases	-2.67	-2.95	-2.45	-2.45	-2.90	-2.45	-2.22	0.00	-1.58	-1.58	0.00	-2.90	-2.45	-1.52	-1.95	0.00	0.00
AB003			Nivel de ruido	-3.00	-2.95	-2.90	-2.90	-2.90	-2.90	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	0.00	-2.90	-2.90	-1.52	-1.95	-1.95	0.00
AB005		SUELO	Permeabilidad	-2.70	-2.22	0.00	-4.11	0.00	-4.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.11	0.00	0.00	0.00	0.00
AB006			Estabilidad	2.70	2.22	0.00	5.03	-4.11	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.03	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00
AB007			Grado de compactación	2.70	2.22	0.00	5.03	-4.11	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.03	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00
AB008		PAISAJE	Calidad del suelo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.58	-2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.23	-1.23	0.00
AB009			Ecosistema	-3.58	-3.58	-5.06	-2.90	-2.90	-2.90	0.00	0.00	-4.11	-1.58	0.00	0.00	-3.58	-2.22	-2.90	0.00	0.00
AB010			Alteración paisajística	-3.58	-3.58	-5.06	-2.67	-2.67	-2.90	0.00	0.00	-4.11	-1.58	0.00	-3.58	-3.58	-2.22	-1.95	0.00	0.00
B001		Biótico	FAUNA	Hábitats	-3.58	-3.58	-5.06	-5.06	-3.58	-3.58	-3.58	-1.58	-4.11	-1.58	0.00	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58
B002	Especies nativas			-3.58	-3.58	-5.06	-5.06	-3.58	-3.58	-3.58	-1.58	-4.11	-1.58	0.00	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	0.00
AT001	Antrópico	POBLACIÓN	Salud pública	0.00	5.42	0.00	5.42	0.00	5.42	0.00	0.00	0.00	5.42	0.00	0.00	5.42	0.00	3.69	0.00	0.00
AT002			Involucramiento de población beneficiada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35
AT003			Salud ocupacional	0.00	-2.90	-4.11	-4.11	-4.11	-2.90	-2.67	-2.90	-4.11	-2.90	-1.58	-2.90	-2.90	-1.95	-1.95	-1.95	-1.58
AT004		TERRITORIO	Usos y costumbres territoriales	-3.26	-3.54	0.00	0.00	-3.54	0.00	0.00	0.00	-1.41	0.00	0.00	-3.00	-2.67	0.00	-2.50	0.00	0.00
AT005			Flujo vial	-3.00	-3.00	0.00	0.00	-3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.22	0.00	-3.00	-2.67	0.00	0.00	0.00	0.00
AT006		ECONOMÍA LOCAL	Generación de empleo	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66
AT007			Actividades económicas	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66
AT008		SEGURIDAD	Accidentes	-3.77	-3.77	-4.66	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77
Despreciables				0	1	3	3	0	2	4	4	4	9	1	2	4	8	9	5	1
Moderados				11	12	2	6	12	8	4	2	7	2	1	7	8	1	2	1	1
Significativos				0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Altamente significativos				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivo				4	5	2	5	2	5	2	3	2	3	3	2	5	2	3	3	3

Impactos	Descripción	Color	N°	%
Despreciables	$-2.5 \leq VI < 0.0$		60	28%
Moderados	$-4.5 \leq VI < -2.5$		87	41%
Significativos	$-7.0 \leq VI < -4.5$		11	5%
Altamente significativos	$VI < -7.0$		0	0%
Positivo	$VI > 0.0$		54	25%

5.3.1.2. *Método anaeróbico*

Por otro lado, los impactos que aplican el método de digestión anaeróbica durante las etapas de operación, mantenimiento y cierre son los siguientes:

Operación y mantenimiento

- **Aire**

Gases: El subcomponente aire es impactado por la generación de biogás proveniente de los residuos sólidos, maquinarias y equipos por un total de nueve actividades, siendo la de impacto moderado el flujo vehicular, transporte residuos, extracción, transporte y vertido del material de cobertura debido al continuo movimiento de maquinaria y equipos.

- **Suelo**

Calidad del suelo: El subcomponente suelo se encuentra impactado por la alteración de la calidad del suelo, debido a dos actividades desarrolladas, siendo estas la higienización, y captación y recirculación de lixiviados. Asimismo, en caso de accidentes por desgaste, perforación de la membrana permeable que alberga el lixiviado o un desbordamiento de la poza de lixiviado, este subproducto representaría un impacto significativo representando así una alteración de la calidad del suelo.

Cierre

- **Aire**

Gases: El subcomponente aire se encuentra impactado por la generación de biogás debido a cuatro actividades desarrolladas, de las cuales el suministro de material de cobertura para el sellado y compactación final ocasionan impactos moderados, y las restantes (Instalación de quemadores y disposición del lixiviado) ocasionan impactos despreciables.

- **Suelo**

Calidad del suelo: El subcomponente suelo se encuentra impactado por la alteración de la calidad del suelo, debido a dos actividades desarrolladas, siendo estas la higienización, la cual genera impactos despreciables, y la disposición del lixiviado, actividad que genera impactos moderados.

A continuación, se muestra la matriz de evaluación de impactos del relleno sanitario aplicando el método anaeróbico.

Tabla N° 21: Evaluación Socio Ambiental del relleno sanitario de Chancay – Método Anaeróbico

Factores ambientales / sub actividades del proyecto				Etapas de proyecto																
				Operación y mantenimiento												Cierre				
Código	Componente	Subcomponente	Factor ambiental	Flujo Vehicular	Transporte de residuos	Descarga y esparcido de residuos	Compactación de residuos	Extracción, transporte y vertido del material de cobertura	Sellado diario de celdas y sellado final	Instalación y uso de chimeneas	Higienización	Captación y recirculación de lixiviados	Actividades de mantenimiento	Monitoreos Ambientales	Suministro de material de cobertura para sellado	Compactación final	Instalación de quemadores	Disposición del lixiviado	Higienización	Monitoreos Ambientales
AB001	Abiótico	Aire	Material particulado	-2.67	-2.95	-2.45	-2.45	-4.54	-2.45	-1.58	0.00	0.00	-1.58	0.00	-4.54	-2.45	0.00	0.00	0.00	0.00
AB002			Gases	-2.67	-2.95	-2.45	-3.46	-2.90	-3.46	-3.14	0.00	-1.58	-1.58	0.00	-2.90	-3.46	-1.52	-1.95	0.00	0.00
AB003			Nivel de ruido	-3.00	-2.95	-2.90	-2.90	-2.90	-2.90	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	0.00	-2.90	-2.90	-1.52	-1.95	-1.95	0.00
AB005		Suelo	Permeabilidad	-2.70	-2.22	0.00	-4.11	0.00	-4.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.11	0.00	0.00	0.00	0.00
AB006			Estabilidad	2.70	2.22	0.00	5.03	-4.11	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.03	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00
AB007			Grado de compactación	2.70	2.22	0.00	5.03	-4.11	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.03	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00
AB008		Paisaje	Calidad del suelo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.58	-3.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.76	-1.23	0.00
AB009			Ecosistema	-3.58	-3.58	-5.06	-2.90	-2.90	-2.90	0.00	0.00	-4.11	-1.58	0.00	0.00	-3.58	-2.22	-2.90	0.00	0.00
AB010			Alteración paisajística	-3.58	-3.58	-5.06	-2.67	-2.67	-2.90	0.00	0.00	-4.11	-1.58	0.00	-3.58	-3.58	-2.22	-1.95	0.00	0.00
B001		Biótico	Fauna	Hábitats	-3.58	-3.58	-5.06	-5.06	-3.58	-3.58	-3.58	-1.58	-4.11	-1.58	0.00	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58
B002	Especies nativas			-3.58	-3.58	-5.06	-5.06	-3.58	-3.58	-3.58	-1.58	-4.11	-1.58	0.00	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	0.00
AT001	Antrópico	Población	Salud pública	0.00	5.42	0.00	6.64	0.00	6.64	6.12	0.00	0.00	5.42	0.00	0.00	6.64	0.00	3.69	0.00	0.00
AT002			Involucramiento de población beneficiada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35
AT003			Salud ocupacional	0.00	-2.90	-4.11	-5.03	-4.11	-4.11	-3.77	-2.90	-5.03	-2.90	-1.58	-2.90	-4.11	-1.95	-2.76	-1.95	-1.58
AT004		Territorio	Usos y costumbres territoriales	-3.26	-3.54	0.00	0.00	-3.54	0.00	0.00	0.00	-1.41	0.00	0.00	-3.00	-2.67	0.00	-2.50	0.00	0.00
AT005			Flujo vial	-3.00	-3.00	0.00	0.00	-3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.22	0.00	-3.00	-2.67	0.00	0.00	0.00	0.00
AT006		Economía local	Generación de empleo	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66
AT007			Actividades económicas	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66
AT008		Seguridad	Accidentes	-3.77	-3.77	-4.66	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77

Despreciables	0	1	3	1	0	1	2	4	3	9	1	2	3	8	7	5	1
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Moderados	11	12	2	7	12	9	6	2	7	2	1	7	9	1	4	1	1
Significativos	0	0	5	3	1	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0
Altamente significativos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivo	4	5	2	5	2	5	3	3	2	3	3	2	5	2	3	3	3

Impactos	Descripción	Color	N°	%
Despreciables	-2.5=<VI<0.0		51	24%
Moderados	-4.5=<VI<-2.5		94	44%
Significativos	-7.0=<VI<-4.5		13	6%
Altamente significativos	VI<-7.0		0	0%
Positivo	VI>0.0		55	26%

5.3.1.3. **Evaluación de impactos ambientales**

Según el Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM el impacto ambiental se define como la «*alteración positiva o negativa de uno o más de los componentes del ambiente, provocada por la acción de un proyecto*» (2009, p. 81). En la presente investigación, la aplicación del método Fukuoka surge como alternativa frente a los impactos ambientales en un relleno sanitario donde se aplica el método anaeróbico debido a la reducción de peligrosidad de los subproductos generados, lixiviados y biogás. El metano es el gas que se encuentra en mayor proporción dentro de la composición del biogás (ver Tabla N° 2); es considerado un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático, siendo este abordado en la Agenda 2030. Este plan de acción contiene un total de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con 169 metas que abarcan el aspecto social, económico y ambiental a favor de la población, ambiente y prosperidad. La implementación del Método Fukuoka contribuye al cumplimiento del siguiente objetivo:

- **Objetivo 13: Acción por el clima**

Según lo abordado con anterioridad, el método Fukuoka contribuye a una reducción de metano y CO₂ equivalente del 50 %, tanto para la Celda 01 y 02 del relleno sanitario de Chancay, generando así una contribución positiva al ambiente.

Entre las metas del objetivo 13, se encuentra: «*Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales*», la aplicación del método Fukuoka constituye un aporte al cumplimiento del objetivo y se enmarca con la política de reducción de gases de efecto invernadero implementada por el MINAM. En consecuencia, la masificación de este tipo de tecnología aporta de manera significativa al cumplimiento de los compromisos nacionales de reducción de emisiones en el marco de los cumplimientos nacionales.

5.3.2. Análisis social

De acuerdo a la evaluación de impactos socioambientales identificados en el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento, y cierre del relleno sanitario de Chancay aplicando el método Fukuoka, se ha analizado los factores socioambientales salud pública, involucramiento de población beneficiada, salud ocupacional, uso y costumbres territoriales, flujo vial, generación de empleo, actividades económicas y accidentes como parte del análisis social; el cual permite contrastar con el método de digestión anaeróbico.

Tabla N° 22: Comparativo de evaluación de impactos de acuerdo al método Fukuoka y anaeróbico

Componente	Sub componente	Factor Ambiental	Etapa	Actividades	Método de digestión	
					Fukuoka	Anaeróbico
Antrópico	Población	Salud pública	Operación y mantenimiento	Flujo Vehicular	0	0
				Transporte de residuos	5.42	5.42
				Descarga y esparcido de residuos	0	0
				Compactación de residuos	5.42	6.64
				Extracción, transporte y vertido de material de cobertura	0	0
				Sellado diario de celdas y sellado final	5.42	6.64
				Instalación y uso de chimeneas	0	6.12
				Higienización	0	0
				Captación y recirculación de lixiviados	0	0
				Actividades de mantenimiento	5.42	5.42
				Monitoreos Ambientales	0	0
			Cierre	Suministro de material de cobertura para sellado	0	0
				Compactación final	5.42	6.64
				Instalación de quemadores	0	0
				Disposición del lixiviado	3.69	3.69
				Higienización	0	0
				Monitoreos Ambientales	0	0
		Involucramiento de población beneficiada	Operación y mantenimiento y cierre	Monitoreos Ambientales	2.35	2.35
			Operación y mantenimiento y cierre	16 actividades restantes	0	0
		Salud Ocupacional	Operación y mantenimiento	Flujo Vehicular	0	0
				Transporte de residuos	-2.9	-2.9
				Descarga y esparcido de residuos	-4.11	-4.11
				Compactación de residuos	-4.11	-5.03
				Extracción, transporte y vertido de material de cobertura	-4.11	-4.11
				Sellado diario de celdas y sellado final	-2.9	-4.11
				Instalación y uso de chimeneas	-2.67	-3.77
				Higienización	-2.9	-2.9
				Captación y recirculación de lixiviados	-4.11	-5.03
				Actividades de mantenimiento	-2.9	-2.9
				Monitoreos Ambientales	-1.58	-1.58

Componente	Sub componente	Factor Ambiental	Etapa	Actividades	Método de digestión	
					Fukuoka	Anaeróbico
Territorio	Uso y costumbres territoriales		Cierre	Suministro de material de cobertura para sellado	-2.9	-2.9
				Compactación final	-2.9	-4.11
				Instalación de quemadores	-1.95	-1.95
				Disposición del lixiviado	-1.95	-2.76
				Higienización	-1.95	-1.95
				Monitoreos Ambientales	-1.58	-1.58
			Operación y mantenimiento	Flujo Vehicular	-3.26	-3.26
				Transporte de residuos	-3.54	-3.54
				Descarga y esparcido de residuos	0	0
				Compactación de residuos	0	0
				Extracción, transporte y vertido de material de cobertura	-3.54	-3.54
				Sellado diario de celdas y sellado final	0	0
				Instalación y uso de chimeneas	0	0
				Higienización	0	0
				Captación y recirculación de lixiviados	-1.41	-1.41
				Actividades de mantenimiento	0	0
				Monitoreos Ambientales	0	0
	Flujo vial		Cierre	Suministro de material de cobertura para sellado	-3	-3
				Compactación final	-2.67	-2.67
				Instalación de quemadores	0	0
				Disposición del lixiviado	-2.5	-2.5
				Higienización	0	0
				Monitoreos Ambientales	0	0
			Operación y mantenimiento	Flujo Vehicular	-3	-3
				Transporte de residuos	-3	-3
				Descarga y esparcido de residuos	0	0
				Compactación de residuos	0	0
				Extracción, transporte y vertido de material de cobertura	-3	-3
				Sellado diario de celdas y sellado final	0	0
				Instalación y uso de chimeneas	0	0
				Higienización	0	0
				Captación y recirculación de lixiviados	0	0
				Actividades de mantenimiento	-2.22	-2.22
				Monitoreos Ambientales	0	0
Economía local	Generación de empleo		Operación y mantenimiento y cierre	Todas las actividades (17 actividades)	4.66	4.66
				Todas las actividades (17 actividades)	4.66	4.66
	Actividades económicas		Operación y mantenimiento y cierre	Todas las actividades (17 actividades)	4.66	4.66
				Todas las actividades (17 actividades)	4.66	4.66
Seguridad	Accidentes		Operación y mantenimiento	Descarga y esparcido de residuos	-4.66	-4.66
			Operación y mantenimiento y cierre	16 actividades restantes	-3.77	-3.77
			Operación y mantenimiento y cierre	16 actividades restantes	-3.77	-3.77

Los resultados son los siguientes:

- De acuerdo al factor «salud pública», se ha identificado que las actividades realizadas en la etapa de operación y mantenimiento, y cierre muestran similitud en su evaluación durante la aplicación el método Fukuoka y método anaeróbico, debido a que la aplicación del primero tiene mayor alcance en temática ambiental y la población se encuentra ubicada a más de 500 metros del relleno, por lo cual no se identifica variación significativa.
- De acuerdo al factor «involucramiento de la población beneficiada», se ha identificado que la actividad de monitoreo ambiental realizada en la etapa de operación y mantenimiento, y cierre muestran similitud en su evaluación durante la aplicación del método Fukuoka y método anaeróbico, ya que la población participa de los monitoreos ambientales del mismo modo en ambos métodos.
- De acuerdo al factor «salud ocupacional», se ha identificado que las actividades realizadas en la etapa de operación y mantenimiento y cierre muestra diferencia en su evaluación durante la aplicación del método Fukuoka y el método anaeróbico, debido a que el método Fukuoka reduce la exposición de la salud personal del relleno debido a una reducción en la emisión de biogás por residuos sólidos.
- De acuerdo al factor «uso y costumbres territoriales» y «flujo vial», se ha identificado que las actividades realizadas en la etapa de operación y mantenimiento, y cierre muestra similitud en su evaluación durante la aplicación del método Fukuoka y el método anaeróbico, debido a que no se evidencia cambio en las actividades desarrolladas, toda vez que se deben de seguir las operaciones mínimas de un relleno sanitario establecidas en el Artículo 115 del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

- De acuerdo a los factores «generación de empleo» y «actividades económicas», se ha identificado que las actividades realizadas en la etapa de operación y mantenimiento y cierre, muestra similitud en su evaluación durante la aplicación del método Fukuoka y el método anaeróbico, ya que trae consigo un incremento del comercio para la población sea cualquiera de los métodos empleados.
- Finalmente, de acuerdo con el factor «accidentes», se ha identificado que las actividades realizadas en la etapa de operación y mantenimiento y cierre muestra similitud en su evaluación durante la aplicación del método Fukuoka y el método anaeróbico, ya que dicho factor no evidencia cambio significativo en las actividades.

5.3.3. Análisis económico

Luego de culminada la vida útil de un relleno sanitario, es necesario establecer un monitoreo ambiental con el fin de controlar los impactos ambientales generador, así como evitar el uso inadecuado de la población (Jaramillo, 2002). El tiempo y los costos operativos del monitoreo ambiental que demanda un relleno sanitario durante la etapa de post cierre, se encuentran asociados al tiempo de estabilización; el cual se nos menciona que depende de factores tales como la calidad de lixiviados, balance de masa del carbono y nitrógeno, y número de bacterias (Hirata *et al.*, 2012). Asimismo, un relleno sanitario semi-aeróbico tiene un proceso de estabilización acelerado a consecuencia del ingreso del aire natural hacia la masa de residuos a través de las tuberías instaladas, donde se crea un ambiente aeróbico que aumenta la actividad microbiana que descomponen los residuos sólidos rápidamente (Ministry of the Environment of Japan, 2012).

Del mismo modo, se indica que la estabilización, descomposición de un relleno sanitario semi-aeróbico es bueno y corto a diferencia de un relleno sanitario anaeróbico que es negativo.

Tabla N° 23: Características por tipo de digestión de relleno sanitario

ID	Relleno sanitario anaeróbico	Mejora de relleno sanitario	Relleno sanitario semi-aeróbico	Relleno sanitario aeróbico
Descomposición	Negativo	Negativo	Bueno y corto	Bueno y corto
Estabilización	Negativo	Negativo	Bueno y corto	Bueno y corto
Generación de gas metano	Negativo	Negativo	Bueno y pequeño	Bueno y pequeño

Fuente: Zhang (2012).

En ese sentido, la Municipalidad Distrital de Chancay ha establecido que luego de culminada la vida útil del relleno sanitario de Chancay con tipo de digestión anaeróbico, se debe realizar un monitoreo ambiental de lixiviados, calidad del aire y ruido de manera cuatrimestral durante un periodo de 10 años, el cual comprende la etapa de post cierre.

Tabla N° 24: Presupuesto del monitoreo ambiental del método Anaeróbico

Descripción	Cantidad de puntos	Cantidad anual	Costo unitario (PEN)	Costo parcial (PEN/año)
Etapas de post cierre				
Lixiviados	4	4	2,000.00	8,000.00
Calidad del aire	2	2	1,500.00	3,000.00
Ruido	2	2	500.00	1,000.00
Subtotal (anual)				12,000.00
Total (10 años)				120,000.00

Fuente: «Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2014).

Sin embargo, teniendo en cuenta que un relleno sanitario anaeróbico puede llevar décadas la degradación de residuos sólidos orgánicos restantes; sin embargo, el ambiente aeróbico propicia a la degradación en menor tiempo, menos de 10 años en un entorno

propicio (Sohoo *et al.*, 2022). Además, la degradación aeróbica aplicada en el método Fukuoka acelera la estabilización, monitoreándose a través de la generación de subproductos tales como lixiviados y biogás, con una temperatura de reacción entre 50 a 70 °C (Zhang, 2012).

Del mismo modo, Sun *et al.* (2011) en su investigación a través de una experimentación presenta la comparación entre la degradación anaeróbica y semi-aeróbica de residuos sólidos con recirculación de lixiviados mediante biorreactor de residuos envejecidos, siendo así que el tiempo para la estabilización es de 2.2 años para el anaeróbico, y de 100 días el semi-aeróbico. Asimismo, de acuerdo con Valverde Romero (2021) indica que luego de culminada la vida útil de un relleno sanitario utilizando el método Fukuoka, conlleva al desarrollo de una etapa de post cierre, el cual tarda entre cinco (05) a 10 años luego de terminada aquella etapa, para poder hacer uso del terreno. Del mismo modo la Fukuoka City Environmental (2013), nos menciona que los rellenos sanitarios que utilizan el método Fukuoka se vuelven más estables tempranamente luego de la culminación de su vida útil, además luego de establecer un monitoreo ambiental y medidas de seguridad adecuadas el terreno puede ser utilizado como parques deportivos.

En ese sentido, se establece un presupuesto del monitoreo ambiental durante la etapa de post cierre aplicando el método Fukuoka.

Tabla N° 25: Presupuesto del monitoreo ambiental del método Fukuoka

Descripción	Cantidad de puntos	Cantidad anual	Costo unitario (PEN)	Costo parcial (PEN/año)
Etapas de post cierre				
Lixiviados	4	4	2,000.00	8,000.00
Calidad del aire	2	2	1,500.00	3,000.00
Ruido	2	2	500,00	1,000.00
Subtotal (anual)				12,000.00
Total (5 años)*				60,000.00
Total (10 años)**				120,000.00

Fuente: «*Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima*» (Municipalidad Distrital de Chancay, 2014).

* De acuerdo a la investigación de Valverde Romero (2021), es el menor tiempo del desarrollo de la etapa de post cierre de un relleno sanitario utilizando el método Fukuoka.

** De acuerdo a la investigación de Valverde Romero (2021), es el mayor tiempo del desarrollo de la etapa de post cierre de un relleno sanitario utilizando el método Fukuoka.

Respecto a lo indicado, los costos operativos que se demanda durante la etapa de post cierre del relleno sanitario Chancay comprende el presupuesto del monitoreo ambiental en lixiviados, calidad de aire y ruido, los cuales de utilizar el método semi-aeróbico ascienden entre PEN 60,000.00 y PEN 120,000.00 dependiendo de la estabilización; sin embargo, de considerar el método anaeróbico, asciende a PEN 120,000.00.

6. DISCUSIÓN

Los rellenos sanitarios es un sitio en el cual se confinan los residuos sólidos bajo condiciones de ingeniería para así proteger la salud humana y ambiental. Constituye una técnica de disposición final de residuos que puede presentar deficiencias atribuibles a imprecisiones de diseño u operación; sin embargo, es posible encontrar soluciones para evitar dichas imperfecciones, una de ellas es el método Fukuoka que se muestra como alternativa de solución.

Al comparar la presente investigación con lo realizado por Valverde Romero (2021), los resultados nos muestran que la implementación del método Fukuoka en el relleno sanitario de Chancay disminuye los riesgos a la salud y daños ambientales, debido a que logra reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (metano), representando una reducción en la magnitud de los impactos ambientales y mejora en la calidad del aire. Asimismo, se logra reducir la carga orgánica del lixiviado, resultando en mejora de la calidad del mismo, lo cual representa una disminución en la magnitud de los impactos ambientales que este conlleva a la calidad del suelo. Del mismo modo, el método Fukuoka es considerado un método simple, de fácil aplicación y de rápida estabilización por lo cual se disminuye el periodo de la etapa de post cierre, logrando en tal sentido una reducción en costos. No obstante, cabe la posibilidad de presentar inconvenientes durante la operación del relleno sanitario que aplique el método de Fukuoka, siendo la posible ruptura de las tuberías de oxigenación debido al peso de la maquinaria al realizar la nivelación y/o compactación de los residuos; de ocurrir se perdería la esencia de la metodología (Matsufuji, 2021).

En el mismo sentido, el Ministerio del Medio Ambiente de Japón (2012) toma en consideración la investigación realizada por la Universidad de Fukuoka, donde se da conocer que la implementación del método Fukuoka en un relleno sanitario logra reducir en un 90 % la DBO del lixiviado en aproximadamente seis meses; del mismo modo, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón - Ministerio de Vivienda y Gobierno Local de Malasia (2004), dio a conocer

que aplicando el método en un relleno sanitario logra reducir en un 90 % de la DBO al cabo de un año de funcionamiento. Adicionalmente, Aziz *et al.* (2010) analizó y comparó el resultado de análisis de lixiviados de rellenos sanitario semi-aeróbico Pulau Burung y relleno sanitario anaeróbico Kulim resultando en que la aireación tiene un efecto positivo en la reducción de contaminantes del lixiviado demostrando así una que el lixiviado de Palau Burung es de DBO₅/DQO igual a 0.096 y el de Kulim igual a 0.205. Por consiguiente, se estima obtener los mismos resultados al implementar el método de digestión semi-aeróbico en el desarrollo de la celda 02 del relleno sanitario de Chancay.

Se evaluó la generación de biogás (subproducto resultante de la descomposición de la materia orgánica confinada), siendo así que los resultados mostraron una reducción potencial y máxima del 50 % en emisiones de metano y CO₂-eq generados por la descomposición de residuos sólidos en el relleno. En ese contexto, al comparar los resultados con la investigación de dos Muchangos & Tokai (2020), se puede afirmar que se obtuvieron resultados similares. Su investigación demuestra que la aplicación del método Fukuoka reduce potencialmente en un 40 % las emisiones de gases de efecto invernadero en el botadero Hulene en la ciudad de Maputo, Mozambique. Asimismo, Sutthasil *et al.* (2014) efectuó una investigación con el propósito de comparar la emisión de gas metano de relleno sanitario semi-aeróbico que opera en condiciones tropicales, observando una reducción de emisiones de metano en comparación con las condiciones anaeróbicas; resultando así una fluctuación de 2.8 g/m²/día en comparación a 62.6 g/m²/día del relleno sanitario anaeróbico. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero conlleva a beneficios positivos a la calidad del aire; y, en igual forma, la reducción de metano implica la disminución de olores provenientes de la degradación de los residuos sólidos. La población asentada en el área de influencia del relleno sanitario mejora su salud ambiental condicionada por la calidad de aire, como se ha confirmado en el párrafo anterior. Contrastando así que la aplicación del método reduce significativamente los gases de efecto invernadero en un 50 %, mejorando el ambiente y protegiendo la salud de la población.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se colige que la propuesta de disposición final de residuos sólidos basado en el método Fukuoka para el relleno sanitario de Chancay, provincia de Huaral - departamento de Lima, generan beneficios ambientales respecto a la mitigación de impactos ambientales en el factor aire y suelo; asimismo, genera beneficio económico relacionados al ahorro económico de los monitoreos ambientales post cierre.
- La caracterización sobre el servicio de disposición final de residuos sólidos en el distrito de Chancay, el cual es ofertado por la Municipalidad Distrital de Chancay, muestra las características técnicas del mismo resaltando el manejo de biogás por evacuación de chimeneas, y el manejo de lixiviados mediante el almacenamiento y recirculación. Asimismo, se identifica que se cubre la demanda existente de la población asentada en el distrito, hasta mediados del año 2029; sin embargo, actualmente no se encuentra fomentando el desarrollo de proyectos de inversión pública o expedientes técnicos por parte de los gobiernos regionales o distritales para el desarrollo de nuevas infraestructuras de disposición final, ya sea por descomposición anaeróbica o semi-aeróbica (método Fukuoka), en el distrito de Chancay con el objetivo de cubrir la demanda proyectada.
- La aplicación del método Fukuoka permite reducir los gases de efecto invernadero, constituido por gas metano y CO₂ equivalente, producido por la descomposición de residuos sólidos, en un máximo de 50 % durante la etapa operativa del relleno sanitario. Asimismo, disminuye la carga orgánica de los lixiviados generados (DBO) en un 90 % durante los seis primeros meses de funcionamiento.
- La propuesta, en el factor ambiental, evidencia una reducción de los impactos ambientales relacionados al factor aire por una menor emisión de gases de efecto invernadero, y en el factor suelo, en el caso de un evento no deseado por derrame de lixiviados; contribuyendo

al cumplimiento del Objetivo 13: Acción por el clima de los objetivos de desarrollo sostenible. En el análisis social, no se evidencia diferencias significativas a la aplicación del método, a excepción de los impactos socioambientales relacionados al factor salud ocupacional del personal que labora en el relleno sanitario por menor exposición a gases de efecto invernadero. Por último, en el factor económico enfocado en el monitoreo ambiental post cierre, se presenta un ahorro monetario por la celeridad en la obtención de la estabilización.

7.2. Recomendaciones

- Socializar la investigación realizada a las autoridades de la Municipalidad Distrital de Chancay, con el fin de su conocimiento y potencial aplicación en la celda 02 del relleno sanitario.
- Se recomienda que las autoridades competentes analicen el estado de salud de la población asentada alrededor de los rellenos sanitarios del país con el fin de generar data que coadyuve a generar mecanismos para poder mitigar los impactos potenciales en la población, donde existen factores condicionantes tales como recursos económicos, tecnología y conocimiento de las autoridades.
- En Perú, un país en crecimiento poblacional y de demanda de acceso a servicios públicos, el método Fukuoka resulta una tecnología que muestra diversos beneficios a considerar en los proyectos de inversión pública y privada a ejecutarse.
- Se recomienda realizar una prueba piloto tomando en cuenta los resultados de la presente investigación para confirmar los beneficios de la aplicación del método Fukuoka en un relleno sanitario.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenta Rivas, M. E., Sierra Camargo, L. D., & Vélez Pereira, A. M. (2017, junio). Modelación de la producción de metano en el Relleno Sanitario Parque Ambiental Palangana (Santa Marta). *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(2), 183-192.
- Ayala, L. (2010). *Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo)* [I Simposio: Presente y Futuro de los Biocombustibles en Guatemala]. <http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf>. Consultado el 2 de noviembre del 2021.
- Aziz, S. Q., Aziz, H. A., Yusoff, M. S., Bashir, M. J. K., & Umar, M. (2010). Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2608-2614. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.042>
- Barba Regalado, A. N. (2019). *EMISIONES DE GASES TÓXICOS DEL RELLENO SANITARIO PONGOR Y SU INCIDENCIA EN LA CONTAMINACION AMBIENTAL DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA - HUARAZ 2015 – 2016* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúñez de Mayolo]. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3418/T033_31672437_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado el 28 de octubre del 2021.
- Cabeza Díaz, M. (2020). *Riesgo climático y definición de estrategias financieras para su mitigación en el sector agua y saneamiento en ALC: Residuos sólidos: Visión de la gestión de los desechos sólidos ante el cambio climático* (Nota Técnica N° IDB-TN-01989). [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Riesgo-climatico-y-](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Riesgo-climatico-y-definicion-de-estrategias-financieras-para-su-mitigacion-en-el-sector-agua-y-)
definicion-de-estrategias-financieras-para-su-mitigacion-en-el-sector-agua-y-

saneamiento-en-ALC-Residuos-solidos-Vision-de-la-gestion-de-los-desechos-solidos-ante-el-cambio-climatico.pdf. Consultado el 4 de febrero del 2022.

Camargo, Y., & Vélez, A. (2009). *EMISIONES DE BIOGAS PRODUCIDAS EN RELLENOS SANITARIOS*. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuo, Baranquilla. <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biogás%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>. Consultado el 7 de noviembre del 2021.

Castaño Martínez, C. (2020). *Los pilares del desarrollo sostenible: Sofisma o realidad*. Universidad Santo Tomás. <http://hdl.handle.net/11634/23249>

Chong, T. L., Matsufuji, Y., & Hassan, M. N. (2005). Implementation of the semi-aerobic landfill system (Fukuoka method) in developing countries: A Malaysia cost analysis. *Waste Management*, 25(7), 702-711. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.008>

Compromiso Empresarial para el Reciclaje (CEMPRE) Uruguay. (1998). *Residuos Sólidos Urbanos: Manual de Gestión Integral*. https://udelar.edu.uy/retema/wp-content/uploads/sites/30/2013/10/Manual_CEMPRE.pdf. Consultado el 5 de noviembre del 2021.

Contreras Santos, M. J. (2008). Evaluación de experiencias locales urbanas desde el concepto de sostenibilidad: El caso de los desechos sólidos del municipio de Los Patios (Norte de Santander, Colombia). *Trabajo Social*, 10, 109-134. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4386104>

Corena Luna, M. de J. (2008). *SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN RELLENOS SANITARIOS* [Tesis de Pregrado, Universidad de Sucre].

<http://www.ods.org.pe/material-de-consulta/37-sistemas-de-tratamientos-para-lixiviados-generados-en-rellenos-sanitarios-colombia/file>

Decreto Legislativo N° 1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (23 de diciembre de 2016). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>.

Consultado el 1 de noviembre del 2021.

Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM. Aprueban el Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (25 de septiembre de 2009). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317422-019-2009-minam>.

Consultado el 16 de octubre del 2022.

Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (21 de diciembre de 2017). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3695-014-2017-minam>. Consultado el 1 de noviembre del 2021.

Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM. Modifican el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, y el Reglamento de la Ley N° 2919, Ley que regula la actividad de los recicladores, aprobado mediante Decreto Supremo N° 005-2010-MINAM (9 de enero de 2022). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2649587-001-2022-minam>.

Consultado el 5 de febrero del 2022.

dos Muchangos, L. S., & Tokai, A. (2020). Greenhouse gas emission analysis of upgrading from an open dump to a semi-aerobic landfill in Mozambique – the case of Hulene dumpsite. *Scientific African*, 10, e00638. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00638>

- Fundación de Estudios Superiores. (2009). *Guía para elaborar un anteproyecto*.
<https://www.fesc.edu.co/portal/archivos/investigaciones/formatos/DE-2%20GUIA%20PRESENTACION%20DE%20ANTEPROYECTOS.pdf>. Consultado el 06 de noviembre del 2023.
- Fukuoka City Environmental. (2013). *The Fukuoka Method: What is the semi-aerobic landfill?*
 Fukuoka University.
https://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/25574/1/Fukuoka_method.pdf?20210210092505. Consultado el 4 de noviembre del 2021.
- Fukuoka Prefecture. (2020). *Guide to Introducing The Fukuoka Method for Final Waste Disposal Sites*.
https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/542225_60422573_misc.pdf.
 Consultado el 14 de marzo del 2022.
- Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes. *Revista De Ingeniería*, 1(14), 44-55. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>
- Gómez Vasquez, E. (2018). *Afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua* [Monografía de grado, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173184.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición.
- Hirata, O., Matsufuji, Y., Tachifuji, A., & Yanase, R. (2012). Waste stabilization mechanism by a recirculatory semi-aerobic landfill with the aeration system. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 14(1), 47-51. <https://doi.org/10.1007/s10163-011-0036-7>
- Hoyos, G. (2018). Los desechos como recurso. *Unidades de Apoyo para el Aprendizaje*.
<https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/42ec42cc-63b0-4593->

ba83-064bbfcd11b/DesechoscomoRecurso/index.html. Consultado el 1 de noviembre del 2021.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2009). *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Urbana y Rural por Sexo y Grupos Quinquenales de Edad, Según Departamentos, 2000-2015*. Boletín Especial N° 19. <https://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/est/lib0844/index.htm>. Consultado el 29 de octubre del 2023.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. <https://censo2017.inei.gob.pe/publicaciones/>. Consultado el 8 de noviembre del 2021

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). *UN ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA GESTIÓN MUNICIPAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL PERÚ Y SUS DETERMINANTES*. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/residuos-solidos.pdf>. Consultado el 9 de septiembre del 2022.

IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme Volume 5). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html>. Consultado el 9 de mayo del 2022.

Japan International Cooperation Agency (JICA) & Institute for International Cooperation (IFIC). (2007). *Apoyo en el Desarrollo de la Capacidad para la Gestión de Desechos Sólidos en Países en Desarrollo*. https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11848009_01.pdf. Consultado el 8 de noviembre del 2021.

Japan International Cooperation Agency (JICA), & Ministry of Housing and Local Government. (2004). *THE STUDY ON THE SAFE CLOSURE AND REHABILITATION OF LANDFILL*

SITES IN MALAYSIA (Vol. 5).

https://jpspn.kpkt.gov.my/resources/index/user_1/Sumber_Rujukan/garis_panduan_jpspn/THE_TECHNICAL_GUIDELINES_FOR_SANITARY_LANDFILL_DESIGN_AND_OPERATION.pdf. Consultado el 4 de noviembre del 2021.

Jaramillo, J. (1999). *Gestión integral de residuos sólidos municipales-GIRSM*. Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI, Medellín. <https://limpezapublica.com.br/textos/girsm.pdf>. Consultado el 2 de noviembre del 2021.

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>. Consultado el 2 de noviembre del 2021.

JICA Peru. (2019, agosto 14). AMAZONAS SE PREPARA EN EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS PARA CONVERTIRSE EN UN DESTINO TURISTICO SOSTENIBLE DE PRIMER NIVEL. *Facebook*. <https://www.facebook.com/jicaperu/posts/amazonas-se-prepara-en-el-manejo-de-residuos-solidos-para-convertirse-en-un-desti/1137890749753252/>. Consultado el 5 de noviembre del 2021.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>. Consultado el 12 de diciembre del 2021.

Kiss Köfalusi, G., & Encarnación Aguilar, G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica*, 79, 39-51. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907903>

Lara Contreras, D., & Velásquez Hernández, L. F. (2016). *PROPUESTA PARA EL MANEJO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA PLAZA DE MERCADO DEL CASCO*

- URBANO DEL MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA* [Tesis de Pregrado, Universidad Libre]. <https://hdl.handle.net/10901/10397>
- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente (13 de octubre de 2005). <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per81742.pdf>. Consultado el 2 de noviembre del 2021.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XXXIX(1), 35-48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- Matsufuji, Y. (Director). (2021). *Aspectos Técnicos del Método Fukuoka [Webinar]*. JICA Peru. <https://www.facebook.com/jicaperu/videos/1051696778740330>. Consultado el 2 de octubre del 2022.
- Mayorca Malpartida, N. M. (2017). *REDUCCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA EN LIXIVIADO ESTABILIZADO DEL BOTADERO MUNICIPAL DE SAN RAMÓN MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA FOTO-FENTON* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de La Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1392>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Expediente Técnico de Disposición Final y Reaprovechamiento* (Proyecto de Desarrollo de Sistemas de Gestión de Residuos Sólidos en Zonas Prioritarias).
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024* [Plan / Estrategia]. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>. Consultado el 3 de mayo del 2022.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). *Anexo II: Estudio Geológico y Geotécnico* (Recuperación del área degradada por residuos sólidos en el sector “Punta Grita Lobos”, distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima. SNIP N° 334561.).

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2021, julio 19). Huánuco: Inauguran infraestructura para disposición final de residuos sólidos municipales en provincia de Leoncio Prado. *Plataforma digital única del Estado Peruano*.
<https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/506996-huanuco-inauguran-infraestructura-para-disposicion-final-de-residuos-solidos-municipales-en-provincia-de-leoncio-prado>. Consultado el 5 de noviembre del 2021.

Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. (2002). *Rellenos sanitarios: Guía ambiental*. República de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente.

Ministry of the Environment of Japan. (2012). *Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan: Toward a Sustainable Society Toward a Sustainable Society*.
<https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/attach/swmrt.pdf>. Consultado el 14 de marzo del 2022.

Municipalidad Distrital de Chancay. (2014). *Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado «Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos para el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima»*.

Municipalidad Distrital de Chancay. (2019a). *Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales*.

Municipalidad Distrital de Chancay. (2019b). *INFORME DE MONITOREO AMBIENTAL AL RELLENO SANITARIO COM PARTE DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO: “MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES*.

Municipalidad Distrital de Chancay. (2021). *INFORME DE MONITOREO AMBIENTAL – RELLENO SANITARIO DE CHANCAY*.

Municipalidad Distrital de Chancay. (2020). *Plan de Manejo de Residuos Sólidos del distrito de Chancay - 2020*. Aprobado por Ordenanza Municipal N° 017-2020-MDCH.

Municipalidad Distrital de Orcopampa. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd) Categoría II del Proyecto Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos y planta de separación de residuos inorgánicos reciclables para la ciudad de Orcopampa, provincia de Castilla, departamento de Arequipa*.

Pinzón Uribe, L. F. (2019). Influencia de los Rellenos Sanitarios en el Cambio Climático. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Pinzon-3/publication/334000986_INFLUENCIA_DE_LOS_RELLENOS_SANITARIOS_EN_EL_CAMBIO_CLIMATICO_INFLUENCE_OF_THE_LANDFILL_SITES_IN_THE_CLIMATIC_CHANGE_1/links/5e729634299bf1571848ab11/INFLUENCIA-DE-LOS-RELLENOS-SANITARIOS-EN-EL-CAMBIO-CLIMATICO-INFLUENCE-OF-THE-LANDFILL-SITES-IN-THE-CLIMATIC-CHANGE-1.pdf. Consultado el 4 de febrero del 2022.

Reyes Medina, M. (2015). *Lixiviados en plantas de residuos: Una contribución para la selección del proceso de tratamiento* [Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de València]. <http://hdl.handle.net/10251/56763>

Rodríguez, J. & Lucena, J. (2015). *Procesamiento de información para la investigación utilizando el programado Excel*. Oficina de Evaluación del Aprendizaje Estudiantil. <https://cea.uprrp.edu/wp-content/uploads/2015/09/Procesamiento-de-datos-con-Excel-10-de-abril-.pdf>

Rodríguez, L. (2002). Hacia la gestión ambiental de residuos sólidos en la metrópolis de América Latina. *Innovar. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 1(20), 111-120. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81820112>

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., & Contreras, E. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Naciones Unidas. <http://hdl.handle.net/11362/40407>

Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme (SPRED), & Japan International Cooperation Agency (JICA). (2010). *A Practical guide to landfill management in Pacific Island countries and territories* (2nd ed). SPREP. <https://www.sprep.org/att/publication/Landfill-Guidelines.pdf>. Consultado el 4 de noviembre del 2021.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2021). *Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática*. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/2158106-climas-del-peru-mapa-de-clasificacion-climatica>. Consultado el 14 de marzo del 2022.

Sohoo, I., Ritzkowski, M., Sultan, M., Farooq, M., & Kuchta, K. (2022). Conceptualization of Bioreactor Landfill Approach for Sustainable Waste Management in Karachi, Pakistan. *Sustainability*, 14(6), 3364. <https://doi.org/10.3390/su14063364>

Sota Iparraguirre, S. M. (2021). *Efecto del diseño de un relleno sanitario en la percepción de disposición de residuos de los pobladores de Chincha Alta – Ica* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71578>

Sun, Y., Sun, X., & Zhao, Y. (2011). Comparison of semi-aerobic and anaerobic degradation of refuse with recirculation after leachate treatment by aged refuse bioreactor. *Waste Management*, 31(6), 1202-1209. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.022>

Sutthasil, N., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Wangyao, K., Towprayoon, S., Endo, K., & Yamada, M. (2014). Comparison of Solid Waste Stabilization and Methane Emission from

- Anaerobic and Semi-Aerobic Landfills Operated in Tropical Condition. *Environmental Engineering Research*, 19(3), 261-268. <https://doi.org/10.4491/eer.2014.S1.003>
- Tashiro, T. (2010, febrero 10). *The Fukuoka Method: Semi-aerobic Landfill Type*. https://kitakyushu.iges.or.jp/activities/network_meetings/fifth%20C.html. Consultado el 5 de noviembre del 2021.
- Useche, M., Artigas, W., Queipo, B. & Perozo, E. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos*. Primera Edición.
- Vallejo Villegas, Y., Realpe Rúa, V., & Fernández Aguirre, M. F. (2021). *EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS POR MEDIO DE UN RELLENO SANITARIO A ESCALA PILOTO* [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/26577>
- Valverde Romero, Y. (2021). *Análisis de la Implementación del Método Fukuoka en el Proyecto de Relleno Sanitario Mariscal Castilla – Alto Utcubamba, Provincia de Luya y Chachapoyas, Amazonas, Perú* [Tesis de Maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/657391>
- Villamil Casallas, S. A. (2020). *OPTIMIZACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE UN RELLENO SANITARIO CONVENCIONAL COMPLEMENTADO CON EL MÉTODO FUKUOKA* [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/25496>
- Yasushi, M. (2019, octubre 1). *The «FUKUOKA Method» striving as a relief to save the world from solid waste management problems* [Japan International Cooperation Agency (JICA)]. <https://www.jica.go.jp/kyushu/english/office/topics/191001.html>. Consultado el 5 de noviembre del 2021.

- Zafra Mejía, C. & Gutiérrez Gil, V. (2014). Análisis de la producción de lixiviado y biogás bajo condiciones de extracción activa en un relleno sanitario. *Ingenium*, 16(31), 9-23. <https://doi.org/10.21500/01247492.1365>
- Zafra Mejía, C. & Romero Torres, D. (2019). Tendencias tecnológicas de depuración de lixiviados en rellenos sanitarios iberoamericanos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 125-147. <http://dx.doi.org/10.22395/rium.v18n35a8>
- Zhang, C. (2012). *Environmental Economic Evaluation of Landfills in Malaysia / Zhang Chen* [Tesis de Maestría, University of Malaya.]. <http://studentsrepo.um.edu.my/id/eprint/4316>

9. ANEXOS

9.1. Anexo N° 1: Fotografías

Tesistas en el relleno sanitario de Chancay



Tesista en el relleno sanitario de Chancay



Celda 01 del relleno sanitario de Chancay



Zona compactada del relleno sanitario de Chancay



Área de pesaje del relleno sanitario de Chancay



Poza de lixiviados de relleno sanitario de Chancay



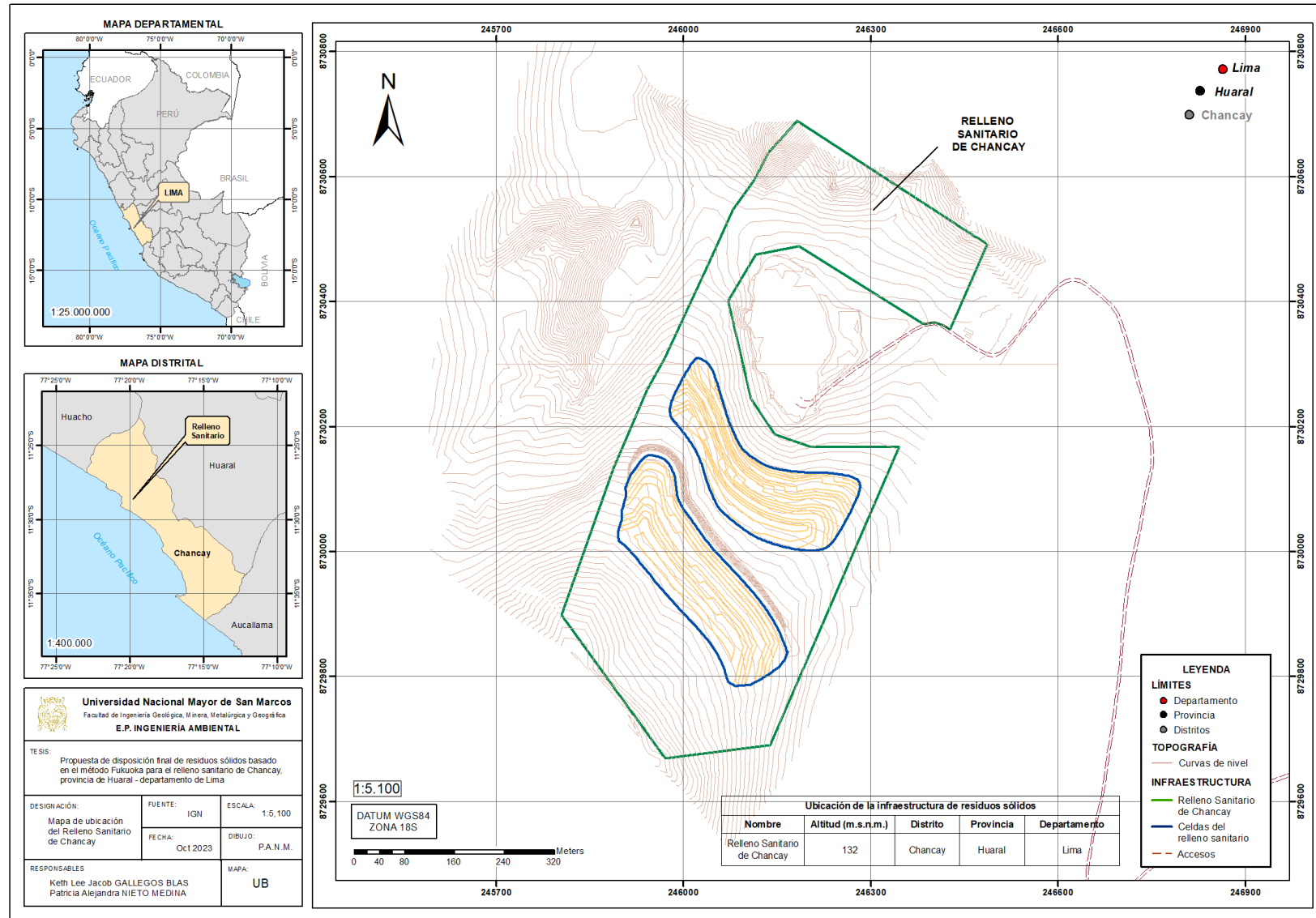
Chimenea del relleno sanitario de Chancay

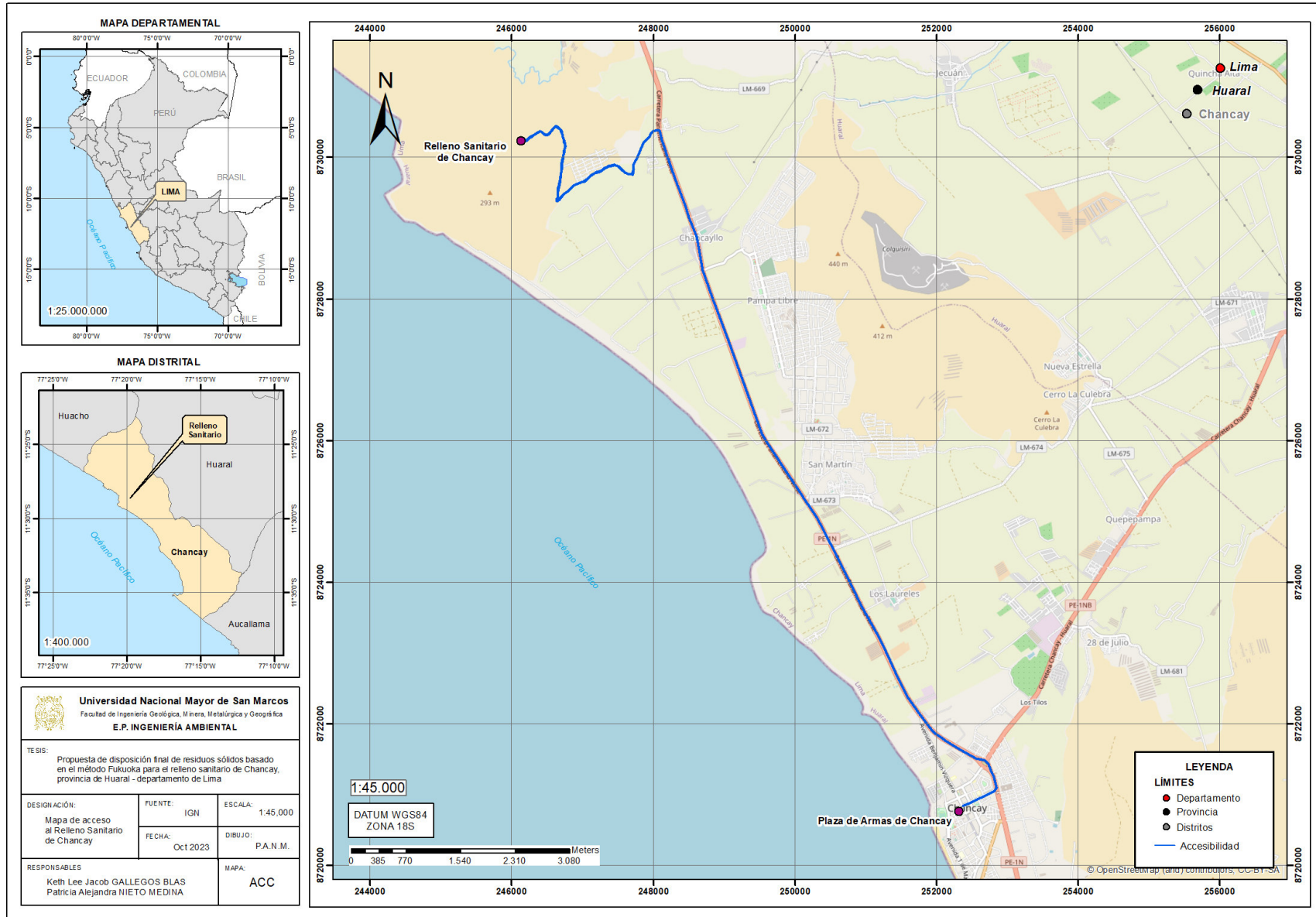


Municipalidad Distrital de Chancay



9.2. Anexo N° 2: Mapas





2. Proyección de la generación de residuos sólidos por composición														
Distrito	Generación de residuos sólidos	UNIDAD	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Chancay	Domiciliario urbano	t / día	35.85	36.80	37.77	38.77	39.79	40.84	41.93	43.04	44.18	45.35	46.55	47.78
	Orgánicos	t / día	18.27	18.75	19.25	19.76	20.28	20.82	21.37	21.93	22.51	23.11	23.72	24.35
	Inorgánicos	t / día	4.65	4.77	4.90	5.02	5.16	5.29	5.43	5.58	5.73	5.88	6.03	6.19
	Rechazables	t / día	12.93	13.28	13.63	13.99	14.36	14.73	15.12	15.53	15.94	16.36	16.79	17.24
	No domiciliario urbano	t / día	3.27	3.33	3.39	3.45	3.51	3.57	3.63	3.69	3.75	3.82	3.89	3.95
	Establecimientos comerciales	t / día	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.44	0.45
	Hoteles	t / día	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
	Mercados	t / día	1.91	1.94	1.98	2.01	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.30
	Restaurantes	t / día	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55
	Instituciones públicas y privadas	t / día	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Instituciones educativas	t / día	0.39	0.39	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.44	0.44	0.45	0.46	0.47
	Barrido de calles	t / día	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	Especiales	t / día	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Lubricentos	t / día	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
	Centros veterinarios	t / día	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Sub-total	t / día	39.17	40.17	41.20	42.26	43.34	44.45	45.60	46.77	47.98	49.21	50.48	51.79
	Sub-total año	t/año	14,296.11	14,702.33	15,037.91	15,423.61	15,819.55	16,270.44	16,643.20	17,071.50	17,511.17	18,011.74	18,476.36	18,953.34
	Acumulativo por año	toneladas	14,296.11	28,998.44	44,036.35	59,459.97	75,279.51	91,549.95	108,193.15	125,264.65	142,775.82	160,787.56	179,263.93	198,217.26

9.5. Anexo N° 5: Cálculo de generación de gases

Celda 01 – Método Fukuoka												
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	MSW	Industrial	Total	Methane recovery	Methane emission
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	$M = (K-L) \cdot (1-OX)$
	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
2018	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2019	9	2	1	1	0	5	0		0	17	0	15
2020	18	4	1	1	0	10	0		0	33	0	30
2021	26	6	2	2	0	14	0		0	49	0	44
2022	33	8	2	2	0	18	0		0	63	0	57
2023	41	9	2	3	0	23	0		0	78	0	70
2024	48	11	3	3	0	27	0		0	91	0	82
2025	44	11	3	3	0	25	0		0	85	0	76
2026	40	10	3	3	0	23	0		0	79	0	71
2027	37	9	3	3	0	22	0		0	73	0	66
2028	34	9	2	3	0	21	0		0	68	0	61
2029	31	8	2	3	0	19	0		0	64	0	57
2030	29	8	2	3	0	18	0		0	59	0	53

Celda 02 – Método Fukuoka												
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	MSW	Industrial	Total	Methane recovery	Methane emission
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	$M = (K-L) \cdot (1-OX)$
	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
2018	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2019	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2023	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2024	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2025	11	2	1	1	0	6	0		0	20	0	18

Celda 02 – Método Fukuoka												
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	MSW	Industrial	Total	Methane recovery	Methane emission
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	$M = (K-L) \cdot (1-OX)$
	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
2026	21	5	1	1	0	11	0		0	39	0	35
2027	30	7	2	2	0	16	0		0	57	0	51
2028	39	9	2	2	0	21	0		0	74	0	67
2029	47	11	3	3	0	26	0		0	91	0	82
2030	56	13	3	4	0	31	0		0	107	0	96

Celda 01 – Método Anaeróbico												
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	MSW	Industrial	Total	Methane recovery	Methane emission
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	$M = (K-L) \cdot (1-OX)$
	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
2018	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2019	18	4	1	1	0	10	0		0	34	0	31
2020	35	8	2	2	0	19	0		0	66	0	60
2021	51	12	3	3	0	28	0		0	97	0	88
2022	67	15	4	4	0	37	0		0	127	0	114
2023	81	19	5	5	0	45	0		0	155	0	140
2024	95	22	6	6	0	53	0		0	183	0	165
2025	87	21	6	6	0	50	0		0	170	0	153
2026	80	20	5	6	0	47	0		0	158	0	142
2027	74	18	5	6	0	44	0		0	147	0	132
2028	68	17	5	5	0	41	0		0	137	0	123
2029	62	16	5	5	0	39	0		0	127	0	114
2030	57	15	4	5	0	36	0		0	118	0	106

Celda 02 – Método Anaeróbico												
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	MSW	Industrial	Total	Methane recovery	Methane emission
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	$M = (K-L) \cdot (1-OX)$
	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
2018	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2019	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2023	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2024	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
2025	21	5	1	1	0	11	0		0	40	0	36
2026	41	9	2	2	0	22	0		0	77	0	70
2027	60	14	4	4	0	33	0		0	113	0	102
2028	78	18	5	5	0	43	0		0	148	0	133
2029	95	22	6	6	0	53	0		0	182	0	163
2030	111	26	7	7	0	62	0		0	214	0	192

Generación de metano Y CO ₂ Equivalente											
1. Datos Base											
Potencial de Calentamiento Global								28.00	CO ₂ - eq		
1.1. Generación de metano											
Año	Unidad	Método Anaeróbico			Método Fukuoka			Método Anaeróbico y Fukuoka			Porcentaje de reducción
		Celda 01	Celda 02	Total	Celda 01	Celda 02	Total	Celda 01	Celda 02	Total	
2018	Gg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
2019	Gg	30.71	0.00	30.71	15.36	0.00	15.36	30.71	0.00	30.71	50%
2020	Gg	59.73	0.00	59.73	29.87	0.00	29.87	59.73	0.00	59.73	50%
2021	Gg	87.61	0.00	87.61	43.80	0.00	43.80	87.61	0.00	87.61	50%
2022	Gg	114.27	0.00	114.27	57.13	0.00	57.13	114.27	0.00	114.27	50%
2023	Gg	139.91	0.00	139.91	69.96	0.00	69.96	139.91	0.00	139.91	50%
2024	Gg	164.64	0.00	164.64	82.32	0.00	82.32	164.64	0.00	164.64	50%
2025	Gg	153.00	35.65	188.65	76.50	17.82	94.32	153.00	17.82	170.82	50%
2026	Gg	142.21	69.60	211.81	71.10	34.80	105.91	142.21	34.80	177.01	50%
2027	Gg	132.21	102.12	234.32	66.10	51.06	117.16	132.21	51.06	183.26	50%
2028	Gg	122.93	133.32	256.26	61.47	66.66	128.13	122.93	66.66	189.59	50%
2029	Gg	114.34	163.45	277.79	57.17	81.72	138.89	114.34	81.72	196.06	50%
2030	Gg	106.37	192.39	298.76	53.18	96.20	149.38	106.37	96.20	202.56	50%
1.1. Generación de CO ₂ Equivalente											
Año	Unidad	Método Anaeróbico			Método Fukuoka			Método Anaeróbico y Fukuoka			Porcentaje de reducción
		Celda 01	Celda 02	Total	Celda 01	Celda 02	Total	Celda 01	Celda 02	Total	
2018	CO ₂ - eq Gg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
2019	CO ₂ - eq Gg	859.89	0.00	859.89	429.94	0.00	429.94	859.89	0.00	859.89	50%
2020	CO ₂ - eq Gg	1672.53	0.00	1672.53	836.27	0.00	836.27	1672.53	0.00	1672.53	50%
2021	CO ₂ - eq Gg	2453.01	0.00	2453.01	1226.51	0.00	1226.51	2453.01	0.00	2453.01	50%

2022	CO ₂ - eq Gg	3199.46	0.00	3199.46	1599.73	0.00	1599.73	3199.46	0.00	3199.46	50%
2023	CO ₂ - eq Gg	3917.52	0.00	3917.52	1958.76	0.00	1958.76	3917.52	0.00	3917.52	50%
2024	CO ₂ - eq Gg	4609.96	0.00	4609.96	2304.98	0.00	2304.98	4609.96	0.00	4609.96	50%
2025	CO ₂ - eq Gg	4283.95	998.17	5282.11	2141.97	499.08	2641.06	4283.95	499.08	4783.03	50%
2026	CO ₂ - eq Gg	3981.81	1948.94	5930.75	1990.91	974.47	2965.37	3981.81	974.47	4956.28	50%
2027	CO ₂ - eq Gg	3701.76	2859.29	6561.06	1850.88	1429.65	3280.53	3701.76	1429.65	5131.41	50%
2028	CO ₂ - eq Gg	3442.15	3732.99	7175.15	1721.08	1866.50	3587.57	3442.15	1866.50	5308.65	50%
2029	CO ₂ - eq Gg	3201.45	4576.57	7778.01	1600.72	2288.28	3889.01	3201.45	2288.28	5489.73	50%
2030	CO ₂ - eq Gg	2978.24	5387.00	8365.24	1489.12	2693.50	4182.62	2978.24	2693.50	5671.74	50%

FACTORES AMBIENTALES / SUB ACTIVIDADES DEL PROYECTO				ETAPAS DE PROYECTO																																		
				OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO																																		
				Flujo Vehicular						Transporte de residuos						Descarga y esparcido de residuos						Compactación de residuos						Extracción, transporte y vertido del material de cobertura										
Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto							
AB001	ABIÓTICO	AIRE	MATERIAL PARTICULADO	-1	2.5	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	-1	7.5	2.50	1.00	3	2.50	-2.95	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	5.00	5.00	2.50	4.13	5.00	-4.54
AB002			GASES	-1	2.5	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	-1	7.5	2.50	1.00	3	2.50	-2.95	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90
AB003			NIVEL DE RUIDO	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	7.5	2.5	1.00	3	2.50	-2.95	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90
AB004			OLORES	0				0.00	0.00	0.00	-1	7.5	2.5	1.00	3	2.50	-2.95	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	0			0.00	0.00	0.00	
AB005		SUELO	PERMEABILIDAD	-1	1.00	5.00	2.5	2.93	2.50	-2.70	-1	2.5	2.5	1.00	2	2.50	-2.22	0				0.00	0.00	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	0			0.00	0.00	0.00		
AB006			ESTABILIDAD	+1	1.00	5.00	2.50	2.93	2.50	2.70	+1	2.5	2.5	1.00	2	2.50	2.22	0				0.00	0.00	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	
AB007			GRADO DE COMPACTACIÓN	+1	1.00	5.00	2.50	2.93	2.50	2.70	+1	2.5	2.5	1.00	2	2.50	2.22	0				0.00	0.00	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	
AB008			CALIDAD DEL SUELO	0				0.00	0.00	0					0	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00	0.00		
AB009		PAISAJE	ECOSISTEMA	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90
AB010			ALTERACIÓN PAISAJÍSTICA	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67
B001	BIÓTICO	FAUNA	HABITATS	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58
B002			ESPECIES NATIVAS	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58
AT001	ANTRÓPICO	POBLACIÓN	SALUD PÚBLICA	0				0.00	0.00	0.00	+1	5.00	7.5	5.00	6	5.00	5.42	0				0.00	0.00	+1	5.00	7.50	5.00	5.88	5.00	5.42	0			0.00	0.00	0.00		
AT002			INVOLUCRAMIENTO DE POBLACIÓN BENEFICIADA	0				0.00	0.00	0				0	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00	0.00			
AT003			SALUD OCUPACIONAL	0				0.00	0.00	0.00	-1	2.50	5.00	2.50	3	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11
AT004		TERRITORIO	USOS Y COSTUMBRES TERRITORIALES	-1	2.50	5.00	5.00	4.25	2.5	-3.26	-1	5.00	5.00	5.00	5	2.50	-3.54	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00	-1	5.00	5.00	5.00	5	2.50	-3.54		
AT005			FLUJO VIAL	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	5.00	5.00	1.00	4	2.50	-3.00	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00	-1	5.00	5.00	1.00	4	2.50	-3.00		
AT006		ECONOMÍA LOCAL	GENERACIÓN DE EMPLEO	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66
AT007			ACTIVDES ECONÓMICAS	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66
AT008		SEGURIDAD	ACCIDENTES	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	3	5.00	-3.77	-1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	-4.66	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77

FACTORES AMBIENTALES / SUB ACTIVIDADES DEL PROYECTO				ETAPAS DE PROYECTO																															
				CIERRE Y POST CIERRE																															
				Suministro de material de cobertura para sellado					Compactación final					Instalación de quemadores					Disposición del lixiviado					Higienización					Monitores Ambientales						
CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto				
AB001	ABIÓTICO	AIRE	MATERIAL PARTICULADO	-1	5.00	5.00	2.50	4.13	5.00	-4.54	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				
AB002			GASES	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	-1.00	2.50	1.00	0.93	2.50	-1.52	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	0			
AB003			NIVEL DE RUIDO	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	-1.00	2.50	1.00	0.93	2.50	-1.52	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	-1			
AB004			OLORES	0				0.00	0	0.00	0				0.00	0	0.00	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	2.50	-2.22	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	+1			
AB005		SUELO	PERMEABILIDAD	0				0.00	0.00	0.00	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				
AB006			ESTABILIDAD	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	-5.03	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				
AB007			GRADO DE COMPACTACIÓN	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	-5.03	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				
AB008			CALIDAD DEL SUELO	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	0		-1	1.00	1.00	2.50	1.53	1.00	-1.23	-1	1.00	1.00	2.50	1.53	1.00	-1.23	0		
AB009		PAISAJE	ECOSISTEMA	0				0.00	0.00	0.00	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	2.50	-2.22	-1	2.50	2.50	5.00	3.38	2.50	-2.90	0			
AB010			ALTERACIÓN PAISAJÍSTICA	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	2.50	-2.22	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	0			
B001	BIÓTICO	FAUNA	HABITATS	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0			
B002			ESPECIES NATIVAS	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0			
AT001	ANTRÓPICO	POBLACIÓN	SALUD PÚBLICA	0				0.00	0.00	+1	5.00	7.50	5.00	5.88	5.00	5.42	0					0.00	0.00	+1	5.00	2.50	1.00	2.73	5.00	3.69	0				
AT002			INVOLUCRAMIENTO DE POBLACIÓN BENEFICIADA	0				0.00	0	0.00	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	+1	5.00	1.00	2.20	2.50	2.35
AT003			SALUD OCUPACIONAL	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	-1			
AT004		TERRITORIO	USOS Y COSTUMBRES TERRITORIALES	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	0					0.00	0.00	-1	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	-2.50	0			
AT005			FLUJO VIAL	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				
AT006		ECONOMÍA LOCAL	GENERACIÓN DE EMPLEO	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1			
AT007			ACTIVDES ECONÓMICAS	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1			
AT008		SEGURIDAD	ACCIDENTES	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1			

Evaluación Ambiental – Método Anaeróbica

[illegible]

FACTORES AMBIENTALES / SUB ACTIVIDADES DEL PROYECTO				ETAPAS DEL PROYECTO																																		
				OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO																																		
				Flujo Vehicular						Transporte de residuos						Descarga y esparcido de residuos						Compactación de residuos						Extracción, transporte y vertido del material de cobertura										
Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto							
AB001	ABIÓTICO	AIRE	MATERIAL PARTICULADO	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	-1	7.50	2.50	1.00	3	2.50	-2.95	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	5.00	5.00	2.50	4.13	5.00	-4.54
AB002			GASES	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	-1	7.50	2.50	1.00	3	2.50	-2.95	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	5.00	-3.46	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90
AB003			NIVEL DE RUIDO	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	7.50	2.50	1.00	3	2.50	-2.95	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90
AB005		SUELO	PERMEABILIDAD	-1	1.00	5.00	2.50	2.93	2.50	-2.70	-1	2.50	2.50	1.00	2	2.50	-2.22	0				0.00	0.00	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	0			0.00		0.00	0.00	
AB006			ESTABILIDAD	+1	1.00	5.00	2.50	2.93	2.50	2.70	+1	2.50	2.50	1.00	2	2.50	2.22	0				0.00	0.00	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	
AB007			GRADO DE COMPACTACIÓN	+1	1.00	5.00	2.50	2.93	2.50	2.70	+1	2.50	2.50	1.00	2	2.50	2.22	0				0.00	0.00	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	
AB008			CALIDAD DEL SUELO	0				0.00	0.00	0					0	0.00	0					0.00	0.00	0					0.00	0			0.00		0.00	0.00		
AB009		PAISAJE	ECOSISTEMA	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90
AB010			ALTERACIÓN PAISAJÍSTICA	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67
B001	BIÓTICO	FAUNA	HABITATS	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58
B002			ESPECIES NATIVAS	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	5.00	-5.06	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58
AT001	ANTRÓPICO	POBLACIÓN	SALUD PÚBLICA	0				0.00	0.00	+1	5.00	7.50	5.00	6	5.00	5.42	0				0.00	0.00	+1	5.00	7.50	5.00	5.88	7.50	6.64	0			0.00		0.00	0.00		
AT002			INVOLUCRAMIENTO DE POBLACIÓN BENEFICIADA	0				0.00	0.00	0				0	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0			0.00		0.00	0.00			
AT003			SALUD OCUPACIONAL	0				0.00	0.00	-1	2.50	5.00	2.50	3	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.5	-5.03	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	
AT004		TERRITORIO	USOS Y COSTUMBRES TERRITORIALES	-1	2.50	5.00	5.00	4.25	2.5	-3.26	-1	5.00	5.00	5.00	5	2.50	-3.54	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00	-1	5.00	5.00	5.00	5	2.50	-3.54		
AT005			FLUJO VIAL	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	5.00	5.00	1.00	4	2.50	-3.00	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00	-1	5.00	5.00	1.00	4	2.50	-3.00		
AT006		ECONOMÍA LOCAL	GENERACIÓN DE EMPLEO	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66
AT007			ACTIVDES ECONÓMICAS	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66
AT008		SEGURIDAD	ACCIDENTES	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	3	5.00	-3.77	-1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	-4.66	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77

FACTORES AMBIENTALES / SUB ACTIVIDADES DEL PROYECTO				ETAPAS DEL PROYECTO																																										
				OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO																																										
				Sellado diario de celdas y sellado final					Instalación y uso de chimeneas					Higienización					Captación y recirculación de lixiviados					Actividades de mantenimiento					Monitoreos Ambientales																	
CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto															
AB001	ABIÓTICO	AIRE	MATERIAL PARTICULADO	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0					0.00	0.00	0					0.00	0.00															
AB002			GASES	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	5.00	-3.46	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	5.00	-3.14	0					0.00	0.00	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0	0.00	0.00												
AB003			NIVEL DE RUIDO	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0	0.00	0.00												
AB005		SUELO	PERMEABILIDAD	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	0				0.00	0.00	0						0.00	0.00	0					0.00	0.00	0.00	0.00													
AB006			ESTABILIDAD	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	0				0.00	0.00	0						0.00	0.00	0					0.00	0.00	0.00	0.00													
AB007			GRADO DE COMPACTACIÓN	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	0				0.00	0.00	0						0.00	0.00	0					0.00	0.00	0.00	0.00													
AB008			CALIDAD DEL SUELO	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	5.00	-3.14	0		0.00	0.00												
AB009		PAISAJE	ECOSISTEMA	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	0	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	0.00	0					0.00	0.00	-1	2.50	2.50	5.00	3.38	5.00	-4.11	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0	0.00	0.00					
AB010			ALTERACIÓN PAISAJÍSTICA	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	0	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	0.00	0					0.00	0.00	-1	2.50	2.50	5.00	3.38	5.00	-4.11	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0	0.00	0.00					
B001	BIÓTICO	FAUNA	HABITATS	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	2.50	2.50	5.00	3.38	5.00	-4.11	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0	0.00	0.00					
B002			ESPECIES NATIVAS	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	2.50	2.50	5.00	3.38	5.00	-4.11	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0	0.00	0.00					
AT001	ANTRÓPICO	POBLACIÓN	SALUD PÚBLICA	+1	5.00	7.50	5.00	5.88	7.5	6.64	+1	5.00	5.00	5.00	5.00	7.5	6.12	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	+1	5.00	7.5	5.00	5.88	5.00	5.42	0	0.00	0.00						
AT002			INVOLUCRAMIENTO DE POBLACIÓN BENEFICIADA	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	0						0.00	0.00	0				0.00	0.00	+1	5.00	1.00	1.00	2.20	2.50	2.35									
AT003			SALUD OCUPACIONAL	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	2.50	5.00	3.38	7.5	-5.03	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	
AT004		TERRITORIO	USOS Y COSTUMBRES TERRITORIALES	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	0					0.00	0.00	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	1.00	-1.41	0			0.00	0.00	0	0.00	0.00								
AT005			FLUJO VIAL	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	0						0.00	0.00	0				0.00	0.00	-1	2.50	2.50	1.00	2	2.50	-2.22	0			0.00	0.00				
AT006		ECONOMIA LOCAL	GENERACIÓN DE EMPLEO	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66								
AT007			ACTIVDES ECONÓMICAS	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66								
AT008		SEGURIDAD	ACCIDENTES	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77								

FACTORES AMBIENTALES / SUB ACTIVIDADES DEL PROYECTO				ETAPAS DEL PROYECTO																																									
				CIERRE Y POST CIERRE																																									
				Suministro de material de cobertura para sellado						Compactación final						Instalación de quemadores						Disposición del lixiviado						Higienización						Monitores Ambientales											
CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto	Carácter	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia calculada	Magnitud	Valor del Impacto							
AB001	ABIÓTICO	AIRE	MATERIAL PARTICULADO	-1	5.00	5.00	2.50	4.13	5.00	-4.54	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	2.50	-2.45	0												0.00	0.00	0				0.00	0.00								
AB002			GASES	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	1.00	5.00	1.00	2.40	5.00	-3.46	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00								
AB003			NIVEL DE RUIDO	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	0				0.00	0.00								
AB005		SUELO	PERMEABILIDAD	0				0.00	0.00	0.00	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	0						0.00	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00							
AB006			ESTABILIDAD	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	-5.03	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	0						0.00	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00							
AB007			GRADO DE COMPACTACIÓN	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	-5.03	+1	2.50	5.00	2.50	3.38	7.50	5.03	0						0.00	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00							
AB008			CALIDAD DEL SUELO	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	0							0.00	0.00	-1	1.00	1.00	2.50	1.53	5.00	-2.76	-1	1.00	1.00	2.50	1.53	1.00	-1.23	0		0.00	0.00		
AB009		PAISAJE	ECOSISTEMA	0				0.00	0.00	0.00	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	2.50	-2.22	-1	2.50	2.50	5.00	3.38	2.50	-2.90	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00		
AB010			ALTERACIÓN PAISAJÍSTICA	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	5.00	7.50	5.13	2.50	-3.58	-1	2.50	2.50	1.00	1.98	2.50	-2.22	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00		
B001		BIÓTICO	FAUNA	HABITATS	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0				0.00	0.00
B002	ESPECIES NATIVAS			-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58	0				0.00	0.00	
AT001	ANTRÓPICO	POBLACIÓN	SALUD PÚBLICA	0				0.00	0.00	+1	5.00	7.50	5.00	5.88	7.5	6.64	0						0.00	0.00	+1	5.00	2.50	1.00	2.73	5.00	3.69	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00		
AT002			INVOLUCRAMIENTO DE POBLACIÓN BENEFICIADA	0				0.00	0.00	0					0.00	0.00	0						0.00	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	+1	5.00	1.00	1.00	2.20	2.50	2.35	
AT003			SALUD OCUPACIONAL	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	2.50	-2.90	-1	2.50	5.00	2.50	3.38	5.00	-4.11	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	5.00	-2.76	-1	1.00	2.50	1.00	1.53	2.50	-1.95	-1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	-1.58
AT004		TERRITORIO	USOS Y COSTUMBRES TERRITORIALES	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	0					0.00	0.00	-1	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	-2.50	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00		
AT005			FLUJO VIAL	-1	5.00	5.00	1.00	3.60	2.50	-3.00	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	2.50	-2.67	0					0.00	0.00	0					0.00	0.00	0				0.00	0.00	0				0.00	0.00		
AT006		ECONOMÍA LOCAL	GENERACIÓN DE EMPLEO	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66
AT007			ACTIVDES ECONÓMICAS	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66	+1	7.50	5.00	1.00	4.35	5.00	4.66
AT008		SEGURIDAD	ACCIDENTES	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77	-1	2.50	5.00	1.00	2.85	5.00	-3.77