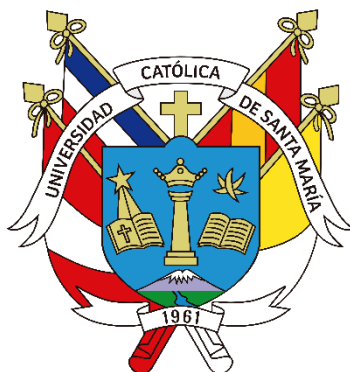


Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Diseño de un relleno sanitario semimecanizado para el control de los gases de efecto invernadero (GEI) y estrategias de compensación ambiental con infraestructura natural en el distrito de Majes, Arequipa - 2024

Tesis presentada por las Bachilleres:

Huacca Andia, Miluska Fabiola

ORCID: 0009-0004-9730-5341

Montes Begazo, Tiffany Maria

ORCID: 0009-0005-1532-992X

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesora:

Dr. Bejarano Meza, Maria Elizabeth

ORCID: 0000-0002-4943-6097

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 20 de Noviembre del 2025

Dictamen: 012292-C-EPIA-2025

Visto el borrador del expediente 012292, presentado por:

2019100682 - MONTES BEGAZO TIFFANY MARIA

2019200072 - HUACCA ANDIA MILUSKA FABIOLA

Titulado:

DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO PARA EL CONTROL DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) Y ESTRATEGIAS DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL CON INFRAESTRUCTURA NATURAL EN EL DISTRITO DE MAJES, AREQUIPA - 2024

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO AMBIENTAL

**29727348 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR**



Diseño de un relleno sanitario semimecanizado para el control de los gases de efecto invernadero (GEI) y estrategias de compensación ambiental con infraestructura natural en el distrito de Majes, Areq

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	CLEAN TECHNOLOGY S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos de Gestión No Municipal - Relleno de Seguridad Majes-IGA0003710", R.D. N° 00161-2019-SENACE-PE/DEIN, 2021 Publicación	1%
4	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

A Dios por su sabiduría, amor y bondad a lo largo de mi vida.

A mis padres, Fausto y Carmen, cuyo amor, respaldo y constancia han sido la base que me permitió alcanzar cada una de mis metas. Gracias por enseñarme el valor de la valentía, la dedicación y la perseverancia, y por recordarme siempre que incluso las acciones más pequeñas pueden transformarse en grandes resultados.

A mis primos Alonso y Lizeth, y a mis tíos Francisco y Benita, por su apoyo constante, por sus palabras de aliento en los momentos de mayor reto y por acompañarme en cada avance. Gracias por ser una presencia firme y generosa que ha impulsado tanto mi crecimiento personal como mi formación profesional.

Huacca Andia Miluska Fabiola

A mis amados padres, Antonio y Erika, pilares esenciales en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso y por enseñarme, con su ejemplo, que la perseverancia es el camino para alcanzar mis metas. Ustedes son mi mayor inspiración y la fuerza que me impulsa a seguir adelante incluso frente a las adversidades.

A mi hermano Gerson y a mi tío José Antonio, por su apoyo constante, su cariño y por acompañarme en cada etapa de este proceso académico. Gracias por creer en mí, por brindarme ánimo en los momentos difíciles y por compartir su sabiduría y consejos que han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional.

Montes Begazo, Tiffany María

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María por su amor y protección en cada etapa de este camino, otorgándonos la fortaleza y la sabiduría necesarias para alcanzar uno de nuestros más grandes sueños.

A nuestra asesora, Dra. Ing. María Elizabeth Bejarano Meza, por su apoyo constante y por brindarnos, con su guía, compromiso y dedicación, valiosos aportes y conocimientos durante la elaboración de esta investigación.

A nuestros dictaminadores, Mgter. Ing. Andrea Chanove Manrique, Mgter. Ing. Berly Cárdenas Pillco, Mgter. Ing. Sonia Lazarte Arredondo y Dr. Armando Arenazas Rodríguez, por sus observaciones, sugerencias y orientaciones que contribuyeron de manera significativa al fortalecimiento académico y técnico de esta investigación.

A nuestra querida amiga Meelyn Vilca Quispe, por su constante compañía, apoyo incondicional y palabras de aliento, que hicieron nuestro camino académico más grato y significativo. Cada gesto, cada conversación y cada momento compartido han dejado una huella imborrable en nuestras vidas, recordándonos la importancia de la amistad y la solidaridad en cada etapa de este proceso.

Huacca Andia, Miluska Fabiola

Montes Begazo, Tiffany María

RESUMEN

El presente proyecto surge a partir de la problemática de la inadecuada disposición final de residuos sólidos en el distrito de Majes, esta situación genera impactos ambientales negativos, entre ellos la emisión de gases de efecto invernadero y la degradación del entorno. El objetivo de este proyecto es diseñar un relleno sanitario semimecanizado para el control de los gases de efecto invernadero (GEI) y estrategias de compensación ambiental con infraestructura natural en el distrito de Majes. La metodología utilizada en el diseño de dicha infraestructura se basa en dos guías: Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales y la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado.

A partir de la evaluación realizada, se seleccionó la Alternativa 1, el diseño contempla un área aproximada de 22 ha, que albergará dos trincheras y dos plataformas destinadas a la disposición de los residuos sólidos generados durante los 10 años de su vida útil. Asimismo, se han proyectado celdas diarias con dimensiones de 15 m de largo, 3.88 m de ancho y 2.5 m de profundidad, además de áreas administrativas conformadas por garita de seguridad, dormitorios, almacén, servicios higiénicos y zona de pesaje.

Finalmente, como medida estratégica de compensación ambiental mediante infraestructura natural, se propone la implementación de un cerco vivo conformado por *Acacia macracantha* y *Schinus molle*, especies seleccionadas por su alta adaptabilidad a condiciones áridas, tolerancia a suelos con bajo contenido de materia orgánica y notable eficiencia en la captura de CO₂. En total, se proyecta la plantación de 551 individuos de *Schinus molle*, que en conjunto capturarán un promedio de 147,12 Tn de CO₂ a lo largo de su ciclo de vida, y 535 individuos de *Acacia macracantha*, que alcanzarían aproximadamente 4,376.3 toneladas de CO₂ a lo largo de su ciclo de vida. La incorporación de esta infraestructura natural refuerza la sostenibilidad del proyecto y constituye un aporte significativo a la mitigación de los gases de efecto invernadero generados durante la operación del relleno sanitario semimecanizado.

Palabras clave: Relleno semimecanizado, áreas degradadas, compensación ambiental.

ABSTRACT

This project arises from the problem of inadequate final disposal of solid waste in the Majes district. This situation generates negative environmental impacts, including greenhouse gas emissions and environmental degradation. The objective of this project is to design a semi-mechanized sanitary landfill to control greenhouse gas (GHG) emissions and implement environmental compensation strategies with natural infrastructure in the Majes district. The methodology used in the design of this infrastructure is based on two guidelines: the Guide for the Design and Construction of Infrastructure for the Final Disposal of Municipal Solid Waste and the Guide for the Design, Construction, Operation, Maintenance, and Closure of a Mechanized Sanitary Landfill.

Based on the evaluation, Alternative 1 was selected. The design includes an area of approximately 22 hectares, which will house two trenches and two platforms for the disposal of solid waste generated during its 10-year useful life. Likewise, day cells measuring 15 m long, 3.88 m wide, and 2.5 m deep have been planned, in addition to administrative areas consisting of a security checkpoint, dormitories, a warehouse, restrooms, and a weighing area.

Finally, as a strategic environmental compensation measure using natural infrastructure, the implementation of a living fence composed of *Acacia macracantha* and *Schinus molle* is proposed. These species were selected for their high adaptability to arid conditions, tolerance to soils with low organic matter content, and remarkable efficiency in CO₂ capture. A total of 551 *Schinus molle* trees are projected to be planted, which together will capture an average of 147,12 tons of CO₂ throughout their life cycle, along with 535 *Acacia macracantha* trees, which would capture approximately 4,376.3 tons of CO₂ throughout their life cycle. The incorporation of this natural infrastructure reinforces the project's sustainability and constitutes a significant contribution to mitigating the greenhouse gases generated during the operation of the semi-mechanized landfill.

Keywords: semi-mechanized landfill, degraded areas, environmental compensation.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Problemática de la Investigación.....	3
1.2. Justificación de la Investigación.....	4
1.3. Objetivos de la Investigación	5
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Marco teórico.....	16
2.3. Marco legal.....	27
CAPITULO III: METODOLOGÍA	31
3.1. Tipo y Nivel de investigación.....	32
3.2. Diseño de la investigación.....	32
3.3. Ubicación espacial – temporal.....	32
3.4. Población	32
3.5. Muestra	32
3.6. Instrumentos	33
3.7. Técnicas.....	34
3.8. Métodos de investigación.....	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1. Ubicación del área de estudio.....	52
4.2. Diagnóstico del estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales.....	58
4.3. Selección del área óptima para la ubicación de la IRS.....	69
4.4. Diseño de la infraestructura del relleno sanitario	92
4.5. Estrategias de compensación ambiental de infraestructura natural	102
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
5.1. Conclusiones.....	113
5.2. Recomendaciones.....	114

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS115



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relleno sanitario manual	19
Figura 2: Relleno sanitario semimecanizado	19
Figura 3: Relleno sanitario mecanizado	20
Figura 4: Método de trinchera.....	21
Figura 5: Método de área	21
Figura 6: Método mixto o combinado.....	22
Figura 7: Almacenamiento de carbono.....	24
Figura 8: DEM que se encuentran dentro del área de estudio.....	36
Figura 9: DEM recortado del área de estudio.....	36
Figura 10: Ráster de pendiente del área de estudio.....	37
Figura 11: Ráster reclasificado de la pendiente.	37
Figura 12: Áreas óptimas y no aptas para la construcción de un relleno sanitario según cercanía a cuerpos de agua.	38
Figura 13: Áreas óptimas y no aptas para la construcción de un relleno sanitario según cercanía a centros poblados.....	39
Figura 14: Áreas óptimas y no aptas para la construcción de un relleno sanitario según presencia de fallas geológicas.	40
Figura 15: Áreas óptimas para la posible ubicación del relleno sanitario.....	40
Figura 16: Áreas óptimas para la construcción de un relleno sanitario.	41
Figura 17: Ubicación del distrito de Majes	52
Figura 18: Ubicación del botadero municipal en el distrito de Majes	53
Figura 19: Zonificación del muestreo domiciliario.....	61
Figura 20: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos municipales (Estrato A) del distrito de Majes.....	62
Figura 21: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos municipales (Estrato B) del distrito de Majes.....	63
Figura 22: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos municipales (Estrato C) del distrito de Majes.....	64
Figura 23: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos no municipales del distrito de Majes	66
Figura 24: Gráfico de la densidad poblacional del distrito (2022-2024).....	68
Figura 25: Gráfico de la generación municipal por Tn/año (2022-2024)	69

Figura 26: Mapa temático de pendientes.....	70
Figura 27: Mapa temático de hidrología.	71
Figura 28: Mapa temático de cercanía a centros poblados.....	72
Figura 29: Mapa temático de fallas geológicas con las respectivas distancias.	73
Figura 30: Mapa temático de los 4 criterios tomados para la preselección de las áreas óptimas	74
Figura 31: Ubicación de las 3 posibles áreas para la construcción del relleno sanitario en el distrito de majes.	76
Figura 32: Ubicación de la primera zona preseleccionada.....	77
Figura 33: Ubicación de la segunda zona preseleccionada	78
Figura 34: Ubicación de la tercera zona preseleccionada.	79
Figura 35: Fallas geológicas en el departamento de Arequipa.....	81
Figura 36: Variación mensual de Temperatura - 2024.....	82
Figura 37: Variación mensual de la humedad relativa - 2024	83
Figura 38: Rosa de vientos Estación Pampa de Majes del año 2024.	84
Figura 39: Ubicación de la zona seleccionada	91
Figura 40: Diseño del relleno sanitario	101
Figura 41: Características morfológicas del huarango espinoso (<i>Acacia</i> <i>Macracantha</i>)	103
Figura 42: Morfología de <i>Schinus Molle</i>	103
Figura 43: Modelo de distribución de plantación de <i>Acacia macracantha</i> y <i>Schinus Molle</i>	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de tamaño de muestra.....	33
Tabla 2. Criterios de Calificación para la selección de área.....	41
Tabla 3. Asignación de puntaje por peso ponderado para cada criterio de selección	43
Tabla 4. Rangos de Calificación para la selección de área.....	44
Tabla 5: Cálculo para la dimensión y volumen de la trinchera	47
Tabla 6: Población urbana y rural.....	54
Tabla 7: Población según ciclo de vida	54
Tabla 8. Generación total y generación per cápita del distrito de Majes.....	58
Tabla 9. Composición física de residuos sólidos del Estrato A.....	61
Tabla 10. Composición física de residuos sólidos del Estrato B.....	62
Tabla 11. Composición física de residuos sólidos del Estrato C.....	63
Tabla 12. Composición física de los residuos no domiciliarios	65
Tabla 13: Densidad poblacional del distrito de Majes (2022 – 2024).....	67
Tabla 14: Generación de residuos sólidos (2022 – 2024)	68
Tabla 15: Variación Mensual de Temperatura (°C) Estación – Pampa de Majes	82
Tabla 16: Variación Mensual de Humedad relativa (%) Estación – Pampa de Majes...	83
Tabla 17. Asignación de puntaje para cada criterio de selección.....	87
Tabla 18. Asignación de puntaje por peso ponderado para cada criterio de selección ..	89
Tabla 19. Orden de mérito de las áreas propuestas	91
Tabla 20. Cálculo de la población base mediante la tasa de crecimiento anual intercensal del Distrito de Majes	92
Tabla 21. Generación de residuos para un periodo de vida útil de 10 años.	93
Tabla 22. Generación de Residuos para un periodo de vida útil de 10 años	94
Tabla 23. Volumen anual de residuos sólidos a disponer para un periodo de vida útil de 10 años del relleno sanitario semimecanizado.....	95
Tabla 24. Volumen de material de cobertura para un periodo de vida útil de 10 años del relleno sanitario semimecanizado.....	95
Tabla 25. Volumen total del relleno sanitario semimecanizado para un periodo de vida útil de 10 años.....	96
Tabla 26. Área parcial del relleno sanitario semimecanizado para un periodo de vida útil de 10 años.....	97

Tabla 27. Área total del relleno sanitario semimecanizado para un periodo de vida útil de 10 años.....	98
Tabla 28. Dimensionamiento de las trincheras.....	99
Tabla 29. Dimensionamiento de las plataformas	99
Tabla 30. Dimensionamiento de las celdas	99



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Solicitud de información necesaria para el desarrollo de proyecto de investigación.....	135
Anexo 2. Análisis de caracterización y fertilidad del suelo.....	137
Anexo 3. Plano en 2D de la infraestructura del relleno sanitario semimecanizado.....	144
Anexo 4. Vista en 3D del relleno sanitario	146
Anexo 5. Evidencias fotográficas de la toma de muestras de suelo.....	150



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la gestión de residuos parece ser una tarea desafiante con consecuencias significativas para la salud, la conservación de los recursos naturales, la estabilidad y la riqueza sostenible de una nación. En el Perú, en el 2024 se produjeron anualmente un promedio de 8,994,762 toneladas de residuos sólidos, lo que equivale a un promedio de 24,643 toneladas diarias. Los residuos valorizados en ese periodo representan el 2,8 % de ese total (MINAM, 2024). Este panorama evidencia la importancia de contar con una gestión eficiente en la disposición final de los residuos, ya que el consumismo contemporáneo ha generado un incremento continuo en el volumen de desechos sólidos, impactando negativamente sobre el aire, el suelo y los cuerpos de agua, además de potenciar la generación de GEI como el metano (CH₄), uno de los principales contribuyentes al calentamiento global.

En este contexto, el relleno sanitario es el método de tratamiento o disposición de RSU más popular en la mayoría de los países, debido a su relativa asequibilidad y bajos requisitos técnicos. En el Perú, de los 1851 distritos existentes, solo 12 cuentan con rellenos sanitarios, y únicamente dos de ellos son considerados como rellenos de seguridad. (INEI, 2018)

Las especies forestales desempeñan un rol esencial en la mitigación del cambio climático debido a su capacidad natural para captar y almacenar dióxido de carbono (CO₂) a través del proceso de fotosíntesis.

En ecosistemas como los bosques secos tropicales, los árboles constituyen importantes reservorios de carbono, gracias a su biomasa, tanto aérea como en raíces y suelo (Luna, A. et al., 2021). Esto resalta la importancia de promover la implementación, restauración y manejo sostenible de especies forestales, como parte de un enfoque integral para reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero y fortalecer la resiliencia frente al cambio climático.

En la actualidad, el Distrito de Majes no cuenta con un relleno sanitario para el tratamiento y disposición final de sus residuos, por lo que el presente proyecto tiene como objetivo general diseñar un relleno sanitario para el distrito de Majes.



1.1. Problemática de la Investigación

A nivel global, la generación de residuos sólidos urbanos alcanzó los 2.300 millones de toneladas en 2023, y se proyecta que aumentará a 3.800 millones para 2050, impulsada principalmente por el crecimiento poblacional, la urbanización acelerada y los patrones de consumo insostenibles. Aproximadamente entre el 38 % y el 45 % de estos residuos no recibe una disposición final adecuada, siendo depositados en vertederos informales o incinerados sin control, lo que genera impactos significativos en el suelo, el agua y el aire (United Nations Environment Programme [UNEP] & International Solid Waste Association [ISWA], 2024). Estas prácticas contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que el sector de residuos es responsable de alrededor del 20 % de las emisiones antropogénicas de metano, un componente clave del cambio climático (Zebeida & Arangao, 2025) (UNEP, 2023). Además, el manejo ineficiente de los residuos podría elevar los costos globales incluyendo impactos ambientales y sanitarios de 252.000 millones de dólares en 2020 a 640.300 millones anuales para 2050, si no se adoptan enfoques de economía circular y gestión sostenible (UNEP & ISWA, 2024).

A nivel Nacional, la población crece día a día en las ciudades, el 75% vive en zonas urbanas, y esto significa más generación de residuos sólidos y el 50% de estos desechos no se disponen adecuadamente en un lugar establecido. En el país hay más de 1,500 botaderos de basura, los cuales representan focos infecciosos para la población. Además, este problema contribuye a la aparición y multiplicación de diversas plagas, genera una significativa contaminación ambiental y expone a riesgos considerables a los recicladores que laboran en dichos espacios con el fin de recuperar materiales que puedan tener algún valor. Del mismo modo, la Contraloría informó al Ministerio del Ambiente que la mayoría de las municipalidades continúan depositando los residuos sólidos en zonas no autorizadas; únicamente 118 gobiernos locales realizan la disposición final en rellenos sanitarios establecidos (Universidad Continental, 2019).

En el distrito de Majes se ha evidenciado un incremento progresivo en la generación de residuos sólidos municipales, alcanzando actualmente un promedio aproximado de 50 Tn diarias (Municipalidad Distrital de Majes, 2025). Esta problemática se intensifica debido a la ausencia de una gestión integral eficiente, la cual se relaciona principalmente con las limitaciones en la educación y la cultura ambiental de la población. A ello se suma que el distrito carece de una infraestructura técnica adecuada para realizar

la disposición final de los residuos; por esta razón, estos continúan acumulándose en el botadero municipal situado en la zona norte de la ciudad de El Pedregal. De acuerdo con el inventario nacional más reciente sobre áreas degradadas por residuos sólidos, elaborado por el MINAM y el OEFA, se identificó que en el distrito de Majes dicho botadero presenta un área degradada de 10 948.79 m² y está en una categorización de recuperación del área degradada por residuos sólidos. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA, 2022)

1.2. Justificación de la Investigación

1.2.1. Justificación Ambiental

La investigación propuesta aportará al fortalecimiento de las prácticas de manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos de origen municipal. Igualmente, permitirá contribuir a la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI) producidos por dichos desechos, a través del planteamiento de una infraestructura adecuada para la implementación de un relleno sanitario semimecanizado. Con ello, se espera favorecer la mejora de la calidad del aire, así como la preservación del agua y del suelo.

1.2.2. Justificación Social

La implementación de un relleno sanitario semimecanizado asegura que la mayor parte de los residuos sólidos municipales generados cuenten con un área adecuada para su disposición final, lo que contribuye significativamente a la protección de la salud y al mejoramiento de la calidad de vida de la población del distrito. Esto se debe a que se evita la aparición de enfermedades infecciosas y se reduce la proliferación de vectores, problemas comúnmente asociados a los botaderos a cielo abierto.

1.2.3. Justificación Económica

En el ámbito económico, este enfoque se sustenta en la comercialización de los residuos que pueden ser reaprovechados, lo cual permite generar ingresos adicionales. Esta actividad, además, ofrece oportunidades laborales para poblaciones en situación de pobreza y disminuye la cantidad de desechos que deben ser dispuestos finalmente en el relleno sanitario, reduciendo así los costos vinculados a la adquisición de terrenos, así como a la construcción y operación de la infraestructura. Del mismo modo, contribuye a evitar gastos asociados a enfermedades ocasionadas por una inadecuada disposición final de residuos en botaderos informales y ayuda a prevenir sanciones derivadas de la informalidad y la contaminación generada por estos espacios.

1.2.4. Justificación Institucional

La presente investigación es de especial relevancia para la Municipalidad Distrital de Majes, ya que permitirá desarrollar una propuesta técnica para la implementación de un relleno sanitario semimecanizado, adaptado a las condiciones geográficas, sociales y operativas del distrito. Esto permitirá un avance sustancial en la gestión de los residuos sólidos, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente y reduciendo al mínimo los impactos ambientales negativos vinculados a su disposición final. Del mismo modo, los resultados de la investigación reforzarán la capacidad de gestión de la municipalidad, ya que proporcionarán el sustento técnico necesario para solicitar la autorización sanitaria correspondiente ante la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un relleno sanitario semimecanizado para el control de los gases de efecto invernadero (GEI) y estrategias de compensación ambiental con infraestructura natural en el distrito de Majes, Arequipa - 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Realizar el diagnóstico del proceso de manejo de los residuos sólidos municipales desde su generación hasta su disposición final.
- b. Evaluar el área óptima para la ubicación del relleno sanitario semimecanizado.
- c. Determinar los aspectos técnicos - administrativos para el diseño y el control del relleno sanitario semimecanizado.
- d. Proponer estrategias de compensación ambiental de infraestructura natural para la reducción de gases de efecto invernadero.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

El artículo titulado “Geotechnological Multicriteria Analysis Applied to Identify Optimal Locations for the Installation of Sanitary Landfills” realizado por da Luz et al. (2025) evalúa la ubicación actual de un vertedero sanitario frente a alternativas óptimas mediante un enfoque que combina criterios ambientales, técnicos y logísticos aplicando lógica difusa. El estudio considera variables como pendiente del terreno, distancia a cuerpos de agua, uso del suelo, geología, pedología y proximidad a vías y zonas urbanas, asignando ponderaciones difusas para generar mapas de idoneidad espacial. Con base en estos mapas, comparan el sitio existente del vertedero con áreas potencialmente más aptas, concluyendo que la ubicación actual no cumple con los estándares deseables por su cercanía a zonas sensibles e infraestructuras. Proponen así sitios candidatos con alta idoneidad, buena accesibilidad y separación adecuada de zonas críticas. Los autores destacan que integrar criterios geotécnicos al análisis multicriterio mejora la precisión en la selección de sitios frente a métodos convencionales. Sin embargo, reconocen limitaciones como la dependencia de la calidad de los datos, la falta de validación en campo y la escasa incorporación de factores sociales y económicos. Finalmente, recomiendan incluir análisis de sensibilidad, escalas temporales más detalladas y variables socioeconómicas para fortalecer la aplicabilidad práctica del modelo.

El artículo titulado “Metagenomic analysis reveals altered microbial diversity and function along depth and age gradients in a sanitary landfill” realizado por Liu et al. (2025) analiza la dinámica microbiana y funcional en diferentes profundidades y edades de un relleno sanitario en Beijing, mediante técnicas de secuenciación metagenómica y análisis de genes funcionales. Los autores identifican que, a diferencia de los suelos naturales, la diversidad microbiana y funcional aumenta con la profundidad y antigüedad de los residuos. Se observaron variaciones notables en la composición filogenética entre capas, atribuibles a la heterogeneidad del vertedero, mientras que la estructura funcional mostró mayor consistencia a lo largo del gradiente. Los genes asociados a degradación orgánica, resistencia a metales y respuesta al estrés fueron más abundantes en capas profundas y antiguas, reflejando adaptación a condiciones extremas. Estos patrones sugieren que el estrés ambiental estimula la diversificación funcional microbiana. Los resultados aportan evidencia

sobre la resiliencia biológica de los rellenos sanitarios y su potencial como sistemas modelo para comprender procesos biogeoquímicos en entornos anóxicos y degradativos. Finalmente, se recomienda considerar estos hallazgos en estrategias de biorremediación y estabilización in situ de residuos sólidos urbanos.

El artículo titulado "Methane emissions from Icelandic landfills" realizado por Scheutz et al. (2022) con el propósito de cuantificar las emisiones de CH₄ de cinco vertederos situados en la parte occidental de Islandia utilizando el método de desintegración de primer orden (FOD), que tiene en cuenta los factores temporales del proceso de degradación y produce estimaciones anuales de emisiones de CH₄ que reflejan este proceso, consiste en la dispersión del gas trazador, que es un método de teledetección terrestre basado en el supuesto de que un gas trazador liberado en una fuente de emisión, como un vertedero, se dispersará en la atmósfera de la misma manera que el gas que necesita ser medido. Se realizó las mediciones de los cinco vertederos de todos los residuos eliminados en Islandia durante el período de 2007 a 2016, las emisiones medidas se extrapolarían a 817 kg CH₄, que está relativamente cerca de las emisiones reportadas a nivel nacional. Este estudio demostró que la aplicación del modelo FOD del IPCC a nivel nacional es apropiada para estimar las emisiones de CH₄ de los vertederos en Islandia.

Según Yaucani & Ziyang (2017) en su artículo titulado "General Structure of the Landfill" menciona que el relleno sanitario es un medio de eliminación final respetuoso con el medio ambiente para los residuos sólidos urbanos ya que en su estructura general incluye sistemas de revestimiento para el fondo y talud, sistema de recolección y drenaje de gas, cubierta diaria y de cierre final, tratamiento de lixiviados. En todo el mundo, se presenta el vertedero de residuos de Shanghai, que se construye como proyectos de las Fases I, II, III, IV y V. En el cual se presentan vertederos de basuras y se realiza incineración. En este vertedero se depositan por separado las cenizas volantes y de fondo, los residuos de construcción y demolición y los residuos industriales y peligrosos. Mientras tanto, en este sitio también se construye la mayor planta de incineración de residuos con horno de parrilla, con 3000 t/d para la Fase I, junto con 6000 t/d para la Fase II, que también es la planta de incineración a mayor escala del mundo.

Según Zhao (2017) en su artículo "Pollution Control and Sludge Recycling in Sanitary Landfill" nos habla que los vertederos son un método importante para el

tratamiento de lodos de depuradora en todo el mundo, debido a su bajo costo y facilidad de operación. El estudio presenta esquemas de diseño y construcción de rellenos sanitarios específicos para lodos, destacando los procesos de degradación bioquímica que estos experimentan una vez depositados. Asimismo, se describen las propiedades fisicoquímicas de los lodos durante su permanencia en el vertedero, así como las características del proceso de estabilización, el cual se evalúa en función de la distribución granulométrica y el contenido de sustancias húmicas presentes. El artículo también propone la combinación de técnicas como la combustión y la pirólisis para optimizar la estabilización de los lodos en vertedero. Para mitigar los problemas asociados a la generación de olores, se utilizaron productos químicos como el hidróxido férrico y el hierro de valencia cero (ZVI), los cuales demostraron alta eficiencia en la reducción de emisiones de sulfuro de hidrógeno (H_2S), alcanzando disminuciones de entre el 81 % y el 99 %, dependiendo de los tipos y concentraciones de los agentes aplicados. Además, se resalta el potencial de los lodos envejecidos provenientes de estos vertederos, los cuales, debido a su diversidad y abundancia de microorganismos, pueden ser utilizados en biorreactores como inóculo biológico.

El artículo titulado "Greenhouse gas emission analysis of upgrading from an open dump to a semi-aerobic landfill in Mozambique" realizado por Sarmiento & Tokai (2020) con el propósito de proporcionar datos y análisis relevantes para las autoridades que trabajan en alternativas sostenibles de eliminación de residuos sólidos. En el estudio se realiza una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero utilizando el método IPCC Waste Model aplicado al botadero de Hulene, el cual opera a cielo abierto y recibe principalmente los residuos sólidos generados por los habitantes y empresas de la ciudad de Maputo. Asimismo, se lleva a cabo la caracterización de los residuos domiciliarios según el nivel socioeconómico. Se propone que, para el año 2020, el botadero de sistema aeróbico sea transformado en uno semiaeróbico mediante la aplicación del método Fukuoka, con el propósito de disminuir la generación de gases de efecto invernadero. Por ello, se destaca la importancia de contar con información y análisis precisos sobre las concentraciones de estos gases.

El artículo titulado "The naturalistic recovery of a old landfill: the case of Vizzolo Predabissi, Milan, Italy" realizado por Colombo (2019) en el vertedero de Vizzolo Predabissi (Milán, Italia) se fijó la rehabilitación ambiental del lugar. El

objetivo principal del trabajo consistió en recrear un entorno natural mediante una evaluación detallada del diseño de las nuevas plantaciones, considerando criterios ecológicos y estéticos. Para ello, se ejecutaron plantaciones con distribución irregular, sin responder a patrones geométricos, a fin de replicar la configuración natural de las “parcelas de campo”, entendidas como asociaciones espontáneas de especies arbóreas y arbustivas. Los resultados evidenciaron la efectividad del enfoque adoptado, dado que el área rehabilitada fue rápidamente colonizada por fauna silvestre, principalmente conejos, liebres y zorros, lo cual demuestra el éxito del proyecto en la restauración de la funcionalidad ecológica y la recuperación del valor naturalista del sitio.

En el artículo “Assessment of environmental risks and factors influencing heavy metal concentrations in the soil of municipal solid waste landfills” realizado por Wang et al. (2022), menciona que se realizó una evaluación del riesgo ambiental y de los factores que influyen en la contaminación del suelo por metales pesados en los rellenos sanitarios municipales. El estudio analizó dos tipos de vertederos de residuos municipales diferenciados como relleno sanitario y el relleno no sanitario (botadero). Los resultados evidenciaron que la contaminación dominante es causada por cromo (Cr) y zinc (Zn) y que existen diferencias significativas en las concentraciones de Cr, Pb, As y Zn entre las muestras de suelo provenientes de ambos tipos de vertederos. El análisis permitió determinar que el tipo de vertedero es uno de los elementos que más influye en la concentración de diversos metales pesados presentes en el suelo. Aunque estos sitios contribuyen a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, la investigación enfatiza que la presencia de metales pesados en los suelos de los vertederos constituye un problema que no debe pasarse por alto, debido a los riesgos que representa tanto para el ambiente como para la salud de la población.

El artículo titulado "Landfill leachate: Sources, nature, organic composition, and treatment: An environmental overview" realizado por Abdel-Shafy, Ibrahim, Ahmed M, & Raouf, (2024) con el propósito de realizar un tratamiento de los lixiviados. Entre los tratamientos que tenemos están: el reactor discontinuo de secuenciación (SBR) que es eficaz para el tratamiento de lixiviados de vertederos con una alta variabilidad de calidad y cantidad; el reciclaje de lixiviados que aumenta el contenido de humedad dentro de un sistema de reactor; las lagunas aireadas ya que es

un método rentable, en términos de operación y mantenimiento; y la coagulación y floculación química para el tratamiento de lixiviados de vertederos viejos y estabilizados.

El artículo titulado "Concentration of heavy metals in leachate, soil, and plants in Tehran's landfill" realizado por Hossein et al (2023) con el propósito de evaluar el impacto de los lixiviados de vertedero sobre la concentración de metales pesados en el medio ambiente circundante. Para ello se realizaron muestreos de lixiviados, en el suelo y plantas en tres estaciones. La primera estación en el nuevo vertedero estaba en el punto de retorno de lixiviados, la segunda estación estaba aguas abajo del antiguo vertedero y la tercera estación estaba aguas abajo del nuevo vertedero. La concentración de metales pesados en los lixiviados del antiguo vertedero fue de 22,1 mg/L, mientras que la concentración de metales pesados en los lixiviados del nuevo vertedero fue de 25,1 mg/L. Además, en el nuevo vertedero el hierro fue el más metálico y en el antiguo vertedero el manganeso fue el más metálico. La concentración de metales totales en el suelo del antiguo vertedero fue de 39 mg/kg, mientras que la concentración de metales totales en el suelo del nuevo vertedero fue de 51 mg/kg. Entre los metales acumulados en las plantas estudiadas, el hierro y el manganeso tuvieron las concentraciones más altas y el plomo y el cadmio las concentraciones más bajas, la antigüedad del vertedero también influyó en la concentración y proporción de metales en el lixiviado. Las plantas presentes en esa área de estudio se pueden utilizar en fitorremediación como técnica de reducción de la contaminación.

El artículo titulado "Geoenviromental assessment of climate impacts from landfill gas emissions" realizado por Hanson et al. (2023), determinó las emisiones de 80 gases de vertedero en 3 tipos de cobertura (diaria, intermedia y final) durante 2 estaciones principales (húmeda y seca). El flujo y las emisiones disminuyeron a medida que los suelos de cobertura variaron de materiales más gruesos a más finos. Como resultado las coberturas intermedias generaron más emisiones que las coberturas diarias o finales, principalmente porque suelen tener mayor superficie expuesta. Además, se ha comprobado que el uso de suelos más finos, con mayor contenido de arcilla y mayor compactación, ayuda a reducir tanto el flujo como las emisiones de gases. El artículo recomienda utilizar estos parámetros para mejorar el diseño, construcción y operación de las coberturas de vertederos, con el fin de reducir

las emisiones de gases contaminantes. Asimismo, se sugiere realizar análisis periódicos de las emisiones a lo largo del tiempo, para entender mejor cómo varían en función de los materiales de cobertura y de la descomposición de los residuos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El artículo titulado "The Andes through time: evolution and distribution of Andean floras" realizado por Pérez et al (2022) donde los Andes es una de las cadenas montañosas con mayor biodiversidad del mundo y abarcan una compleja variedad de ecosistemas, desde selvas tropicales hasta hábitats alpinos. Los Andes se cree que contienen 10% de la diversidad de plantas vasculares del mundo es decir 30.000 especies en sólo el 0,6% de su superficie terrestre, con sólo el 25% de la vegetación original restante, los Andes son el punto de conservación de la biodiversidad vegetal más rico en especies del mundo. Para obtener información sobre la diversidad y la distribución de las flores andinas, se utilizan las bases de datos de distribución global, las bases de datos de distribución global de GBIF y experiencia taxonómica. En el artículo se identifican 28 691 especies tentativas de plantas vasculares andinas que actualmente se encuentran en la cordillera de los Andes en un rango de altitud entre 100 y 6086 m., pero no es un número seguro. Entre la flora andina se encontró 10 familias de plantas (Orchidaceae, Asteraceae, Leguminosae, Rubiaceae, Melastomataceae, Bromeliaceae, Piperaceae, Solanaceae, Araceae y Poaceae) y estas constituyen aproximadamente la mitad de todas las especies de plantas andinas, mientras que 226 familias de plantas representan la diversidad vegetal andina restante.

El artículo titulado "Influence of arboreal components on the physical-chemical characteristics of the soil under four silvopastoral systems in northeastern Peru" realizado por Vásquez et al (2021) con el propósito de evaluar las características físico-químicas del suelo bajo cuatro sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), pino (*Pinus patula*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y pona (*Ceroxylon quindiuense*) y un sistema sin árboles en la región de Amazonas, específicamente en la cuenca de Molinopampa, se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos ya mencionados anteriormente y tres repeticiones. En este estudio se evaluaron parámetros como el potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible y potasio; y en las características físicas del suelo se evaluó la resistencia mecánica, densidad a granel, humedad, porosidad, carbono por profundidad y carbono total. En los resultados se obtuvo que el sistema

silvopastoril con pino tuvo un mayor contenido de materia orgánica, y el sistema silvopastoril con ciprés tuvo altos contenidos de fósforo y potasio. La distribución de árboles y las especies forestales establecidas tuvieron efecto sobre el pH, con niveles más bajos en sistemas silvopastoriles con pona y pino. La resistencia mecánica en los sistemas silvopastoriles está directamente relacionada con la profundidad. El mayor secuestro total de carbono se presentó en el sistema silvopastoril con pino; para todos los sistemas evaluados el mayor contenido de materia orgánica se encontró en los primeros 15 cm; con ello el uso de sistemas silvopastoriles en la producción ganadera es una de las alternativas más eficaces para la recuperación de suelos, ya que influye positivamente en la calidad físico-química de los suelos.

El artículo titulado "Endemism of woody flora and tetrapod fauna, and conservation status of the inter-Andean Seasonally Dry Tropical Forests of the Marañón valley" realizado por Guzmán et al (2021) con el propósito de proporcionar información sobre el endemismo de la flora leñosa y la fauna de tetrápodos y su distribución, amenazas y estado de conservación de estos bosques. Se realizó una búsqueda en diversas bases de datos y mediante comunicaciones personales, obteniendo un total de 165 documentos, sin embargo, al revisarlos y filtrarlos fueron seleccionados un total de 99 valiosos documentos distribuidos en 65 artículos científicos, 17 libros, cinco tesis entre pregrado y posgrado, 12 documentos técnicos, además se consideraron seis Inventarios Biológicos Rápidos (IBR) de ANP en la zona. Al revisar los 99 documentos mencionados anteriormente, el valle del Marañón alberga 441 especies de flora leñosa, de las cuales 143 son endémicas del valle del Marañón y diez están amenazadas. En cuanto a la fauna de tetrápodos, de las 315 especies, 50 son endémicas de esta zona, y 19 están amenazadas.

El artículo titulado "Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective" realizado por Ziegler (2019) con el propósito de analizar el desempeño ambiental del ciclo de vida de la disposición de residuos en tres vertederos ubicados en tres zonas distintas de la geografía peruana: i) la costa hiperárida; ii) la sierra andina; y, iii) la Selva Amazónica. Se realiza un análisis comparativo del proceso de tratamiento de residuos en comparación con otras tecnologías de vertederos y contenedores de basura abiertos. Los contenedores de basura abiertos a vertederos sanitarios generan una gran cantidad de beneficios ambientales y de salud pública en varias categorías de impacto,

incluso en aquellas instalaciones que carecen de tratamiento de biogás. Sin embargo, el tratamiento del biogás aparece como un aspecto crítico a tener en cuenta para mitigar las emisiones de GEI. De hecho, la modernización y la implementación de instalaciones de relleno sanitario con estas tecnologías ayudará en las reducciones en las emisiones de GEI debido a que alcanzaron entre el 50% y el 76% en comparación con un escenario sin tratamiento con la única inclusión de la quema de biogás.

La investigación desarrollada por Gómez (2024) tuvo como finalidad plantear el diseño de un relleno sanitario para el distrito de Sicaya, ubicado en la provincia de Huancayo, región Junín. Para ello, se efectuaron estudios orientados a determinar el área más adecuada para la construcción de la infraestructura requerida. La metodología aplicada siguió las directrices establecidas en la guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios manuales. A partir de la evaluación realizada, se seleccionó la Alternativa 01, que comprende un área total de 226 hectáreas. El lugar propuesto cumple con los criterios técnicos necesarios, entre ellos la distancia respecto a las viviendas y a los cuerpos de agua, siendo el más importante el río Mantaro, ubicado a más de 1 km. El diseño de la infraestructura contempla un espacio operativo de 0.61 hectáreas destinado al relleno sanitario manual, el cual incluirá diez zanjas para la disposición de los residuos proyectados para los próximos diez años. Asimismo, el proyecto incorpora una planta de valorización destinada al compostaje y diversas áreas administrativas y de apoyo, tales como garita de seguridad, ambientes para el personal nocturno, almacén, comedor, servicios higiénicos, zona de pesaje, área de compostaje y espacio para la segregación de residuos.

La investigación desarrollada por Riva y Tacuchi (2022) tuvo como finalidad plantear el diseño de un relleno sanitario destinado a la disposición final de los residuos sólidos urbanos generados en los distritos de San Nicolás y Mariscal Benavides. Para ello, primero se realizó la selección del área adecuada aplicando criterios de restricción y un análisis multicriterio. Posteriormente, se elaboró el diseño de un relleno sanitario de operación manual utilizando el método de trinchera o zanja, proyectado para una vida útil de diez años. El diseño incluyó dos trincheras con forma de prisma trapezoidal, cada una con una capacidad de almacenamiento de 21 191 m³. Además, el proyecto consideró la implementación de un área administrativa, una caseta o garita de control, una vía de acceso interno, dos pozas de lixiviados con

configuración trapezoidal, un sistema de drenes para la recolección de lixiviados y una barrera sanitaria destinada a minimizar los impactos negativos y salvaguardar a la población frente a eventuales riesgos.

La investigación desarrollada por Ricaldi et al. (2021) tuvo como propósito diseñar un relleno sanitario para el distrito de El Tambo, en Huancayo. Para ello, se llevaron a cabo estudios preliminares orientados a identificar el área adecuada para la construcción del relleno sanitario. La metodología aplicada siguió los lineamientos establecidos en la guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios mecanizados. De acuerdo con el estudio de caracterización realizado en el distrito, la generación per cápita domiciliaria de residuos sólidos en 2019 fue de 0.86 kg por habitante por día, proyectándose un incremento a 0.959 kg/hab/día para el año 2030. En cuanto a su composición física, se determinó que el 82.89 % de los residuos municipales es aprovechable, mientras que el 17.11 % restante no puede ser valorizado. Para la ubicación del relleno sanitario se evaluaron tres alternativas dentro del distrito. Entre ellas, la Alternativa 1 obtuvo el puntaje más alto, dado que cumple con los criterios técnicos y dispone de un área de 6.51 hectáreas. El terreno seleccionado se ubica aproximadamente a 630 metros de las viviendas más cercanas y a 2 761 metros del río Shullcas, el cuerpo de agua más próximo. El diseño propuesto contempla un relleno sanitario semimecanizado compuesto por diez zanjas, cada una con dimensiones de 121.18 metros de longitud, 35 metros de ancho y 4 metros de profundidad. Asimismo, se prevé la implementación de dos plantas de valorización una de reciclaje y otra de compostaje junto con diversas áreas complementarias, tales como zona de pesaje, servicios higiénicos y comedor. La instalación está proyectada para operar durante un periodo de diez años.

2.1.3. Antecedentes locales

La investigación desarrollada por Veliz (2021) tuvo como finalidad formular el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PIGARS) para la provincia de Castilla, así como diseñar un relleno sanitario manual. Para elaborar el diagnóstico situacional, se recopiló información proveniente de las áreas de servicios comunales y de protección ambiental de las municipalidades distritales, abarcando tanto el componente institucional como los aspectos técnico-operativos relacionados con la gestión y manejo de sus residuos sólidos. Como parte de la propuesta del PIGARS, se planteó también el diseño de un relleno sanitario destinado a la disposición final de

los residuos generados. Para ello, se evaluó la selección del área aplicando criterios establecidos en la guía para la identificación de zonas potenciales destinadas a infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales. Se identificaron tres posibles alternativas, siendo la tercera la que obtuvo la mayor calificación debido a las características favorables del terreno. Con base en esta selección, se procedió a diseñar el relleno sanitario manual siguiendo las directrices de la guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de este tipo de infraestructura, además de las disposiciones del Decreto Legislativo N.º 1278. El método de diseño adoptado fue de tipo combinado, empleando tanto el sistema de trinchera como el de área, y se proyectó una vida útil de diez años para una generación estimada de 33.5 toneladas de residuos sólidos, requiriendo un espacio total de 0.964 hectáreas.

La tesis realizada por Colque (2017) con el objetivo de analizar y evaluar la posibilidad de la instalación de un Relleno Sanitario para el Distrito de Islay, pero para ello se desarrolló inicialmente la caracterización de residuos sólidos; el análisis también se hizo en mercados, en colegios, en hoteles, en restaurantes, en residuos de barridos y de parques y jardines; obteniéndose una producción per cápita consolidada de 0.949 kg/ hab-día; se determinó además la cantidad de residuos sólidos obtenidos para el año 2017. Luego de aplicado el proceso de dimensionamiento para el Relleno Sanitario se establece la necesidad de 14.8 ha. para un tiempo de vida útil de 15 años. Se propone la construcción del Relleno Sanitario en un terreno ubicado al noreste de la ciudad de Matarani y a 2.9 km aproximadamente de esta.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Residuos sólidos Municipales

Los residuos sólidos municipales están compuestos, por lo general, por los desechos generados en los hogares, así como por los provenientes del barrido y la limpieza de espacios públicos incluidas las playas, junto con aquellos originados en actividades comerciales y en otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos pueden ser gestionados a través de los servicios de limpieza pública dentro de toda la jurisdicción municipal, todos estos residuos deben ser dispuestos adecuadamente en rellenos sanitarios. (Ley de Gestión Integrada de Residuos Sólidos, 2016)

A. Caracterización de los residuos sólidos municipales

Es una herramienta que permite obtener información primaria acerca de las características de los residuos sólidos, específicamente los de origen municipal. Esto se logra mediante un estudio en el que se recopilan datos como la cantidad, densidad, composición y humedad de los residuos generados en un espacio geográfico determinado (MINAM, 2019). Asimismo, esta metodología facilita la identificación del porcentaje de residuos aprovechables como los residuos orgánicos provenientes de alimentos y podas, así como materiales reciclables tales como papel, vidrio, madera, metales, botellas y plásticos y de los residuos no aprovechables, entre los que se incluyen los sanitarios, pilas, tecnopor, restos de medicamentos, residuos inertes y otros no categorizados. Con esta información es posible evaluar la composición fisicoquímica y biológica de los residuos, lo que permitirá aprovecharlos, aplicarles el tratamiento correspondiente y, finalmente, disponerlos de manera adecuada (Causa, 2019).

B. Gestión y manejo de los residuos sólidos municipales

➤ **Gestión de residuos sólidos municipales**

Según Paccha (2011), es el conjunto integral de acciones que abarcan desde la generación hasta la disposición final de los residuos sólidos, con el objetivo de alcanzar beneficios ambientales, optimizar la gestión económica y obtener aceptación social. Estas acciones se ajustan a las particularidades y condiciones propias de cada comunidad o región. La gestión de los residuos sólidos municipales comprende el conjunto de actividades técnico-administrativas orientadas a la planificación, coordinación, concertación, formulación, ejecución y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas destinados al manejo adecuado de los residuos sólidos en los niveles nacional, regional y local. (Ley de Gestión Integrada de Residuos Sólidos, 2016)

➤ **Manejo de residuos sólidos municipales**

El manejo de los residuos sólidos comprende el conjunto de políticas y procedimientos orientados a alcanzar una gestión ambiental y económicamente sostenible para la población (López, 2014). Cuando los residuos generados en los distintos sectores productivos son administrados de

manera adecuada, pueden convertirse en oportunidades, ya que permiten disminuir los costos operativos y mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente. Para asegurar un manejo adecuado de los residuos sólidos, resulta fundamental contar con Planes Locales de Manejo de Residuos Sólidos, los cuales garantizan una prestación eficiente y eficaz de los servicios de limpieza pública, abarcando todas las etapas del proceso: desde la generación de los residuos hasta su disposición final. (MINAM, 2016)

C. Sistema de manejo de residuos sólidos municipales

Según lo establecido en la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016) y su reglamento, el manejo de los residuos sólidos comprende diversas etapas articuladas entre sí. Estas incluyen la segregación en fuente, el barrido y la limpieza de los espacios públicos, la recolección selectiva, el transporte, el almacenamiento, el acondicionamiento, la valorización, la transferencia, el tratamiento y, finalmente, la disposición final.

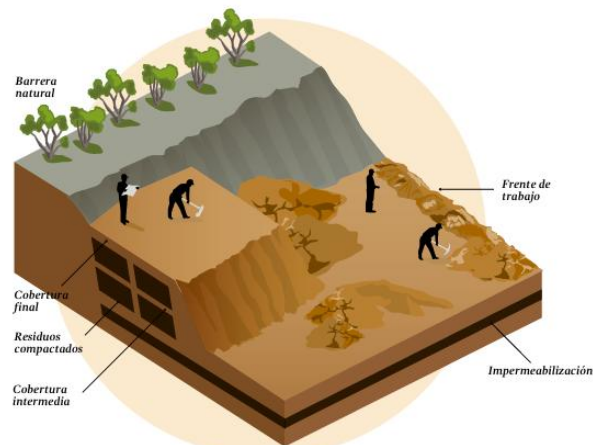
2.2.2. Relleno sanitario

De acuerdo con la Ley de Gestión de Residuos Sólidos (2016), un relleno sanitario constituye una infraestructura destinada a la disposición final de los residuos, la cual debe estar adecuadamente equipada y operada para garantizar un manejo sanitario y ambientalmente seguro. Este tipo de infraestructura permite confinar los residuos en un espacio previamente acondicionado con sistemas que controlan y gestionan las emisiones de líquidos y gases generados por la descomposición de la materia orgánica. Su finalidad es prevenir riesgos para la salud pública y evitar el deterioro de la calidad ambiental.

A. Clasificación de los rellenos sanitarios

- **Relleno Sanitario Manual:** Se trata de un método destinado a la disposición final de residuos sólidos cuya capacidad de operación diaria es igual o inferior a seis (06) toneladas métricas. Su funcionamiento incluye labores como el esparcimiento, la compactación y la cobertura de los residuos, empleando herramientas simples, por ejemplo, rastrillos y pisones manuales. Asimismo, su funcionamiento está limitado exclusivamente a horarios diurnos, quedando prohibida la operación nocturna (MINAM, 2011).

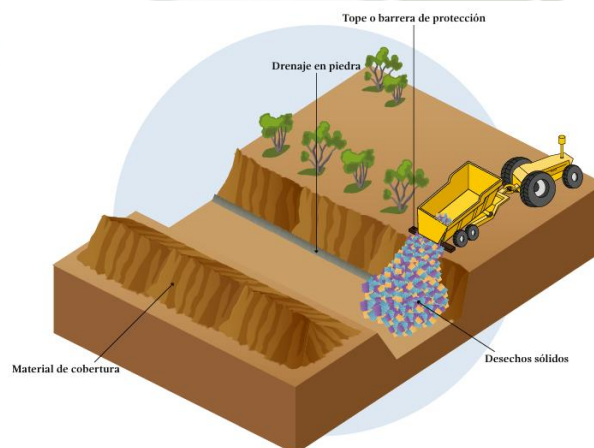
Figura 1: Relleno sanitario manual.



Nota. Modelo del diseño del relleno sanitario manual (MINAM, 2011).

- **Relleno Sanitario Semimecanizado:** Se trata de un método destinado a la disposición final de residuos sólidos cuya capacidad diaria de operación no debe superar las 50 toneladas. En este sistema se realizan actividades de esparcido, compactación y cobertura de los residuos empleando principalmente equipos mecánicos, aunque también es posible utilizar herramientas manuales como apoyo para complementar las labores de confinamiento (MINAM, 2011).

Figura 2: Relleno sanitario semimecanizado.

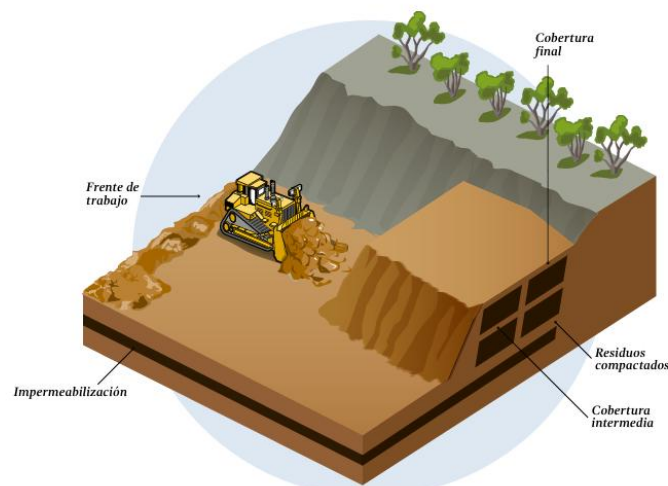


Nota. Modelo del diseño del relleno sanitario semimecanizado (MINAM, 2011).

- **Relleno Sanitario Mecanizado:** Un procedimiento concebido para la disposición definitiva de residuos sólidos cuya capacidad de gestión diaria supera las cincuenta (50) toneladas métricas, permitiendo su operación

mediante maquinaria pesada, como tractores o cargadores frontales. Este tipo de infraestructura resulta particularmente adecuada para zonas de alta pluviosidad, ya que su diseño facilita un manejo eficiente de los desechos en condiciones climáticas adversas. (MINAM, 2011)

Figura 3: Relleno sanitario mecanizado.

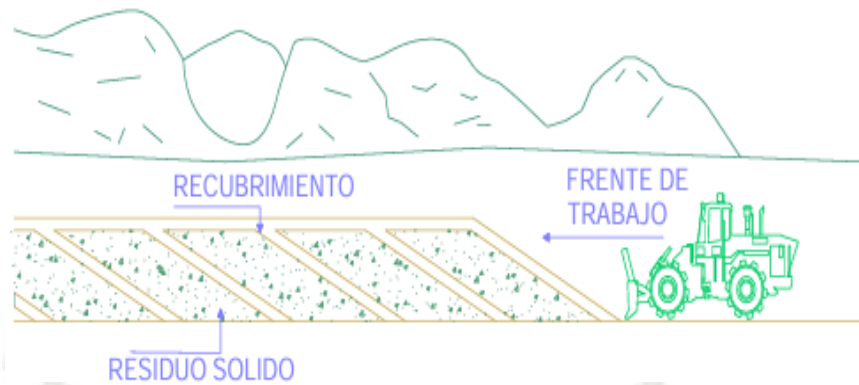


Nota. Modelo del diseño del relleno sanitario mecanizado (MINAM, 2011).

B. Métodos del diseño del relleno sanitario

- **Método de trinchera o zanja:** Este método suele emplearse en áreas con pendientes suaves y en suelos que permiten una excavación sencilla, evitando aquellos de composición rocosa, y siempre que el nivel freático se encuentre a una profundidad adecuada. Consiste en realizar excavaciones en forma de zanjas con dimensiones definidas mediante el uso de maquinaria pesada, como retroexcavadoras. Estas trincheras deben acondicionarse con sistemas de impermeabilización y drenaje que reduzcan y controlen la infiltración de lixiviados. En estas zanjas se depositan los residuos, los cuales posteriormente son compactados y cubiertos con un material que cumpla con las características técnicas requeridas. En zonas con altos niveles de precipitación se requiere especial cuidado en el manejo de las aguas de escorrentía, ya que estas pueden ingresar a las trincheras, aumentar el volumen de líquidos percolados y deteriorar el sistema (MINAM, 2011). Por ello, el diseño del proyecto debe contemplar alternativas adecuadas de gestión y control hídrico.

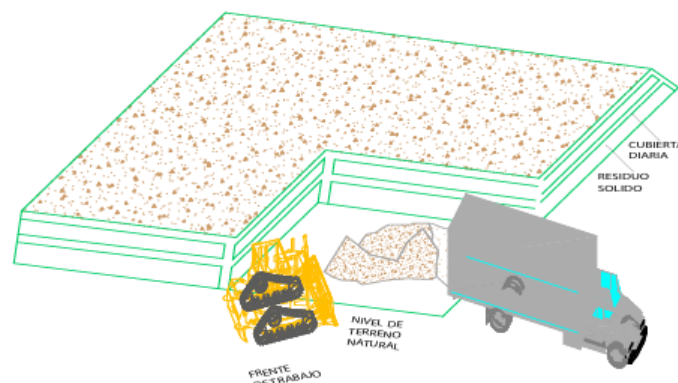
Figura 4: Método de trinchera.



Nota. Modelo del diseño del relleno sanitario por el método de trinchera (MINAM, 2011).

- Método de área:** Este método es utilizado habitualmente en terrenos con superficies planas o ligeramente inclinadas, donde no resulta viable excavar zanjas o trincheras para contener los residuos. Antes de verter los desechos sólidos, se debe preparar el suelo natural, nivelándolo de acuerdo con sus propiedades físicas y su capacidad de permeabilidad. También es necesario determinar la fuente de material que se empleará para la cobertura, evaluando tanto su calidad como la cantidad requerida. Las celdas del relleno deben construirse con taludes de inclinación moderada para evitar deslizamientos y asegurar una mayor estabilidad a medida que el relleno crece hasta la altura prevista (MINAM, 2011).

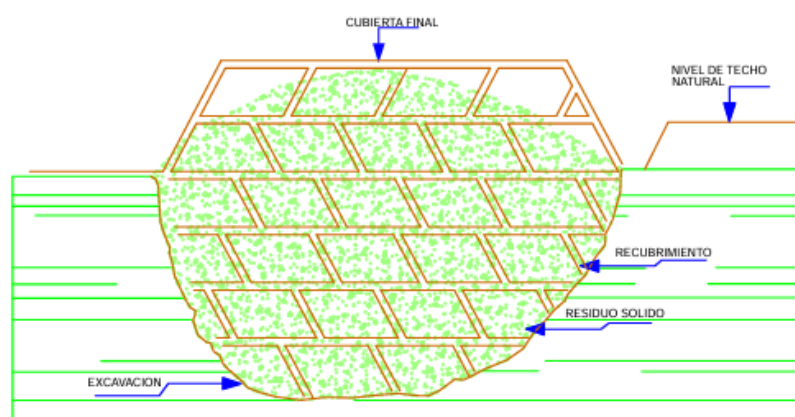
Figura 5: Método de área.



Nota. Modelo del diseño del relleno sanitario por el método de área (MINAM, 2011).

- **Método mixto o combinado:** Este procedimiento suele emplearse en superficies de terreno completamente planas, donde el proceso de disposición final comienza utilizando el método de trinchera y finaliza aplicando el método de área (MINAM, 2011). Entre los beneficios más relevantes que ofrece esta modalidad se encuentran los siguientes:
 - ✓ Requiere menos área para lograr un volumen útil mayor de disposición final.
 - ✓ Se busca aprovechar al máximo el material excavado para utilizarlo como cobertura.

Figura 6: Método mixto o combinado.



Nota. Modelo del diseño del relleno sanitario por el método mixto o combinado (MINAM, 2011).

2.2.3. Efecto invernadero

A. Gases de efecto invernadero que producen los botaderos

Los gases de efecto invernadero son componentes gaseosos de forma natural o antropogénica de la atmósfera, que absorbe y emite radiación en ciertas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie del planeta, las nubes y la atmósfera; este atributo contribuye al efecto invernadero, siendo los GEI más frecuentes en la atmósfera terrestre el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), el vapor de agua (H_2O) y el ozono (O_3). (IPCC, 2013)

B. Efectos ambientales

La acumulación de gases contaminantes hace que las temperaturas aumenten cada vez más y por ende los climas cambien, provocando sequías, aumenta el riesgo

de incendios que conlleva la deforestación, la desertización del planeta, por otro lado ocurre el derretimiento de glaciares; los efectos de alcance global incluirán cambios sustanciales en la disponibilidad de agua para beber y para riego, así como un aumento de los niveles del mar, cambios en los patrones de circulación del agua en los océanos, y la amenaza a la supervivencia de especies de flora y fauna que habitan en dichos ecosistemas. (Zamora & Coello, 2020)

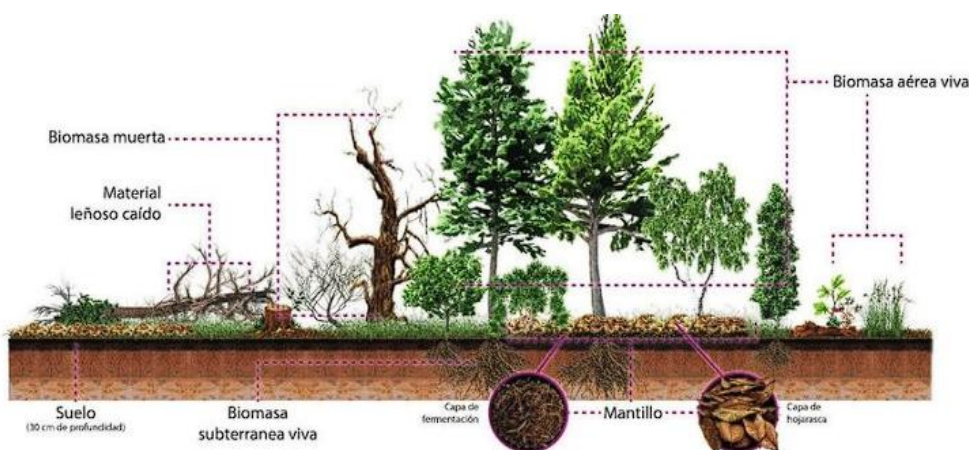
2.2.4. Infraestructura natural

La Infraestructura Natural (IN) es la red de espacios naturales que mantienen las funciones ecológicas y brindan servicios ecosistémicos. Esta red incluye ecosistemas conservados o restaurados mediante intervenciones humanas, como inversiones o actividades de manejo (MINAM, 2018).

A. Especies vegetales captadoras de CO₂

Las especies vegetales captadoras de dióxido de carbono (CO₂) desempeñan un rol fundamental en la mitigación del cambio, al fijar este gas de efecto invernadero mediante el proceso de fotosíntesis. El carbono absorbido se transforma y se almacena en diferentes reservorios:

- Biomasa aérea viva: tallos, hojas y ramas.
- Biomasa subterránea: raíces.
- Biomasa muerta en pie: restos leñosos aún erguidos.
- Biomasa muerta en el suelo: residuos vegetales depositados en la superficie.
- Mantillo: capa de hojas y material orgánico en descomposición.
- Suelo: fracción orgánica y humus donde el carbono queda retenido por largos periodos.

Figura 7: Almacenamiento de carbono.

Nota. Almacenamiento de carbono en la biomasa de especies vegetales (Casiano et al. 2018).

Esta capacidad contribuye de manera significativa a la reducción de gases de efecto invernadero y al equilibrio del ciclo global del carbono. A nivel global, los ecosistemas forestales capturan aproximadamente 3,5 petagramos de carbono por año, lo que equivale al 30 % de las emisiones antropogénicas. (Pan et al., 2024)

La utilización de cercos vivos con especies adecuadas no solo ofrece beneficios ecológicos y estéticos, sino que también actúa como una estrategia efectiva para capturar carbono, especialmente en contextos urbanos y periurbanos (Moreno et al., 2024). Entre las especies vegetales con mayor captación de CO₂ se encuentran las siguientes:

- ***Schinus molle* (Molle Peruano / Molle Serrano):** Perteneciente a la familia Anacardiaceae se distribuye geográficamente en países como Perú, Argentina, Bolivia, Ecuador y Brasil, es un árbol perenne que puede alcanzar una altura de 15 metros, su densidad del follaje es media, sistema radicular superficial, presenta atributos foliares de hojas de longitud de 12 cm por 5 cm de ancho y dísticas con folios angostos y aromáticos. (Paz & Gabriel, 2025)

Crece en regiones con escasa precipitación, entre 10 y 3 500 m s.n.m., encontrando su mejor desarrollo en áreas con 300 a 620 mm de lluvia anual y temperaturas medias de 19,27 °C a 21,6 °C. Además, soporta zonas de alta insolación y estrés hídrico prolongado (Quispe, 2014; Colán de la Vega et al., 2020). Este árbol presenta un potencial como especie fijadora

de carbono debido a su rápido crecimiento, amplia biomasa aérea, rápido recambio de su follaje y actividad fotosintética prolongada durante todo el año (Colán de la Vega et al., 2020). Además, ha demostrado eficacia en procesos de fitorremediación y reforestación en suelos degradados, especialmente en la costa sur del país, lo que refuerza su rol ecológico clave frente al cambio climático (Chambi, 2021).

- ***Pinus radiata* (Pino):** Es una conífera perenne de rápido crecimiento que puede alcanzar 60 metros de altura en condiciones óptimas. Morfológicamente, posee un tronco cónico recto con corteza agrietada. Presenta flores con presencia de estambres y su fruto es similar a la piña (Taype, 2020). Este árbol se puede ser cultivado en altitudes entre los 2,000 y 3,500 m s.n.m., soportando precipitaciones máximas de 2.000 mm y a temperaturas promedio de 12 °C, es resistente a sequías y se desarrolla en suelos franco-arenosos y franco limosos, no tolera suelos compactados, poco profundos o mal drenados. (Chacón, 2024)

El *Pinus radiata* es altamente eficiente en la captura de dióxido de carbono, pudiendo fijar entre 15 y 35 toneladas de CO₂ por hectárea al año, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y del manejo forestal aplicado (IPCC, 2019; Yantas, 2022). Por estas razones, se le considera una especie estratégica en programas de reforestación, restauración ecológica y mitigación del cambio climático.

- ***Cupressus macrocarpa* (Ciprés):** Es una especie conífera perenne de crecimiento moderado, que puede alcanzar los 25 metros de altura aproximadamente, su corteza es agrietada con placas de color grisáceo, presenta una copa amplia, presenta hojas escamiformes, sus conos son globosos, leñosos y miden entre 2,5 y 4 cm de diámetro, conteniendo múltiples semillas aladas. Este árbol se cultiva especialmente entre los 2,500 y 3,800 m.s.n.m., muestra buena adaptación a suelos franco-arenosos y arcillosos, siempre que cuenten con buen drenaje (Reynoso, 2021). Asimismo, tolera climas fríos y secos, y es resistente a la escasez de agua una vez establecido, por lo que puede utilizarse en zonas semiáridas. Es considerado eficiente en la captura de dióxido de carbono debido a que tiene una fijación promedio de 6,92 toneladas de CO₂ por

hectárea al año, y una acumulación de hasta 388,6 t CO₂/ha en plantaciones adultas (Yantas, 2022; IPCC, 2019).

- ***Prosopis pallida* (algarrobo):** Pertenece a la familia Fabaceae, es un árbol perenne de tamaño mediano que alcanza entre 8 y 15 metros de altura, con una copa amplia e irregular. Morfológicamente, presenta un tronco de corteza rugosa de color gris oscuro, hojas compuestas bipinnadas con folíolos lineares, y espinas cortas o ausentes. Sus flores son pequeñas, de color amarillo verdoso, dispuestas en espigas, y su fruto es una vaina indehisciente, curva y alargada (Fredesvinda et al., 2020). Este árbol presenta un amplio rango de condiciones edáficas, se desarrolla en diferentes tipos de suelos como áridos, semiáridos, arenosos, arcillosos, salinos, rocosos e inundables. Esta especie se encuentra en bosques secos y puede crecer hasta los 1500 m.s.n.m (Núñez, 2022). Esta especie tiene una notable capacidad de captura de carbono. Estudios realizados en ecosistemas secos del norte peruano indican que puede fijar entre 8 y 13 toneladas de CO₂ por hectárea al año, dependiendo de la edad de la plantación y las condiciones del sitio (Yantas, 2022; IPCC, 2019). Además, contribuye a la mejora de la calidad del suelo por su capacidad fijadora de nitrógeno, siendo una especie clave en programas de restauración ecológica en zonas degradadas.
- ***Acacia Macracantha* (faique o huarango):** Pertenece a la familia Fabaceae, es un árbol espinoso que puede alcanzar hasta 5 metros de altura. Presenta un fuste macizo de color gris oscuro, muy ramificado e irregular, con copa amplia. Sus hojas, anchas en la base, se acompañan de largas espinas. Las flores, de color amarillo, son axilares y se agrupan en cabezuelas. El fruto es una vaina plana que contiene las semillas (Quinto, 2024). Esta especie crece en bosques secos entre los 50 a 2200 m.s.n.m. en zonas desérticas, médanos, dunas, quebradas secas, monte ribereño y laderas, con temperaturas que no superan los 25°C y con precipitaciones anuales menores a 1500 mm. Es resistente a periodos prolongados de sequía por lo cual la hace idónea para crecer en una amplia gama de suelos, también es tolerante a suelos con poca materia orgánica (Núñez, 2022). Como miembro de la familia Fabaceae, forma asociaciones rizobiales

fijadoras de nitrógeno, lo que favorece su crecimiento en ambientes adversos. Asimismo, las leguminosas como *V. macracantha* tienden a aumentar la capacidad de secuestro de carbono orgánico en el suelo, colaborando en la formación de materia orgánica; sin embargo, en el estudio realizado en el departamento de Cajamarca indica que la especie *A. macracantha* captura 639.94 Tn/ha de carbono respectivamente (Soto & Larrea, 2025). Desempeña un papel ecológico en la reforestación y mejora del carbono edáfico (Zhang et al., 2018).

- ***Alnus acuminata* (Aliso):** Es un árbol caducifolio de rápido crecimiento que alcanza entre 15 y 20 m de altura, con corteza rugosa y hojas ovadas con margen aserrado; sus inflorescencias se presentan en amentos masculinos y femeninos, y los frutos son estróbilos con semillas aladas (Cyamweshi et al., 2021). Es una especie apta para plantaciones forestales y agroforestales, debido a su capacidad de crecimiento en suelos degradados y crece a un rango altitudinal de 1,200 a 3,800 m.s.n.m. (Dongo, G., 2015). Esta especie es altamente eficiente en la captura de dióxido de carbono (CO₂) debido a su rápido crecimiento y su capacidad de formar simbiosis con bacterias del género Frankia, que le permite prosperar en suelos pobres y aumentar la acumulación de biomasa. Estudios en agroforestería reportan que *Alnus acuminata* puede fijar entre 13,6 y 34,4 Mg de carbono por hectárea, dependiendo de la edad del árbol (Cyamweshi et al., 2021).

2.3. Marco legal

El conjunto de disposiciones jurídicas que rige el diseño de un relleno sanitario semimecanizado está integrado por diversas normas actualmente vigentes. Este marco comprende regulaciones emitidas en los ámbitos internacional, nacional, regional y local. A continuación, se presentan las principales normas legales que lo conforman:

2.3.1. Internacional

- **Objetivo de Desarrollo Sostenible 3: Salud y Bienestar**

Una adecuada gestión en la disposición final de los residuos sólidos contribuye significativamente a mejorar la calidad de vida de la población, al reducir riesgos sanitarios y prevenir enfermedades asociadas a la contaminación.

- **Objetivo de Desarrollo Sostenible 13: Acción por el Clima**

El control de los gases de efecto invernadero en el relleno sanitario permite reducir las emisiones de GEI, lo cual contribuye directamente a mitigar el cambio climático.

2.3.2. Nacional

- **Constitución Política del Perú 1993**

La Constitución política del Perú (1993) reconoce que todas las personas tienen el derecho a vivir en un ambiente sano, equilibrado y apto para su desarrollo integral, promoviendo además el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. En su artículo 2, inciso 22, se señala que la población y la sociedad civil poseen el derecho a disfrutar de la paz, la tranquilidad, el esparcimiento, el descanso y un entorno ambiental que garantice condiciones adecuadas para su vida.

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

La ley N°28611 (2005) impulsa la utilización responsable de los recursos naturales y orienta hacia un desarrollo sostenible e integral. Asimismo, define los principios y disposiciones esenciales que garantizan el adecuado cumplimiento del derecho de toda persona a vivir en un entorno saludable, equilibrado y compatible con el desarrollo pleno de la vida humana.

- **Decreto Legislativo N°1278 - Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

El decreto legislativo N°1278 (2016) establece en su artículo 2 que la disposición final de los residuos constituye la etapa última dentro del proceso de gestión de los residuos sólidos y que su ejecución debe garantizar condiciones ambientales adecuadas. Asimismo, en el capítulo 7, referido a la infraestructura destinada a la gestión y tratamiento de los residuos sólidos, el artículo 65 precisa los tipos de instalaciones que intervienen en este proceso, tales como los centros de acopio de residuos municipales, las plantas de valorización, las plantas de transferencia y las infraestructuras destinadas a la disposición final.

- **Decreto Legislativo N°1501 - Modificatoria de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

El decreto legislativo N°1501 (2020) con el propósito de implementar acciones que contribuyan a prevenir o reducir la propagación del COVID-19, se introducen modificaciones al Decreto Legislativo N.º 1278. Dichos cambios incorporan disposiciones específicas orientadas al manejo de los residuos sólidos durante escenarios de emergencia, así como a garantizar la continuidad y adecuada prestación del servicio de gestión integral de los residuos sólidos en dichas circunstancias.

- **Decreto Supremo N°023-2021-MINAM - Política Nacional del Ambiente 2030**

El Decreto Supremo N°023-2021-MINAM (2021) establece como un soporte fundamental para la protección ambiental, orientándose a garantizar un uso responsable, sostenible, racional y ético tanto de los recursos naturales como del entorno que los sostiene. Su finalidad es aportar al desarrollo integral de la población, promoviendo el bienestar social, económico y cultural de la ciudadanía.

- **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.**

El Decreto Supremo N°014-2017-MINAM (2017) tiene por objetivo reglamentar la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, estableciendo las disposiciones técnicas, administrativas y de gestión para asegurar un manejo adecuado y sostenible de los residuos sólidos en el territorio nacional. Este reglamento detalla los principios, obligaciones y procesos que deben cumplirse en cada una de las fases del manejo de residuos sólidos. Esto abarca desde su generación y segregación inicial, hasta su almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento, valorización y, finalmente, su adecuada disposición final.

- **Ley N° 27972 - Ley Orgánica de Municipalidades**

La ley N°27972 (2003), en su artículo 80°, establece que corresponde a las municipalidades ejercer la regulación y supervisión de todo el proceso relacionado con la disposición final de los desechos sólidos y líquidos, así como de los vertimientos industriales, dentro de la jurisdicción provincial que les compete.

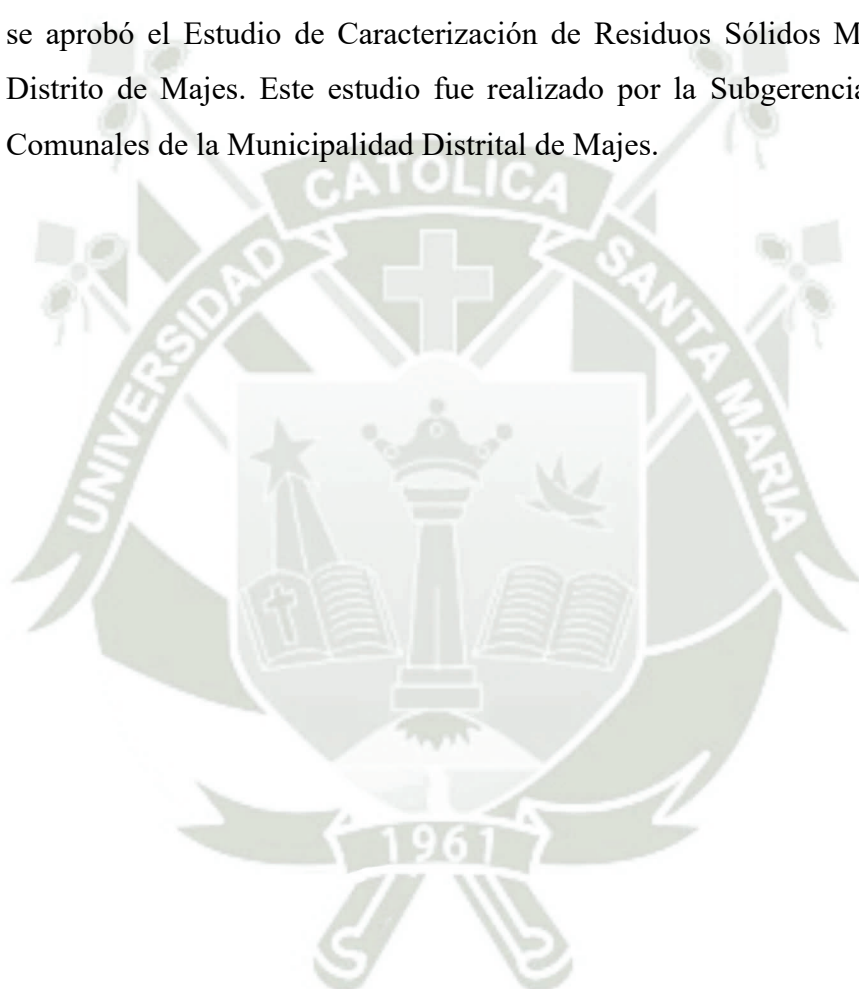
2.3.3. Local

- **Resolución de Alcaldía N.º 0507-2022-MDM**

La Resolución de Alcaldía N.º 0507-2022-MDM (2022) aprobó el programa de segregación en la fuente y la recolección selectiva de residuos sólidos de la Municipalidad Distrital de Majes.

- **Resolución de Gerencia Municipal N.º 0368-2021-GM-MDM**

La Resolución de Gerencia Municipal N.º 0368-2021-GM-MDM (2021) se aprobó el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Majes. Este estudio fue realizado por la Subgerencia de Servicios Comunes de la Municipalidad Distrital de Majes.





CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Nivel de investigación

La presente investigación es de enfoque mixto ya que se aplicará la recolección y análisis de información, así como cálculos con uso de estadística.

Presenta un nivel aplicativo porque utilizamos conocimientos teóricos de guías propuestas por el MINAM y tratamos de resolver problemas prácticos diseñando una infraestructura de relleno sanitario semimecanizado para darle solución.

3.2. Diseño de la investigación

La presente investigación es no experimental - longitudinal ya que comprende el diseño de un relleno sanitario sin manipulación de variables y se sigue una serie de pasos propuestos por las diferentes guías metodológicas del MINAM; además se realizará la observación y recolección de datos en las 4 estaciones del año, con el fin de observar las variaciones que puedan ocurrir y así mejorar la disposición final de los residuos sólidos.

3.3. Ubicación espacial – temporal

La ubicación donde se realizará la presente investigación es en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa.

3.4. Población

En la presente investigación se considera que la densidad poblacional del distrito de Majes es de 60108 habitantes respectivamente según el censo del 2017 que incluye al sector urbano y rural.

3.5. Muestra

En esta investigación se considera el rango de tamaño de muestras, según la cantidad de viviendas que se tienen en el distrito, según el último censo del INEI del 2017 en el distrito de Majes se tiene 26 334 viviendas. En donde se toma el último rango que se muestra en la *Tabla N°1*, según la guía de caracterización de residuos sólidos municipales.

Tabla 1. Rango de tamaño de muestra.

Rangos de tamaño de muestras			
Rango de viviendas	Tamaño de muestras	Muestra de contingencia	Total, de muestras domiciliarias
(N)	(n)	(20% de n)	
Hasta 500	45	9	54
Más de 500 y hasta 1000	71	14	85
Más de 100 hasta 5000	94	19	113
Más de 5000 hasta 10000	95	19	114
Más de 10000	95	23	119

Nota. En esta tabla se puede apreciar el total de muestras domiciliarias que se debe de realizar según el número de viviendas que se presenta en el distrito (R.M. N°457-2018-MINAM).

3.6. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para el análisis de la información para el diseño de un relleno sanitario semimecanizado están basados en principalmente a las elaboradas por el MINAM que son guías técnicas. Entre estas tenemos:

- A. **Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales:** Aprobado el 4 de enero de 2018, este documento tiene como propósito guiar la elaboración de los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales. Para ello, proporciona lineamientos metodológicos que explican de manera clara y accesible cada una de las etapas necesarias para obtener datos locales vinculados a la generación y características de estos residuos.
- B. **Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Monitoreo de Relleno Sanitario Mecanizado:** Publicada en 2011, esta normativa tiene como finalidad brindar a las municipalidades y a las entidades encargadas de los servicios de residuos sólidos una guía que facilite la implementación de infraestructuras destinadas a la disposición final de los residuos sólidos municipales en todo el territorio nacional.

- C. **Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales:** Publicada en 2019, esta norma tiene como propósito ofrecer los lineamientos técnicos esenciales para la identificación y elección de zonas adecuadas, así como para el diseño y construcción de infraestructuras destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.
- D. **Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales:** Aprobado el 16 de julio de 2021, este documento tiene como propósito guiar la identificación de áreas potenciales para la instalación de infraestructura destinada a la disposición final de residuos sólidos municipales. Además, sirve como insumo técnico estratégico para los proyectos de inversión en estas infraestructuras, asegurando que se adecúen a las capacidades y limitaciones del territorio.
- E. **La estación meteorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI):** Nos ayuda a poder registrar de manera continua el comportamiento de las variables de vigilancia atmosférica como la temperatura, precipitación, velocidad del viento, etc.
- F. **Planos topográficos** para poder conocer las características físicas del terreno.
- G. **Ecuaciones matemáticas** para la realización de los cálculos en la caracterización de residuos sólidos, así como en el diseño del relleno sanitario.
- H. **Sistemas de Información Geográfica** para la realización de la selección de las áreas óptimas para la ubicación del relleno sanitario.

3.7. Técnicas

Las técnicas utilizadas para el diseño de un relleno sanitario son las siguientes:

- ✚ Trabajo de campo: Visitas al área de estudio para seleccionar las áreas más aptas para el diseño del relleno sanitario semimecanizado.
- ✚ Muestreo de suelo: Conocimiento del tipo de suelo y reconocer si es apta la ubicación para diseñar el relleno sanitario semimecanizado.
- ✚ Protocolo de monitoreo: Conocimiento de las condiciones climatológicas del lugar de estudio.

3.8. Métodos de investigación

3.8.1. Diagnóstico del proceso de manejo de los residuos sólidos municipales.

En primera instancia, se efectuaron los trámites administrativos ante la municipalidad distrital con el fin de obtener el estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales. Luego, se llevó a cabo el análisis e interpretación de los parámetros correspondientes, como la generación per cápita (GPC), la densidad, la composición y el contenido de humedad, información esencial para sustentar el diseño del relleno sanitario semimecanizado (MINAM, 2011).

3.8.2. Evaluación del área óptima para la ubicación del relleno sanitario

a) Recopilación y análisis de información geográfica disponible

En esta fase inicial, se elaboró el modelo geoespacial en QGIS con el propósito de determinar la ubicación más adecuada para el relleno sanitario. Para ello, fue necesario reunir diversos archivos shapefile (.shp) procedentes de fuentes oficiales, los cuales aportan información geográfica esencial para llevar a cabo el análisis espacial de aptitud de las áreas destinadas a la implementación de un relleno sanitario en el distrito de Majes. Entre los criterios más relevantes considerados se incluyeron: la pendiente del terreno, la hidrografía (ríos y cuerpos de agua), la cercanía a centros poblados y fallas geológicas. Asimismo, se consideró la incorporación de archivos relacionadas con acuíferos, restos arqueológicos y áreas naturales protegidas, con el fin de verificar posibles restricciones en el área de estudio. Sin embargo, según la información obtenida de los archivos shapefile descargados de fuentes oficiales, no se registró presencia de dichos elementos dentro del ámbito del distrito de Majes.

b) Procesamiento de los datos

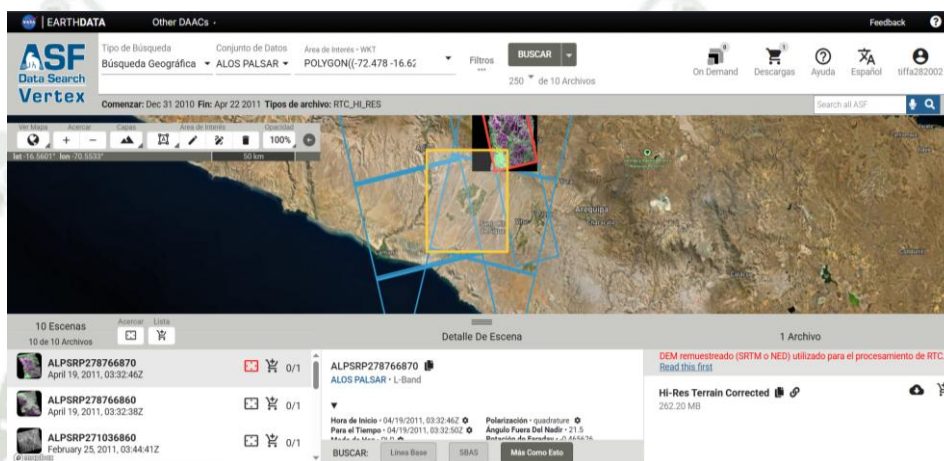
Con los shapefiles delimitados al área de estudio, se verificó que todos se encontraran en el sistema de coordenadas UTM – Zona 18 Sur, correspondiente a la ubicación geográfica del distrito de Majes. Luego, para el procesamiento de la base de datos espacial, cada uno de los criterios seleccionados fue recortado conforme al límite del área de estudio y convertido al formato ráster utilizando la herramienta “Rasterizar”. Este procedimiento permitió ejecutar la evaluación multicriterio, mediante la cual se identificaron las zonas más adecuadas para la instalación de un relleno sanitario.

c) Elaboración de mapas temáticos de cada criterio

- Pendiente

Se obtuvo el modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) desde la plataforma “Earthdata Search” de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos), correspondiente al ámbito de estudio. En total, se descargaron dos imágenes satelitales vinculadas al área de trabajo (*Figura 8*).

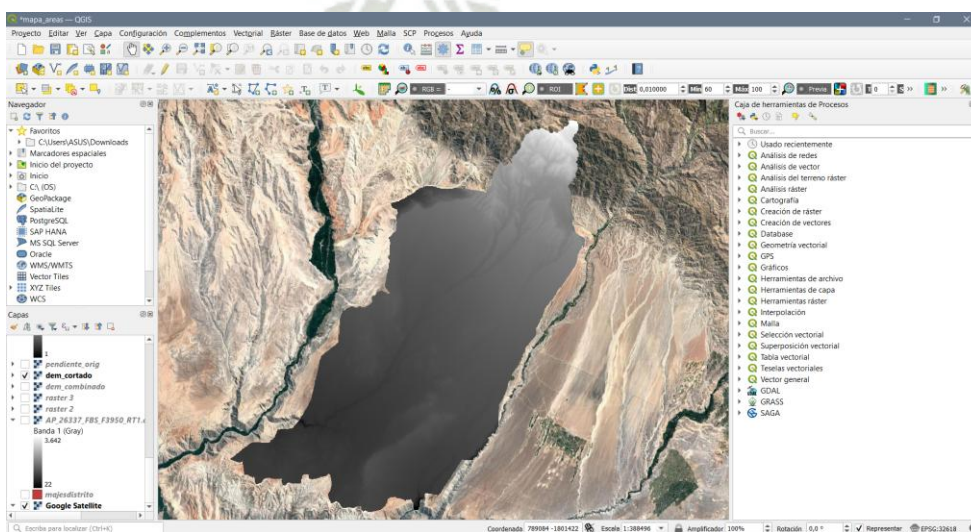
Figura 8: DEM que se encuentran dentro del área de estudio.



Nota. Medio - Earthdata Search

Seguidamente se abrió los dos DEM en el software QGIS, se hizo clic en la herramienta ráster – miscelánea - combinar para poder unirlos, luego se procedió a recortar el DEM con el área de estudio (*Figura 9*).

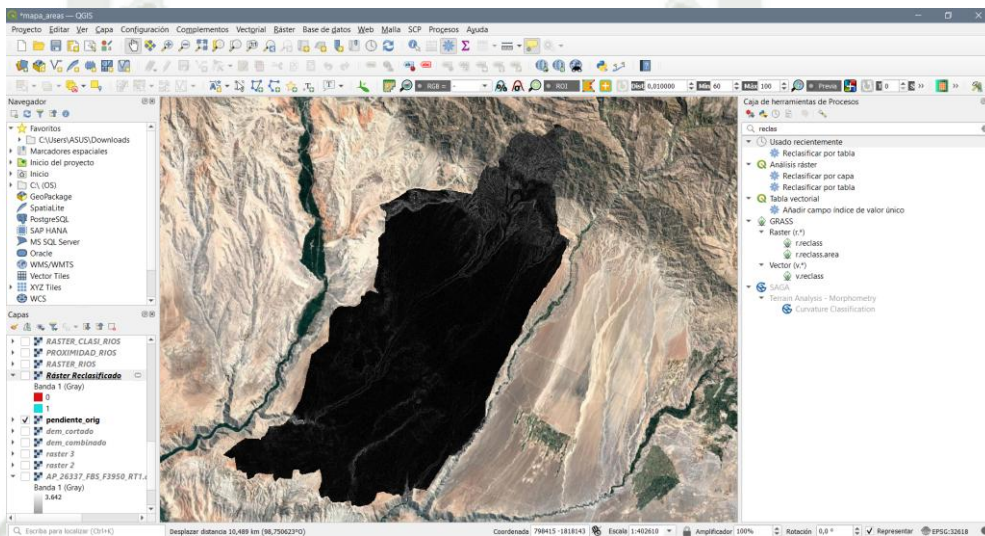
Figura 9: DEM recortado del área de estudio.



Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

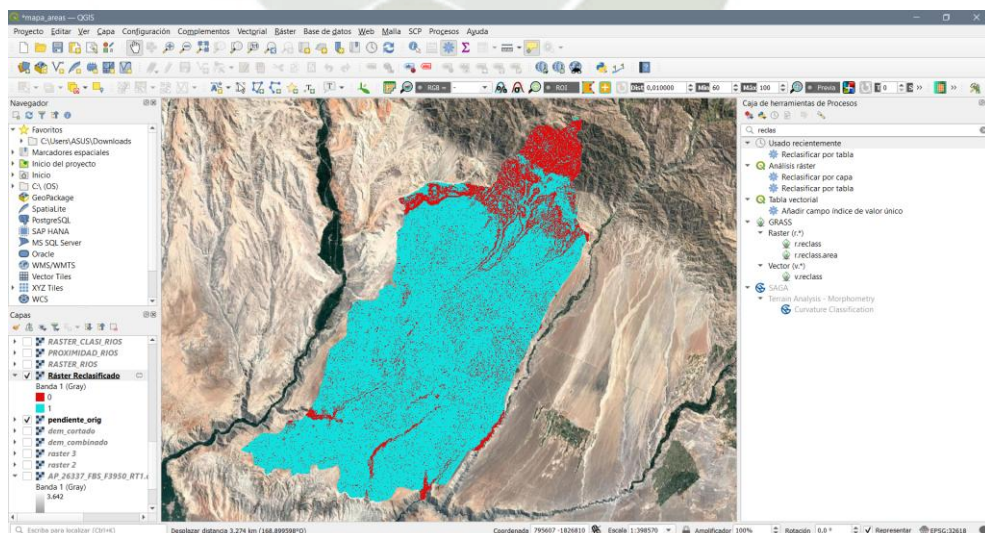
Posteriormente, en la caja de herramientas se utilizó la herramienta “Pendiente” (*Figura 10*). A continuación, se procedió a reclasificar el ráster mediante la herramienta “Reclasificar por tabla”, asignando el valor 0 a los píxeles que representaban pendientes iguales o superiores al 25%, y el valor 1 a aquellos con pendientes inferiores al 25% (*Figura 11*).

Figura 10: Ráster de pendiente del área de estudio.



Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

Figura 11: Ráster reclasificado de la pendiente.

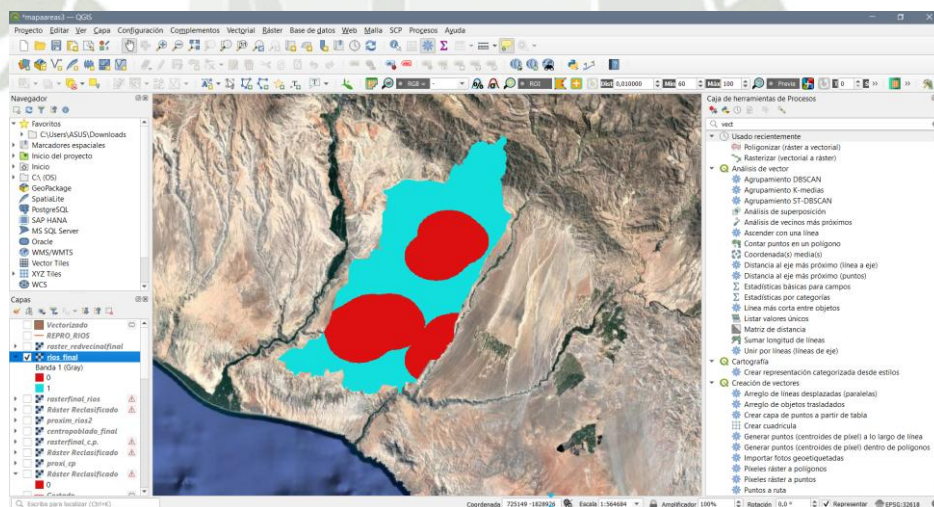


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

- **Hidrografía**

Se descargó el archivo shapefile (.shp) de cuerpos de agua desde la plataforma GEOGPS y se incorporó al software QGIS. Posteriormente, se abrió la tabla de atributos y se eliminó algunos elementos como las quebradas por tratarse de cauces secos sin presencia de precipitación. Luego la capa vectorial fue convertida a formato ráster mediante la herramienta “Rasterizar”. A continuación, se aplicó la herramienta “Proximidad” para generar un mapa de distancias respecto a los cuerpos de agua. Finalmente, se procedió a reclasificar el ráster utilizando la herramienta “Reclasificar por tabla”, donde se definieron los rangos de idoneidad. Se asignó el valor 0 a las áreas no aptas (distancias menores a 500 m) por representar zonas de restricción para la instalación del relleno sanitario, y el valor 1 a las áreas óptimas (distancias mayores a 500 m), consideradas potencialmente adecuadas para su ubicación (Figura 12).

Figura 12: Áreas óptimas y no aptas para la construcción de un relleno sanitario según cercanía a cuerpos de agua.



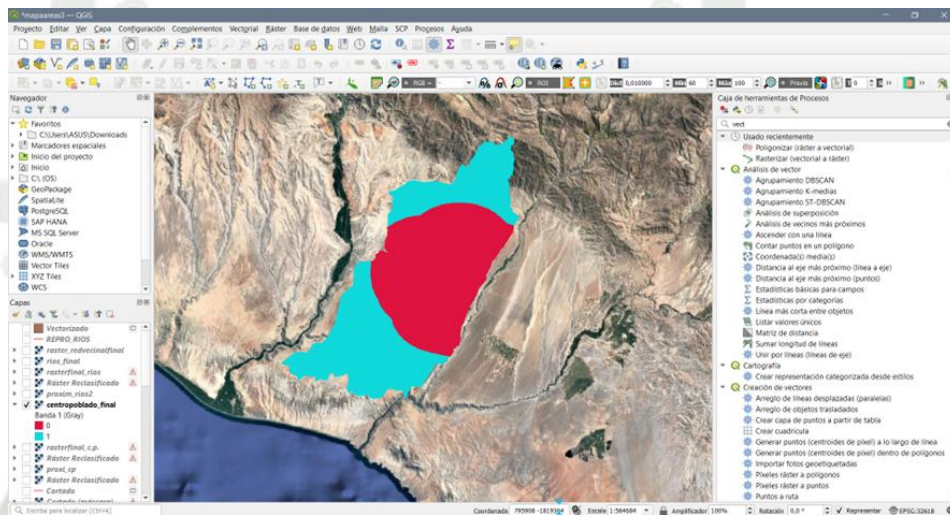
Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

- **Centros poblados**

Se descargó el archivo shapefile (.shp) de centros poblados desde la plataforma GEOGPS y se incorporó al software QGIS. Posteriormente, la capa vectorial fue convertida a formato ráster mediante la herramienta “Rasterizar”. A continuación, se aplicó la herramienta “Proximidad” para generar un mapa de distancias respecto a los centros poblados. Finalmente, se procedió a reclasificar el ráster utilizando la herramienta “Reclasificar por tabla”, donde

se definieron los rangos de idoneidad. Se consideró el valor “0”, a aquellas áreas “No aptas” (menores a 500 m) las cuales no son consideradas para la instalación del relleno sanitario. Se consideró el valor “1”, a aquellas áreas “Óptimas” (mayor a 500m) las cuales son áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario (*Figura 13*).

Figura 13: Áreas optimas y no aptas para la construcción de un relleno sanitario según cercanía a centros poblados.

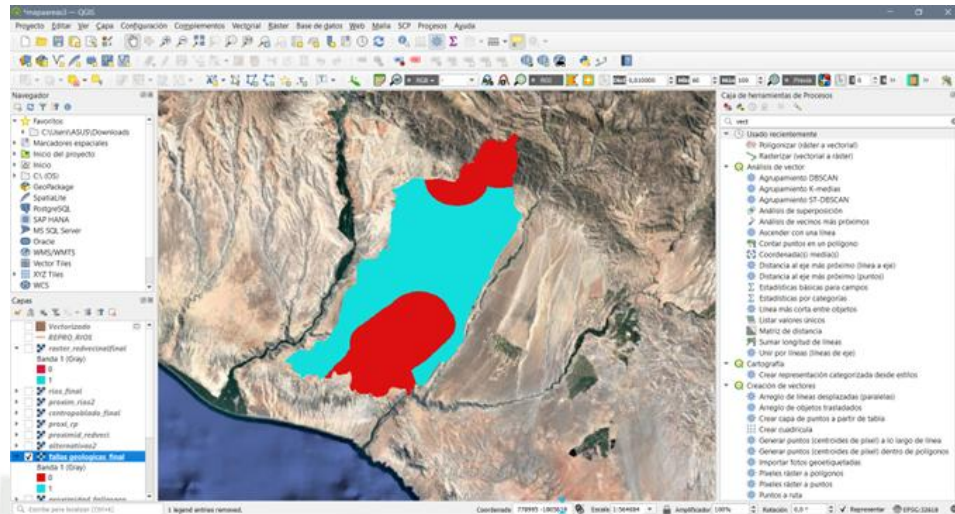


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

- **Fallas geológicas**

Se descargó el archivo shapefile (.shp) de fallas geológicas desde la plataforma GEOGPS y se incorporó al software QGIS. Posteriormente, la capa vectorial fue convertida a formato ráster mediante la herramienta “Rasterizar”. A continuación, se aplicó la herramienta “Proximidad” para generar un mapa de distancias respecto a las fallas geológicas, se procedió a reclasificar el ráster utilizando la herramienta “Reclasificar por tabla”, donde se definieron los rangos de idoneidad. Se consideró el valor “0”, a aquellas áreas “No aptas” (menores a 1000 m) las cuales no son consideradas para la instalación del relleno sanitario. Se consideró el valor “1”, a aquellas áreas “Óptimas” (mayores a 1000 m) las cuales son áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario (*Figura 14*).

Figura 14: Áreas óptimas y no aptas para la construcción de un relleno sanitario según presencia de fallas geológicas.

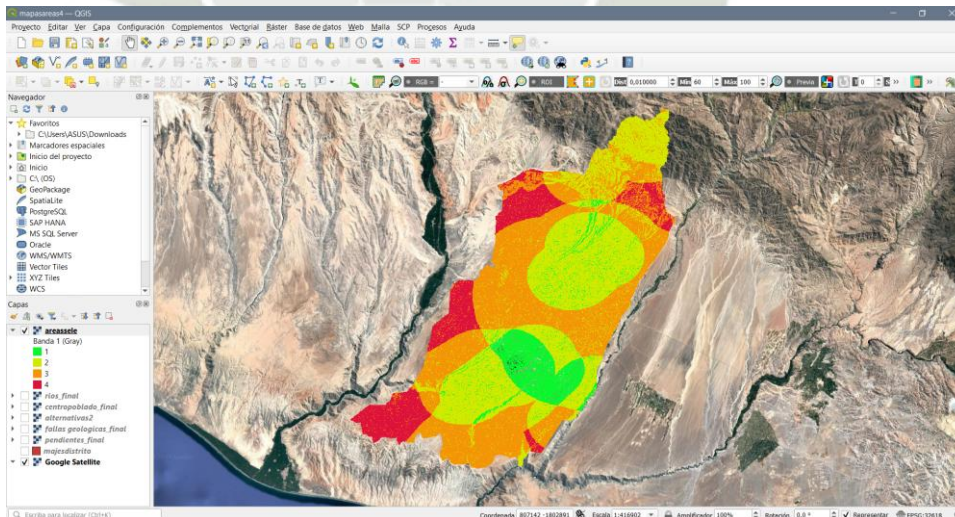


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

- **Superposición de criterios**

Finalmente, se efectuó una suma ponderada de los rásteres obtenidos para cada uno de los criterios previamente mencionados, utilizando la herramienta “Ráster Calculadora”. Como resultado, en la Figura 15 se identifican las zonas más adecuadas para la ubicación del relleno sanitario.

Figura 15: Áreas óptimas para la posible ubicación del relleno sanitario.

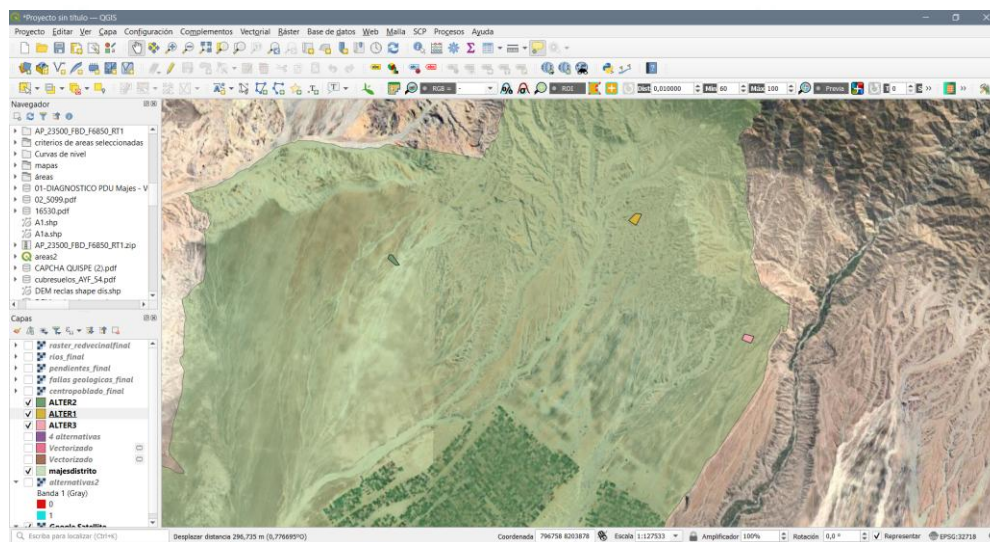


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

d) Alternativas preseleccionadas

Después de realizar la superposición de los criterios de evaluación, se identificaron las áreas que presentan condiciones favorables para el diseño del relleno sanitario, resultando tres zonas potencialmente aptas para su implementación (*Figura 16*).

Figura 16: Áreas óptimas para la construcción de un relleno sanitario.



Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

e) Evaluación de las tres alternativas preseleccionadas

La metodología se sustenta en lo establecido por la guía para el diseño y construcción de infraestructuras destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales. Para ello, se llevó a cabo una evaluación del área mediante la identificación de tres alternativas. Posteriormente, dichas alternativas fueron analizadas aplicando criterios específicos y una escala de valoración, asignando puntajes de 1 (regular), 3 (moderado) y 5 (bueno), según lo indicado por el MINAM (2019).

Tabla 2. Criterios de Calificación para la selección de área.

Ítem	Criterios de selección	DL N° 1278 y su reglamento DS N° 014 -2017	Puntaje (A)	
			Alt.1	Alt.2
1	Distancia a la Población más cercana (m)	> 500 m		

2	Distancia a granjas crianza de animales > 500 m (m)
3	Distancia a fuentes de agua > 500 m superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m)
4	Distancia a fallas geológicas > 500 m
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros)
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje > 13,000 m (m)
8	Área del terreno (m ²)
9	Vida útil Mínimo 10 años
10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)
11	Pendiente del terreno (Topografía)
12	Geología del suelo (permeabilidad)
13	Profundidad de la capa freática (m)
14	Posibilidad del material de cobertura
15	Cuenta con barrera sanitaria natural
16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km)
17	Uso actual del suelo y del área de influencia
18	Opinión Pública
19	Área natural protegida por el Estado
20	Área arqueológica
21	Propiedad del terreno

Nota. En esta tabla se puede apreciar los 21 criterios de calificación propuestos para la selección del área idónea (MINAM, 2019).

Tabla 3. Asignación de puntaje por peso ponderado para cada criterio de selección.

Ítem	Criterios de selección	PONDERADO (B)	CLASIFICACIÓN AXB		
			Alt.1	Alt.2	Alt.3
1	Distancia a la Población más cercana (m)	6			
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	6			
3	Distancia a fuentes de agua superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m)	6			
4	Distancia a fallas geológicas	6			
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)	6			
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros)	5			
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	5			
8	Área del terreno (m ²)	5			
9	Vida útil	5			
10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)	4			
11	Pendiente del terreno (Topografía)	3			
12	Geología del suelo (permeabilidad)	4			
13	Profundidad de la capa freática (m)	4			
14	Posibilidad del material de cobertura	3			
15	Cuenta con barrera sanitaria natural	4			

16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km)	4
17	Uso actual del suelo y del área de influencia	4
18	Opinión Pública	5
19	Área natural protegida por el Estado	5
20	Área arqueológica	5
21	Propiedad del terreno	5

Nota. En esta tabla se puede apreciar los 21 criterios de calificación propuestos para la selección del área idónea con su peso ponderado (MINAM, 2019).

Finalmente, a partir de la suma de los puntajes asignados a cada criterio se determina el valor total correspondiente a cada alternativa. La opción seleccionada será aquella que obtenga la calificación más alta y que, además, se encuentre dentro del rango considerado como aceptable o aceptable en primera opción, según lo establecido en la tabla correspondiente (MINAM, 2019).

Tabla 4. Rangos de Calificación para la selección de área.

Puntaje ponderado total	Calificación
0 – 195	Terreno no aceptable - Regular
195-355	Terreno aceptable - Moderado
355 a más	Terreno aceptable de primera opción - Bueno

Nota. En esta tabla se puede apreciar los 3 rangos de calificación propuestos para la selección del área idónea (MINAM, 2019).

3.8.3. Aspectos técnicos - administrativos para el diseño del relleno sanitario.

La metodología aplicada se sustenta en las directrices establecidas en la guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios Mecanizados, así como en la guía destinada al diseño y construcción de infraestructuras para la disposición final de residuos sólidos municipales.

a) Selección del método

La selección del método se determina principalmente por la topografía del lugar; tipo de suelo y profundidad del nivel freático (MINAM, 2011).

b) Proyección de la generación de residuos sólidos

Para determinar la cantidad de residuos que serán depositados en el relleno sanitario, es indispensable contar con datos demográficos actualizados, como el total de habitantes y la tasa de crecimiento poblacional, además de la generación per cápita diaria de residuos por persona (MINAM, 2011).

- **Tasa de crecimiento poblacional anual:** La tasa de crecimiento poblacional se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$r = (P_t / P_o)^{1/t} - 1$$

Donde:

P_t: Población censada del último censo (2017).

P_o: Población censada en el año 2007.

t: variable tiempo (en años)

- **Crecimiento poblacional:** El crecimiento poblacional se determinó a través de métodos matemáticos, según la siguiente fórmula:

$$P_f = P_o (1 + r)^n$$

Donde:

P_f: Población futura

P_o: Población actual

r: Tasa de crecimiento de la población

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

t: variable tiempo (en años)

- **Proyección de la producción per cápita de los residuos sólidos:** Se estima la generación per cápita proyectada para cada año aplicando un incremento anual que varía entre 0.5 % y 1 %. En este proyecto se decidió utilizar un aumento del 1 % por año en la generación per cápita. Se aplica la siguiente fórmula:

$$PGPC1 = GPC0 + 1 \%$$

Donde:

GPC1: Proyección de la generación per-cápita

GPC0: Generación per-cápita 0

- **Proyección de la capacidad de generación diaria y anual de los residuos sólidos:** El cálculo de la capacidad diaria de generación de residuos sólidos se efectuó considerando el número de habitantes y la generación per cápita correspondiente a cada año, tal como se detalla a continuación.

$$\text{Capacidad diaria (kg/día)} = \text{Población (habitantes)} * \text{GPC (kg/hab/día)}$$

Para obtener la capacidad anual de los residuos sólidos, el resultado de la capacidad diaria se multiplica por 365 días.

c) Volumen de los residuos sólidos en el relleno sanitario

- **Volumen diario y anual de los residuos sólidos a disponer:** El volumen diario se determina a partir de la producción diaria de residuos y su densidad. Por su parte, el volumen anual se obtiene multiplicando dicho volumen diario por 365 días, para cada uno de los años que comprende la vida útil del relleno sanitario.
- **Volumen de material de cobertura:** Para calcular el volumen del material de cobertura, se utiliza el volumen anual de residuos destinados a disposición final y se multiplica por el factor correspondiente de cobertura.
- **Volumen total del relleno sanitario:** Se determina sumando el volumen de los residuos y el del material de cobertura, con el fin de calcular el volumen total que será ocupado a lo largo de la vida útil del relleno sanitario.

d) Área requerida para el relleno sanitario

- **Área parcial:** El área necesaria se obtiene dividiendo el volumen total del relleno sanitario entre la altura prevista para su construcción.

$$A_{rs} = \frac{V_{rs}}{H_{rs}}$$

Donde:

A_{rs} : Área del relleno sanitario (m^2).

V_{rs} : Volumen de relleno sanitario ($m^3/año$).

H_{rs} : Altura o profundidad media del relleno sanitario (m).

Donde la altura del relleno sanitario semimecanizado es de 10 m.

- **Área total:** El cálculo del área total se realiza aplicando un factor de incremento que incluye las áreas administrativas, tales como vías de acceso, zona de asentamiento, garita o portería, instalaciones sanitarias, entre otros. Este factor se considera generalmente entre el 20 % y el 40 % del área destinada al relleno sanitario.

e) Vida útil

La vida útil de un relleno sanitario se define como el tiempo, medido en años, durante el cual el área destinada a la disposición final de residuos sólidos puede ser utilizada. Este período depende de factores como el volumen disponible, la cantidad de residuos a depositar y el tipo de método de operación que se emplee.

f) Volumen de recepción de las trincheras y plataformas

- **Volumen y dimensión de la trinchera:** El cálculo del volumen y dimensión de la zanja se realizó mediante el método de áreas promedio y alturas (Tabla 5)

Tabla 5: Cálculo para la dimensión y volumen de la trinchera.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>
<i>Largo superior (ls)</i>	m
<i>Ancho superior (as)</i>	m
<i>Área superior (As) = ls*as</i>	m ²
<i>Altura (h)</i>	m
<i>Talud de la trinchera (H)</i>	
<i>Talud de la trinchera (V)</i>	
<i>Largo inferior (li)=ls-2*(h)(H)</i>	m
<i>Ancho inferior (ai)=as-2*(h)(V)</i>	m
<i>Área inferior (Ai)=li*ai</i>	m ²
<i>Volumen útil disponible (VUD)=</i> <i>1/3*h(li*ai+ls*as+√((li*ai*ls*li))</i>	m ³

- **Volumen y dimensión de la plataforma:** El cálculo del volumen y dimensión de la plataforma se realizó mediante el método de áreas.

$$VUD=L*A*H$$

Donde:

VUD: Volumen útil disponible

L: largo

A: ancho

H: altura

- **Volumen y dimensión de las celdas diarias:** Para calcular el volumen y las dimensiones de la celda, se requiere conocer la cantidad de residuos a disponer y la densidad inicial promedio de los residuos, información obtenida del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes. A continuación, el volumen necesario de la celda se determina dividiendo la cantidad promedio de residuos sólidos a depositar entre la densidad inicial promedio. La altura promedio de las capas de residuos utilizadas para la disposición final se establece según el tipo de relleno sanitario; en este caso, se ha considerado una altura de 2.50 m. La superficie promedio demandada será el resultado de dividir el volumen de celda requerido entre la altura promedio de la capa de residuos. La longitud del frente de descarga será de 15 m. La longitud de avance transversal será el resultado de dividir la superficie promedio requerida entre la longitud del frente de descarga.

g) Generación de lixiviados

- **Cálculo del caudal de generación de lixiviados:** Se utilizó el método suizo (Jaramillo, 2004) para poder calcular el caudal medio del lixiviado.

$$Q = \frac{P \times A \times K}{t}$$

Donde:

Q: caudal medio de lixiviado (l/seg)

P: precipitación media anual (mm/año)

A: área superficial del relleno (m²)

t: número de segundos en un año (31536000 seg/año)

K: coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

En rellenos sanitarios con densidades de residuos comprendidas entre 0.4 y 0.7 ton/m³, se proyecta que la producción de lixiviados represente entre el 25 % y el 50 % (K = 0.25 a 0.50) de la precipitación media anual del área del relleno.

Por otro lado, en rellenos con densidades superiores a 0.7 ton/m³, se estima que la generación de lixiviados corresponda entre el 15 % y el 25 % (K = 0.15 a 0.25) de la precipitación media anual del sitio.

- **Dimensionamiento de la poza de lixiviados:** Para el diseño de la poza de lixiviados, se llevó a cabo el cálculo considerando una recirculación periódica cada 3 meses, siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación

$$V = Q \times 30 \times N^{\circ} \text{ de meses}$$

Donde:

V: Volumen

Q: Caudal medio de lixiviado (l/seg)

3.8.4. Estrategias de compensación ambiental de infraestructura natural.

Se revisa información secundaria y se analiza las especies florísticas, arbóreas, arbustivas del lugar que contribuyan a la absorción de dióxido de carbono y compensación ambiental de los gases emitidos por los residuos sólidos. Asimismo, se evalúan las características del suelo y los parámetros meteorológicos presentes en nuestra zona de estudio (Moreira & Patiño, 2021). Estas especies deben cumplir con las siguientes características:

- Su calidad de sistema radicular vertical que ayudan a no destruir el suelo y las construcciones o instalaciones que pudieran estar dentro del área de siembra
- Tamaño y crecimiento rápido.
- Mantenimiento de equilibrio ecológico.
- Aporte y enriquecimiento de nutrientes al suelo.
- Absorción de dióxido de carbono (CO₂).
- Contribución a evitar la erosión hídrica y eólica.
- Tolerantes a la calidad del suelo existente.

- Resistentes a las altas temperaturas y plagas.
- Delimitar espacios.

Seguidamente se seleccionan las especies más adaptables al entorno. Posteriormente se establece el procedimiento de preparación del terreno, el distanciamiento de la plantación, método de plantación y la siembra de la plantación (Medina, 2019; Chacón, 2024). Finalmente, se plantea la ejecución de actividades de seguimiento y monitoreo como el control de la siembra, germinación y mantenimiento de las especies sembradas (Moreira & Patiño, 2021).





CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

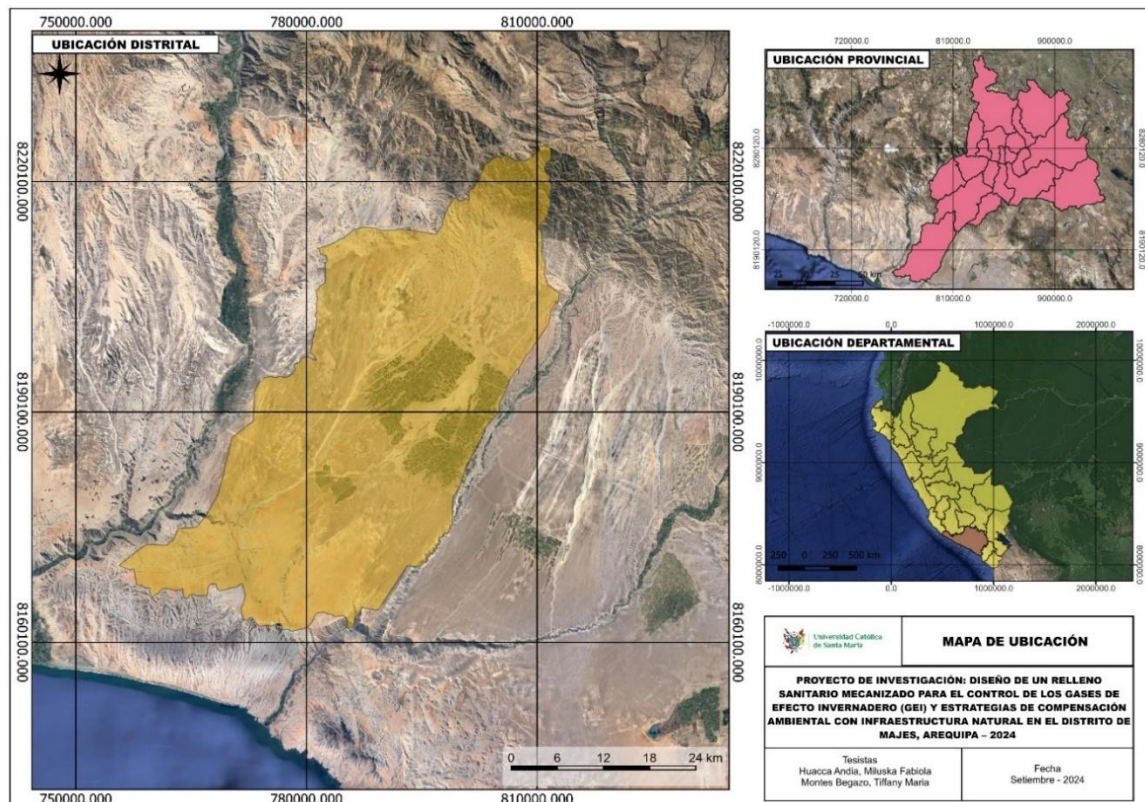
4.1. Ubicación del área de estudio

A. Ubicación geográfica

El presente proyecto de investigación está ubicado:

- Distrito de Majes
- Provincia: Caylloma
- Departamento: Arequipa

Figura 17: Ubicación del distrito de Majes.

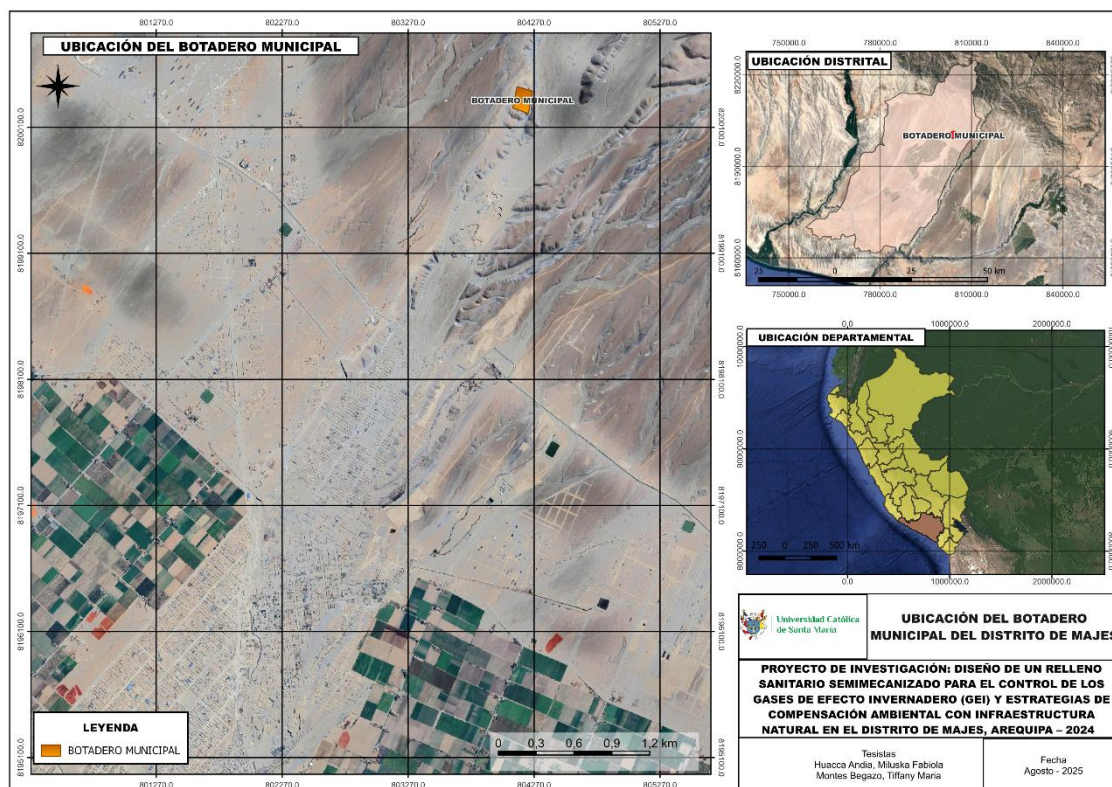


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia

La gestión de los residuos sólidos domiciliarios está a cargo de la municipalidad distrital de Majes. El servicio consiste en realizar la limpieza pública; segregación, recolección selectiva y reaprovechamiento donde se viene realizando el programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos inorgánicos además del programa de valorización de residuos sólidos municipales; recolección y transporte; y por último su disposición final en el botadero Municipal ubicado en la parte Noreste de la zona urbana.

Este botadero a cielo abierto es propiedad de la Municipalidad Distrital de Majes. Sin embargo, no ha sido técnicamente evaluado como una zona adecuada para la disposición final de residuos sólidos domiciliarios, ya que carece de los requisitos necesarios, como una selección apropiada del área y la infraestructura adecuada para disponer los residuos de manera segura y ambientalmente responsable (Figura 18).

Figura 18: Ubicación del botadero municipal en el distrito de Majes.



Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia

B. Demografía

- Población

Según la información reportada en el Censo Nacional 2017, el distrito de Majes presenta una población total de 60 108 habitantes, con una distribución por sexo equilibrada: 50.2% femenino y 49.8% masculino. En términos de localización espacial, el 83.7% de la población se encuentra concentrada en el área urbana, mientras que el 16.4% restante se ubica en el ámbito rural, evidenciando una marcada urbanización del territorio (INEI, 2017) (Tabla 6).

Tabla 6: Población urbana y rural.

Área concepto censal	Sexo				Total	%
	Hombre	%	Mujer	%		
Urbano censal	24 838	41.3%	25 494	42.4%	50 332	83.7%
Rural censal	5 112	8.5%	4 664	7.8%	9 776	16.3%
Total	29 950	49.8%	30 158	50.2%	60 108	100%

Nota. INEI (2017).

Respecto a la estructura poblacional por ciclo de vida, los datos censales indican una predominancia de población en edad adulta. El 22.8% corresponde a adultos jóvenes, seguido por un 21.1% de población joven y un 14% de adultos. En contraste, el grupo etario de adultos mayores representa la menor proporción dentro de la estructura demográfica, con un 8.1% del total poblacional (INEI, 2017) (Tabla 7).

Tabla 7: Población según ciclo de vida.

Población según ciclo de vida	Sexo				Total	%
	Hombre	%	Mujer	%		
Primera infancia (0 - 5 años)	3 577	6.0%	3 508	5.8%	7 085	11.8%
Niñez (6 - 11 años)	3 519	5.9%	3 396	5.6%	6 915	11.5%
Adolescencia (12 - 17 años)	3 268	5.4%	3 126	5.2%	6 394	10.6%
Jóvenes (18 - 29 años)	6 023	10.0%	6 634	11.0%	12 657	21.1%
Adultos/as jóvenes (30 - 44 años)	6 646	11.1%	7 088	11.8%	13 734	22.8%
Adultos/as (45 - 59 años)	4 265	7.1%	4 168	6.9%	8 433	14.0%
Adultos/as mayores (60 y más años)	2 652	4.4%	2 238	3.7%	4 890	8.1%
Total	29 950	49.8%	30 158	50.2%	60 108	100.0%

Nota. INEI (2017).

- Migración

En cuanto a la residencia en Majes, de acuerdo a los Censos Nacionales de 2017, el 75.4% de la población señala que lleva más de 5 años en el distrito de manera estable, mientras que un 14.7% señala que recién se asentó en el lugar en los últimos 5 años previos al censo, denotando que existe un flujo migratorio significativo que atrae población a Majes. Respecto al distrito de origen de la población migrante, se encuentra que esta proviene principalmente de la misma región Arequipa, de distritos de la provincia de Arequipa, como Cerro Colorado, Arequipa y Paucarpata, aunque también se encuentra un porcentaje de migrantes de distritos de las regiones Puno y Cusco, como Juliaca y Espinar (INEI, 2017).

C. Actividades económicas

- Población económicamente activa

La población del Distrito de Majes en su mayoría son trabajadores agrícolas en sus dos modalidades: los propietarios o agricultores y los que se desempeñan como peón agrícola, trabajadores de pequeñas industrias manufactureras y en actividades comerciales y de servicios; recientemente se viene impulsando la actividad agroindustrial y agroexportadora. El crecimiento poblacional en los últimos cinco años ha determinado que los niveles de empleo se hayan incrementado, permitiendo que el distrito de Majes se constituya en un espacio de desarrollo alternativo, respecto a la Región Sur que irá en aumento conforme se consolide la agricultura de exportación. Respecto a las características de la actividad económica del distrito, de acuerdo a Los Censos Nacionales de 2017, el 42.5% de la PEA de Majes se adscribe al desarrollo de actividades productivas primarias, las cuales son del ámbito agrícola (sembríos estacionarios y permanentes) y pecuario (ganado vacuno), donde la población se ocupa mayormente en calidad de obreros (27.7%) aunque con un porcentaje significativo de productores independientes (10.9%). Por otra parte, la segunda actividad más representativa es el comercio, el cual representa el 18.3%, donde el 11.7% de la PEA trabaja de manera independiente, denotando la predominancia de emprendimientos o negocios personales o familiares. Mientras que en tercer lugar se encuentra las actividades de transporte y almacenamiento con 7.8%, donde un 4.3% se ocupa de manera independiente, sea como transportistas públicos o prestando servicios de transporte de carga. En contraparte, se encuentra que la actividad menos desarrollada corresponde a la actividad de suministro de energías como electricidad, combustible o gas; con apenas 8 casos registrados con 1 trabajador independiente, 2 empleados y 5 obreros (INEI, 2017).

D. Fisiografía y geomorfología

La unidad geomorfológica característica de la zona de estudio es la Penillanura costanera correspondiente a terrenos llanos a suavemente ondulados, casi horizontales o levemente inclinados hacia el oeste. A estos terrenos se les conoce como pampas, las cuales se encuentran disectadas por quebradas secas, anchas, de fondo plano y poco profundas (FloSolutions S.A.C., 2019). Según el análisis estadístico de la ocurrencia de movimientos en masa realizado por Luque

et. al., 2019, el tipo más común de movimiento en masa de la región Arequipa son los Flujos de detritos: Comúnmente conocidos como “huaicos”, debido a la configuración del relieve en el territorio, constituido por altas montañas, vertientes pronunciadas, estribaciones occidentales sumamente áridas con rocas y suelos deleznable o susceptibles de remoción con aguas de lluvia.

E. Geología

En gran parte de la pampa de Majes, a lo largo del corte de la Carretera Panamericana, afloran depósitos antiguos del Pleistoceno que conforman la secuencia sedimentaria conocida como Conglomerado Aluvial Pleistoceno. Esta está compuesta por un conglomerado ligeramente consolidado, integrado por elementos de composición y tamaño muy diversos, organizados en bancos gruesos de orientación subhorizontal o con una ligera inclinación hacia el suroeste. Los depósitos no consolidados corresponden a materiales acumulados por acción del agua y el viento. De este modo, los aluviones se encuentran en los lechos de las quebradas Molles y Hospicio, formados por bloques de tamaños que van de gruesos a finos. Las zonas que ocupa el proyecto están constituidas por areniscas de color gris amarillento, con la presencia de canales de conglomerados polimícticos (ECO SOLUTIONS S.A.C., 2019).

F. Suelo

Los suelos de las pampas de Majes son poco desarrollados, pobres en materia orgánica, de textura gruesa, con alto porcentaje de ceniza volcánica, son tierras que ofrecen posibilidades para su utilización en irrigación con tecnologías apropiadas. Los suelos donde se ubican los centros poblados del distrito de Majes y sus áreas de expansión urbana presentan características franco arenosos en superficie y materiales gravosos de dimensiones medias en profundidad. En la zona predomina un conglomerado de formaciones aluviales compuestas de capas de arenas, gravas, gravillas, guijarros; con escasa cantidad de arcilla y limo; esto define el suelo como muy permeable y de drenaje pobre (Municipalidad Distrital de Majes, 2013).

G. Hidrografía

El distrito de Majes se enmarca en la subcuenca SC-41 perteneciente a la cuenca Camaná – Majes – Colca (UH 134) quien tiene un área de 17 049,00 km², cuyo río principal tiene una longitud de 394 km, considerado uno de los más largos de la costa peruana. Las fuentes de agua superficial que presenta el distrito son las

quebradas secas Hospicio, Molles y Carachosa. Según el inventario de manantiales, bofedales, arroyos, lagos y efluentes no se ha identificado fuentes de agua de ningún tipo (ECO SOLUTIONS S.A.C., 2019).

H. Meteorología y climatología

El departamento de Arequipa se ubica en la vertiente sur-occidental de los Andes del Perú, presentando un litoral desértico influenciado principalmente por los sistemas atmosféricos de la Costa que propician en esta zona la presencia de formaciones de lomas. Hacia el este se configuran valles escarpados en dirección a las cabeceras de los ríos, cañones y volcanes (SENAMHI, 2021). A lo largo de su litoral y por debajo de los 2 000 m.s.n.m., predomina el clima E(d)B', árido, templado y con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año comprendiendo a las provincias de Camaná, Islay, gran parte de Caravelí y las partes bajas del resto de las provincias.

I. Flora

En el área de estudio se encuentran algunas especies como herbáceas y cetáceas.

J. Fauna

En el área de estudio se encuentran las siguientes especies:

- Gallinazo de cabeza roja
- Cernícalo americano
- Aves silvestres
- Insectos
- Artrópodos
- Rata común
- Ratón orejón de Lima
- Lagartijas
- Culebras

4.2. Diagnóstico del estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales.

El estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes, realizado por la municipalidad en 2021, se empleó para analizar parámetros como la generación per cápita, densidad, composición y contenido de humedad de los residuos sólidos domiciliarios, los cuales constituyen información fundamental para el diseño del relleno sanitario.

A. Generación Total y per cápita

En *Tabla 8* se puede observar los resultados de la generación total y generación per cápita de los residuos sólidos municipales; la generación total municipal es de 30504.52 kg/día, y la generación per cápita de residuos sólidos (GPC) es de 0.4288 kg/hab/día.

Tabla 8. Generación total y generación per cápita del distrito de Majes.

Población distrito de Majes (2021)	GPC Domiciliaria (kg/hab/día)	Generación domiciliaria (kg/día)	Generación no domiciliaria (kg/día)	Generación Municipal (kg/día)	GPC (kg/hab/día)
71133	0,4192	29817,5167	687,0099	30504,5266	0,4288

Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

El valor de generación per cápita obtenido (0,4288 kg/hab·día) se encuentra relativamente por debajo del promedio reportado para el continente de América Latina, el cual presenta un 0.99 kg/hab·día, esto según el informe de What a Waste 2.0 del Banco Mundial en el 2018 (Kaza et al., 2018), esta afirmación se complementa por estimaciones dadas por BID (2019) y la CEPAL (2021). Esta afirmación nos presenta que el distrito de Majes posee una dinámica de generación per cápita moderada, lo que tiene sentido debido a que es una ciudad en transición hacia una urbanización. La mayoría de las ciudades de la región presentan niveles cercanos a 1 kg/hab·día, lo que aumenta la presión sobre sus sistemas de recolección y disposición (Kaza et al., 2018; CEPAL, 2021). Bajo este contexto el distrito de Majes mantiene una ventaja estratégica al encontrarse aún

en un escenario manejable, para lo cual se debe de tomar medidas preventivas y de valorización antes de que el crecimiento poblacional.

B. Densidad de los residuos sólidos municipales

La determinación de la densidad de los residuos sólidos permite relacionar la masa (en kilogramos) con el volumen que ocupan (en metros cúbicos), siendo un dato clave para el correcto dimensionamiento de un relleno sanitario. Según el estudio de caracterización realizado en el distrito de Majes, la densidad promedio de los residuos sólidos domiciliarios fue de 618,86 kg/m³, mientras que la de los residuos sólidos no domiciliarios alcanzó los 644,33 kg/m³.

Para esta medición, se utilizó un cilindro de 0.98 m de altura y 0.59 m de diámetro. El procedimiento consistió en seleccionar bolsas provenientes de una única fuente de generación, cuyo contenido fue vaciado dentro del cilindro. Una vez lleno, el cilindro se levantó aproximadamente 20 cm sobre la superficie y se dejó caer tres veces, con el fin de compactar el material y reducir los vacíos. Posteriormente, se midió la altura de los residuos sólidos en el cilindro, registrando también la altura libre (sin residuos) para calcular el volumen real ocupado. La densidad se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad (S)} = \frac{W}{V_r} = \frac{W}{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * (H_f - H_o)}$$

Donde:

S: Densidad de los residuos sólidos (kg/m³) = 618,86 kg/m³

W: Peso de los residuos sólidos

V_r: Volumen del residuo sólido

D: Diámetro del cilindro

H_f : Altura total del cilindro

H_o : Altura libre del cilindro

π: Constante (3.1416)

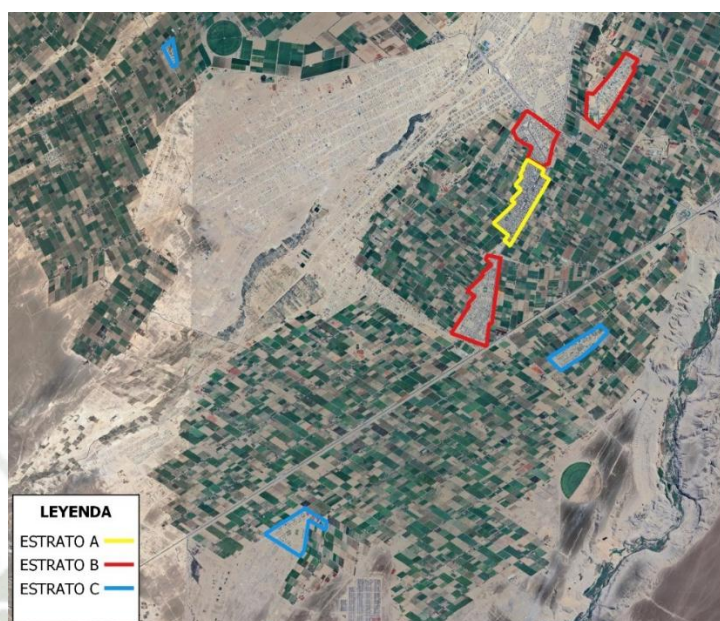
Las densidades obtenidas $618,86 \text{ kg/m}^3$ para residuos domiciliarios y $644,33 \text{ kg/m}^3$ para no domiciliarios son adecuadas para estimar el volumen y la capacidad requerida en el diseño del relleno sanitario semimecanizado. La literatura técnica señala que la densidad depende de la composición física, el contenido de humedad y el grado de compactación. Estudios publicados por Waste Management resaltan que una fracción orgánica alta reduce la densidad por su mayor humedad y volumen de vacíos (Gómez et al., 2023). En ese sentido, los valores encontrados en Majes reflejan un material con alta proporción de orgánicos y compactación intermedia, lo que concuerda con su carácter agroindustrial y el procedimiento de medición mediante cilindro de volumen conocido.

C. Composición física de los residuos sólidos domiciliarios

La composición física de los residuos sólidos domiciliarios se analizó para cada estrato, considerando el número de viviendas. En este caso, se tomaron tres estratos: A, B y C (*Figura 19*).

- El estrato A está conformado por el centro poblado de Pedregal Centro
- El estrato B está conformado por los centros poblados de Pedregal Norte, Pedregal Sur y la Colina
- El estrato C está conformado por los centros poblados de Juan Velasco Alvarado, Bello Horizonte y San Juan el Alto.

Figura 19: Zonificación del muestreo domiciliario.



Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

En la *Tabla 9* se puede observar la cantidad y porcentaje de los tipos de residuos sólidos que se encontraron en el Estrato A.

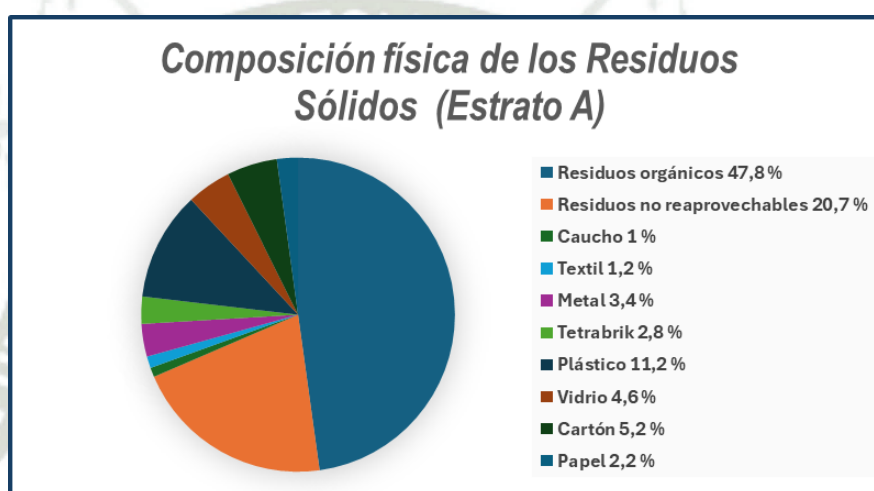
Tabla 9. Composición física de residuos sólidos del Estrato A.

Tipo de residuos sólidos (Estrato A)	Peso (kg)	%
Residuos orgánicos	59,72	47,8
Residuos no reaprovechables	25,9	20,7
Caucho	1,2	1,0
Textil	1,5	1,2
Metal	4,2	3,4
Tetrabrik	3,5	2,8
Plástico	14	11,2
Vidrio	5,7	4,6
Cartón	6,5	5,2
Papel	2,71	2,2
Total	124,93	100,0

Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

En la *Figura 20* se puede apreciar el gráfico de los porcentajes de la composición física de los residuos sólidos municipales que se encontraron en el estrato A, de este grafico se puede determinar que el tipo de residuos sólidos que presenta mayor porcentaje son los residuos orgánicos con un 47.8%, lo cual es importante resaltar ya que se puede realizar actividades de compostaje y valorización para su aprovechamiento; y el tipo de residuo solidos con menor presencia es el caucho con un porcentaje de 1.

Figura 20: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos municipales (Estrato A) del distrito de Majes.



Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

En la *Tabla 10* se puede observar la cantidad y porcentaje de los tipos de residuos sólidos que se encontraron en el Estrato B.

Tabla 10. Composición física de residuos sólidos del Estrato B.

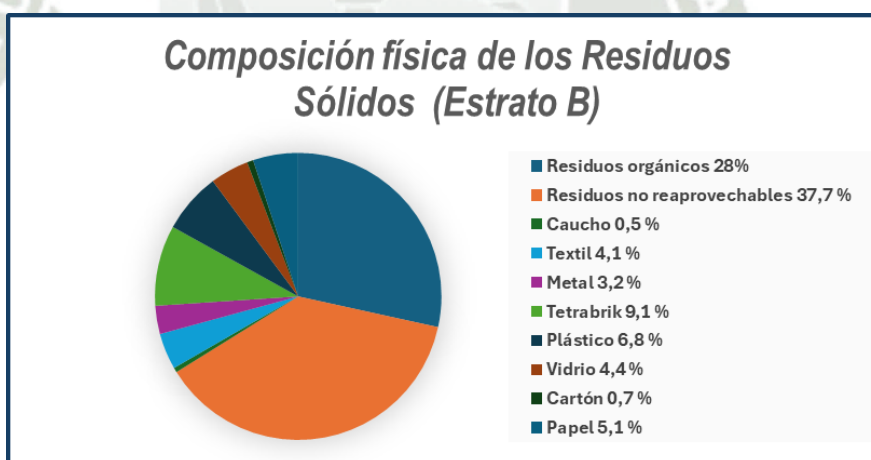
Tipo de residuos sólidos (Estrato B)	Peso (kg)	%
Residuos orgánicos	313,25	28,4
Residuos no reaprovechables	415,66	37,7
Caucho	5,8	0,5
Textil	45	4,1
Metal	35	3,2
Tetrabrik	100	9,1
Plástico	75	6,8

Vidrio	48	4,4
Cartón	7,8	0,7
Papel	56,1	5,1
Total	1101,6	100,0

Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

En la *Figura 21* se puede apreciar el gráfico de los porcentajes de la composición física de los residuos sólidos municipales que se encontraron en el estrato B, de este gráfico se puede determinar que el tipo de residuos sólidos que presenta mayor porcentaje son los residuos no aprovechables con un valor de 37.7%; los residuos orgánicos presentan un valor de 28% y el tipo de residuo sólidos con menor presencia es el caucho con un valor de 0.5%

Figura 21: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos municipales (Estrato B) del distrito de Majes



Nota: «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

En la *Tabla 11* se puede observar la cantidad y porcentaje de los tipos de residuos sólidos que se encontraron en el Estrato C.

Tabla 11. Composición física de residuos sólidos del Estrato C.

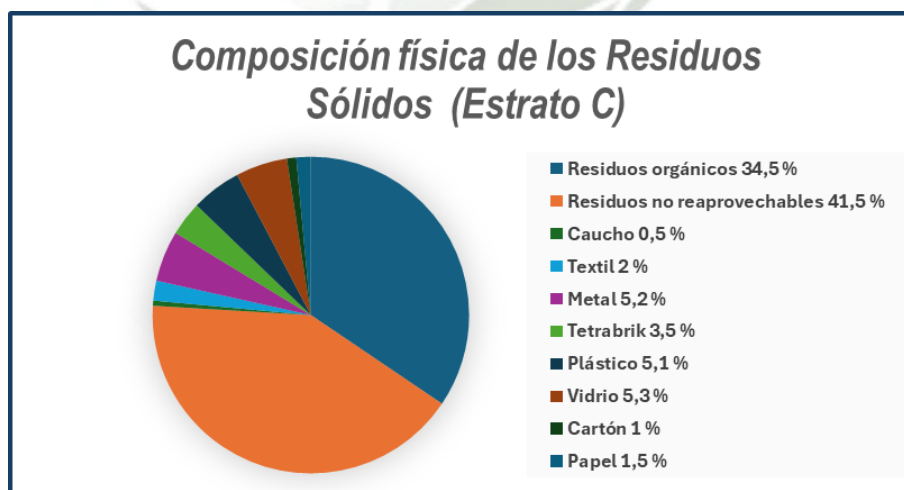
Tipo de residuos sólidos (Estrato C)	Peso (kg)	%
Residuos orgánicos	79,56	34,5

Residuos no reaprovechables	95,78	41,5
Caucho	1,2	0,5
Textil	4,7	2,0
Metal	12	5,2
Tetrabrik	8,05	3,5
Plástico	11,8	5,1
Vidrio	12,2	5,3
Cartón	2,2	1,0
Papel	3,4	1,5
Total	230,89	100,0

Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

En la *Figura 22* se puede apreciar el gráfico de los porcentajes de la composición física de los residuos sólidos municipales que se encontraron en el estrato C, de este gráfico se puede determinar que el tipo de residuos sólidos que presenta mayor porcentaje son los residuos no aprovechables con un valor de 41.5%; los residuos orgánicos presentan un valor de 34.5% y el tipo de residuo sólidos con menor presencia es el caucho con un valor de 0.5%.

Figura 22: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos municipales (Estrato C) del distrito de Majes.



Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

La alta proporción de residuos orgánicos en el estrato A (47,8 %) que se encontró en el distrito de Majes, coincide con lo observado en zonas rurales y semiurbanas del Perú, en donde los desechos de alimentos y los restos vegetales siguen siendo predominantes (Bartra Huanaquiri, 2023). Cabe mencionar que el distrito de Majes es una zona en donde se realiza en gran magnitud la agricultura.

En este sentido, el comportamiento del estrato A en Majes no solo es coherente, sino esperado dentro de este tipo de contextos. En contraste, los estratos B y C muestran una menor proporción de materia orgánica, un patrón que podría explicarse por diferencias socioeconómicas, hábitos de consumo más urbanos o una mayor presencia de residuos vinculados a actividades comerciales donde la segregación suele ser limitada.

D. Composición física de los residuos sólidos no domiciliarios

En la *Tabla 12* se puede observar los índices de la composición física de los residuos no domiciliarios de procedencia de los establecimientos comerciales, hoteles, mercados, restaurantes, instituciones públicas y privadas, especiales, instituciones educativas y del barrido público. Sin embargo, es importante mencionar que durante el año donde se realizó el estudio de caracterización del distrito de Majes, las labores educativas fueron suspendidas por medio del DECRETO SUPREMO 44-2020-PCM, por motivo de la cuarentena por COVID-19 y por ende no se tomaron muestras en las instituciones educativas.

Tabla 12. Composición física de los residuos no domiciliarios.

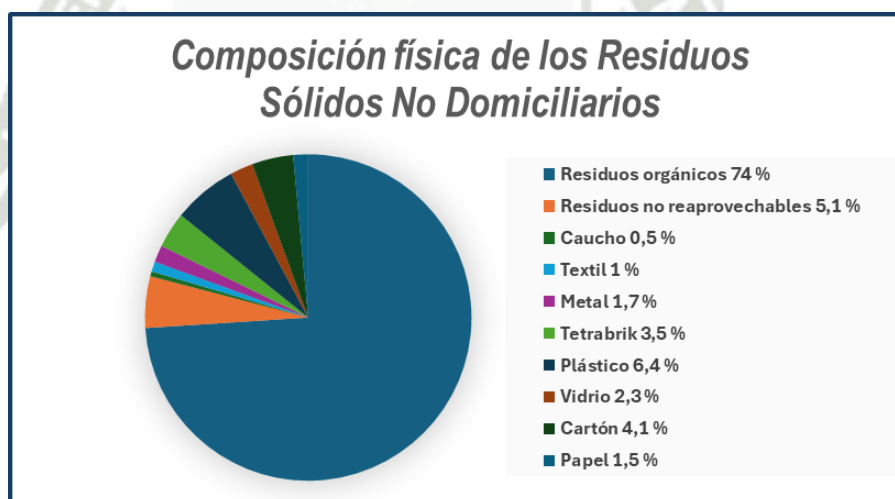
Tipo de residuos sólidos	Peso (kg)	%
Residuos orgánicos	185,49	74,0
Residuos no reaprovechables	12,8	5,1
Caucho	1,2	0,5
Textil	2,5	1,0
Metal	4,2	1,7
Tetrabrik	8,9	3,5
Plástico	16	6,4

Vidrio	5,7	2,3
Cartón	10,25	4,1
Papel	3,71	1,5
Total	250,75	100,0

Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

En la *Figura 23* se puede observar el gráfico con los porcentajes de la composición física de los residuos no domiciliarios, el tipo de residuo sólido que más predomina son los residuos orgánicos con un valor de 74% esto se puede deber a la procedencia de estos residuos en mercados y restaurantes, los cuales generan gran cantidad de desechos orgánicos.

Figura 23: Gráfico de la composición física de los residuos sólidos no domiciliarios del distrito de Majes.



Nota. «Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes - 2021».

La fracción orgánica del 74 % en los residuos no domiciliarios es considerablemente alta, pero totalmente coherente con el tipo de generadores presentes en el distrito, como son los mercados, restaurantes y hoteles. A nivel nacional, la fracción orgánica promedio rondaba el 53 % en 2018 (Defensoría del Pueblo, 2019), por lo que el valor encontrado en Majes es relativamente alto, lo que indica que los residuos no domiciliarios tienen un potencial real para ser aprovechados mediante compostaje o digestión anaerobia, las cuales son algunas de las estrategias que podrían reducir la cantidad de residuos orgánicos que terminan llegando a la disposición final.

E. Análisis de la generación de residuos sólidos desde el año 2022 al año 2024

El análisis de la generación de residuos sólidos municipales para el periodo 2022–2024 se ha elaborado considerando que el estudio de caracterización más reciente corresponde al año 2021 y, hasta la fecha, no ha sido actualizado por la entidad competente. Aunque dicho estudio aún se encuentra dentro del periodo de vigencia establecido por la normativa nacional que indica su actualización cada cinco años, su antigüedad representa una limitación en términos de precisión, especialmente considerando el crecimiento poblacional y los cambios en los hábitos de consumo que podrían haber modificado la cantidad y composición de los residuos sólidos generados.

En ese contexto, se han utilizado los datos del 2021 como referencia técnica y se han calculado valores proyectados para los años 2022, 2023 y 2024. Estos cálculos se realizaron considerando la generación per cápita determinada en el estudio del 2021 y aplicando tasas de crecimiento poblacional estimadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), con el fin de aproximar el volumen total de residuos sólidos generados en los años posteriores.

Si bien esta aproximación no reemplaza la necesidad de una nueva caracterización, proporciona una base técnica válida para la estimación de la demanda futura y el dimensionamiento de la infraestructura del relleno sanitario, así como para prever su capacidad operativa y vida útil.

Tabla 13: Densidad poblacional del distrito de Majes (2022 – 2024).

AÑO	POBLACIÓN DEL DISTRITO (Habitantes)
2022	74191.44
2023	77381.68
2024	80709.09

La *Tabla 13* muestra la evolución de la población del distrito de Majes durante el periodo 2022–2024, evidenciándose un crecimiento sostenido. En dicho intervalo, la población aumentó en 7,517.65 habitantes, al pasar de 74,191.44 en el año 2022 a 80,709.09 en 2024.

Este comportamiento demográfico responde a una tendencia ascendente, posiblemente impulsada por factores como el crecimiento vegetativo y, de manera más

significativa, la migración interna hacia el distrito, en respuesta a su desarrollo agroindustrial, disponibilidad de servicios y oportunidades laborales en expansión (Figura 24).

Figura 24: Gráfico de la densidad poblacional del distrito (2022-2024).

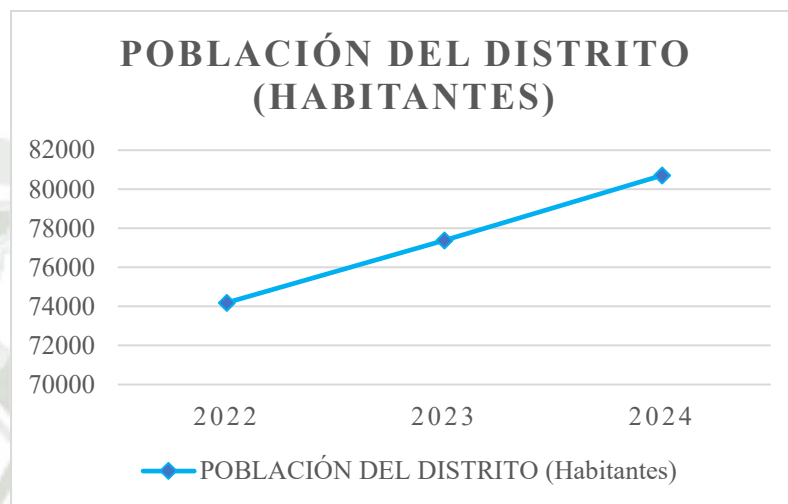


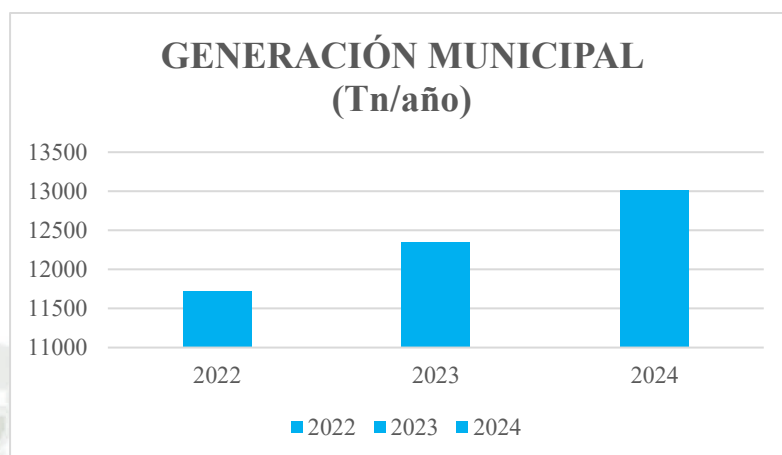
Tabla 14: Generación de residuos sólidos (2022 – 2024).

AÑO	POBLACIÓN DEL DISTRITO (Habitantes)	GPC (kg/hab/día)	GENERACIÓN MUNICIPAL (Tn/día)	GENERACIÓN MUNICIPAL (Tn/año)
2022	74191.44	0.4331	32.131	11727.970
2023	77381.68	0.4374	33.848	12354.595
2024	80709.09	0.4418	35.657	13014.701

En la *Tabla 14* se presenta la evolución de la generación de residuos sólidos en el distrito de Majes durante el periodo 2022–2024. Se observa un incremento sostenido tanto en la población como en la generación per cápita de residuos (GPC), lo cual repercute directamente en el aumento del volumen de residuos generados a nivel municipal. La generación diaria pasó de 32.13 toneladas en 2022 a 35.66 toneladas en 2024. Asimismo, la generación anual creció de 11,727.97 toneladas en 2022 a 13,014.70 toneladas en 2024, lo que equivale a un aumento de aproximadamente 1,286.73 toneladas en el periodo analizado.

Esta tendencia creciente evidencia la necesidad de fortalecer los sistemas locales de gestión de residuos sólidos, considerando tanto el crecimiento poblacional como el aumento progresivo en los patrones de consumo (*Figura 25*).

Figura 25: Gráfico de la generación municipal por Tn/año (2022-2024).



La proyección de aumento de la generación per cápita (de 0,4331 a 0,4418 kg/hab·día) y del volumen total de residuos (de 32,13 t/día a 35,66 t/día) se alinea con las tendencias nacionales de crecimiento de residuos debido a la urbanización y cambios en los patrones de consumo (Izquierdo & Camacho, 2022). Sin embargo, al basarse en datos de 2021, esta proyección debe considerarse con precaución y reforzarse mediante una nueva caracterización que recoja cambios recientes.

4.3. Selección del área óptima para la ubicación de la IRS

4.3.1. Análisis multicriterio para la geolocalización de áreas óptimas para un relleno sanitario

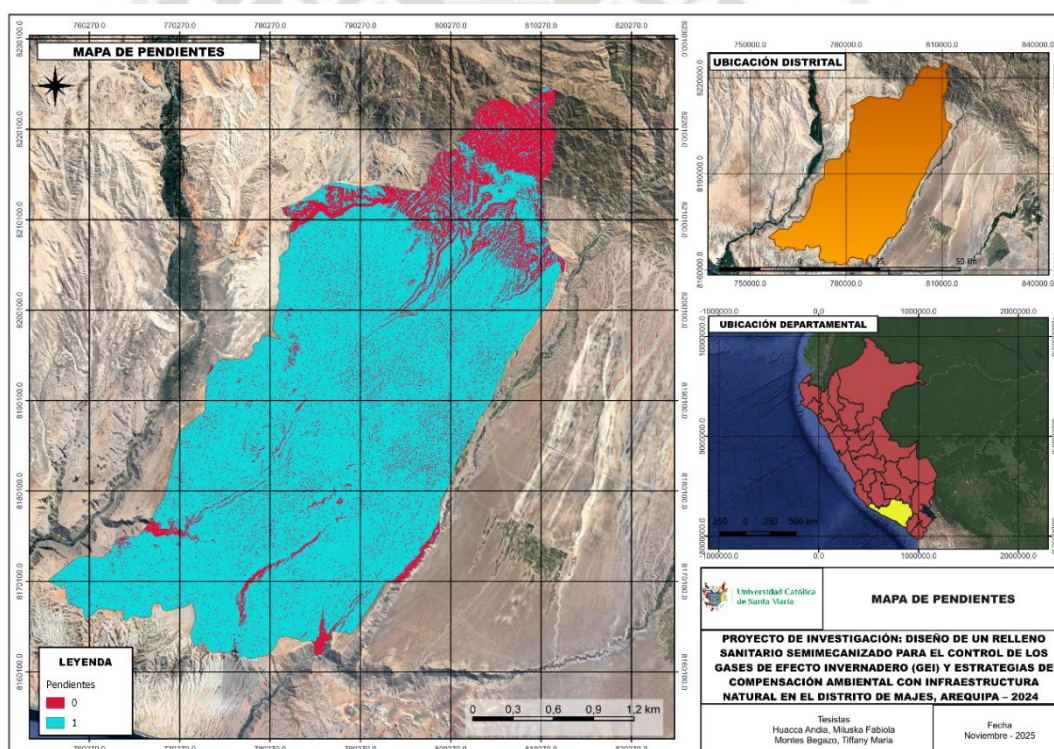
En el presente trabajo de investigación, realizado en el distrito de Majes, se identificó las áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario, utilizando principalmente 4 criterios que se encuentran establecidos en la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado del Ministerio del Ambiente. Para lo cual, se consideró las siguientes categorías:

- Categoría no apta con valor de “0” las cuales no se consideraron para la instalación del relleno sanitario por ser áreas vulnerables a riesgos e impactos que pueda generar el relleno sanitario.
- Categoría óptima con valor de “1” para las áreas que se encontraron dentro de los rangos óptimos establecidos para cada criterio, protegiendo la salud pública y el ambiente.

a) Pendiente

En la *Figura 26* se muestra el mapa temático de pendientes con los respectivos niveles que se establecieron para cada categoría y valor óptimo para la instalación del relleno sanitario. Las áreas de color rojo fueron consideradas como “No aptas” con pendientes mayores a 25% estas áreas no se seleccionaron a fin de evitar posibles procesos de inestabilidad, deslizamientos de material que son difíciles y costosos de reducir una vez iniciadas la construcción y a la vez, evitar que se originen encharcamientos en el entorno del área del relleno sanitario. Es por ello, que las áreas de color celestes fueron consideradas “Óptimas” con pendientes menores a 25%.

Figura 26: Mapa temático de pendientes.



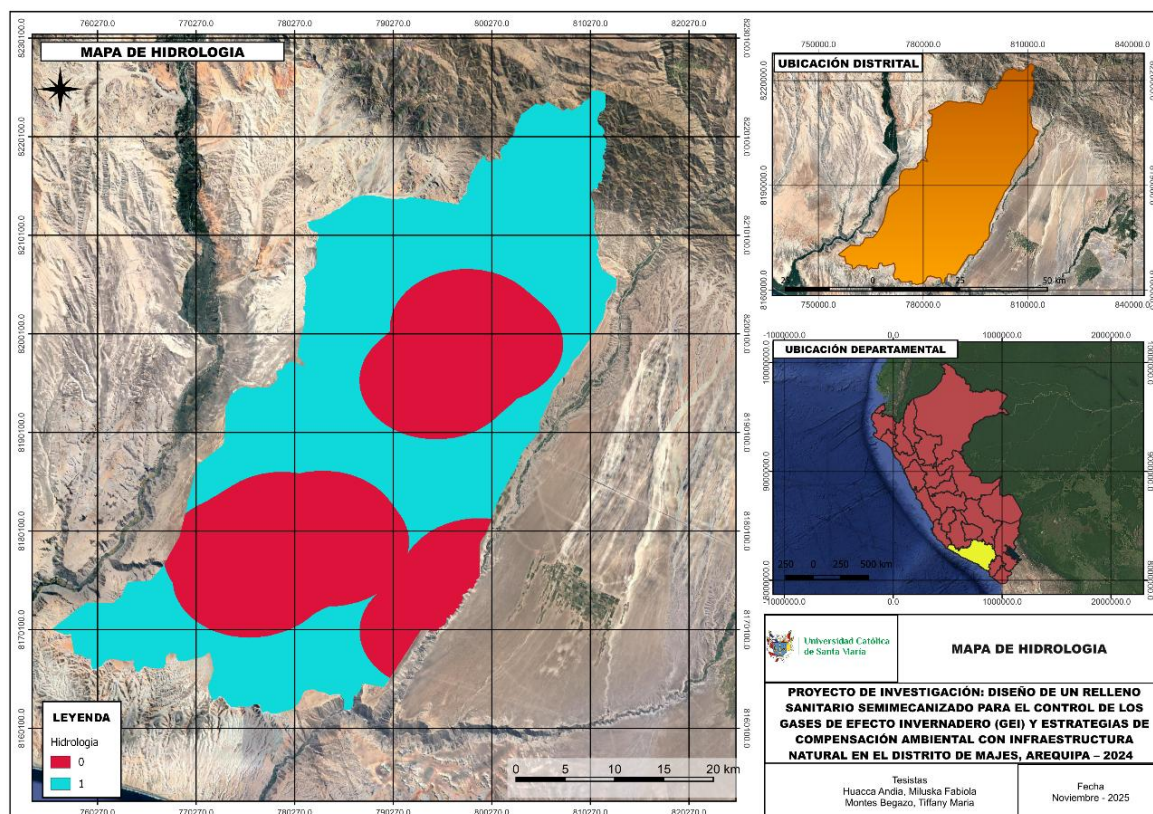
Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

b) Hidrología

En la *Figura 27* se muestra el mapa temático de hidrología con las respectivas distancias que se establecieron para cada categoría y valor óptimo para la instalación del relleno sanitario. Las áreas de color rojo fueron consideradas como “No aptas” con distancias menores a 500 metros de un curso de agua, no se escogieron estas áreas con el objetivo de evitar alguna contaminación directa o

indirecta a los cauces fluviales debido al escurrimiento, infiltración de algún tipo de fluidos provenientes de los residuos. Es por ello, que las áreas de color celeste fueron consideradas “Óptimas” con distancias mayores a los 500 metros. Asimismo, es fundamental que el área escogida se ubique a la mayor distancia posible de ríos, quebradas u otros cuerpos de agua, con el fin de prevenir posibles contaminaciones derivadas de escurrimientos, filtraciones o lixiviación procedentes del relleno sanitario.

Figura 27: Mapa temático de hidrología.



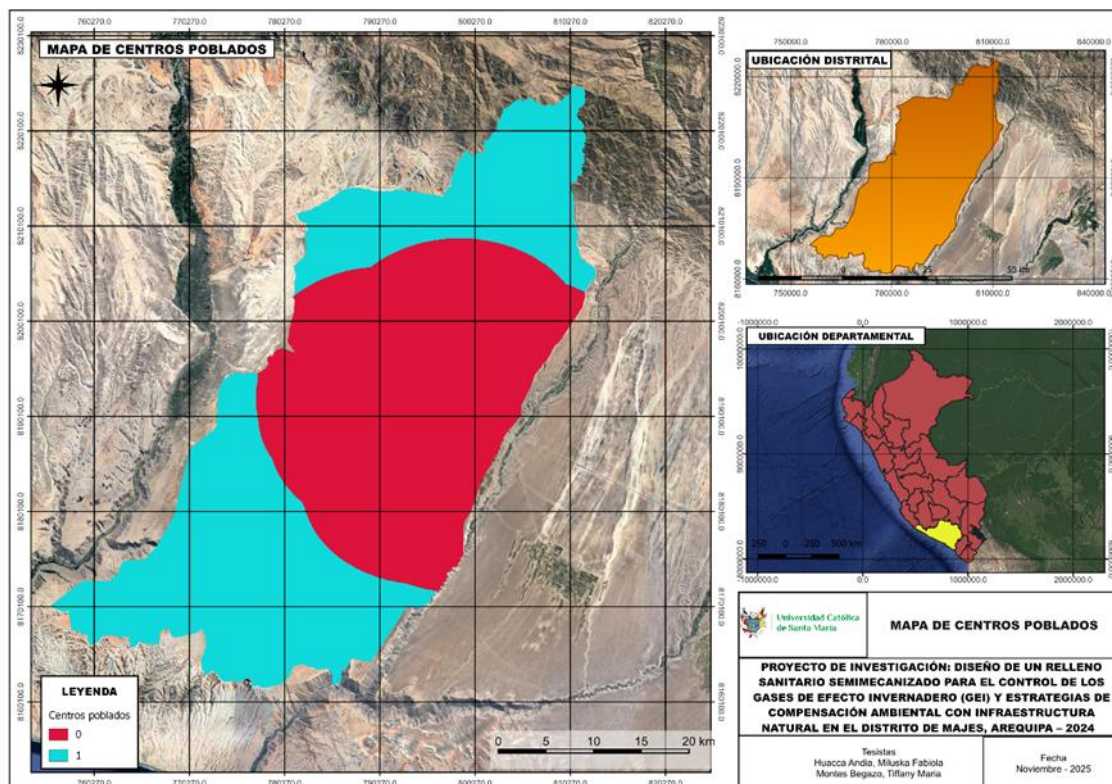
Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

c) Centros poblados

En la Figura 28 se muestra el mapa temático de centros poblados con las respectivas distancias que se establecieron para cada categoría y valor óptimo para la instalación del relleno sanitario. Las áreas de color rojo fueron consideradas como “No aptas” con distancias menores a los 500 metros, no se escogieron estas áreas debido a que este tipo de instalaciones genera un cierto rechazo social por efecto de la generación de malos olores, riesgos a la salud y producción de vectores infecciosos provenientes del relleno sanitario, así como los posibles

riesgos que se puedan generar. Es por ello que las áreas de color celeste fueron consideradas “Óptimas” con distancias mayores a 500 metros.

Figura 28: Mapa temático de cercanía a centros poblados.

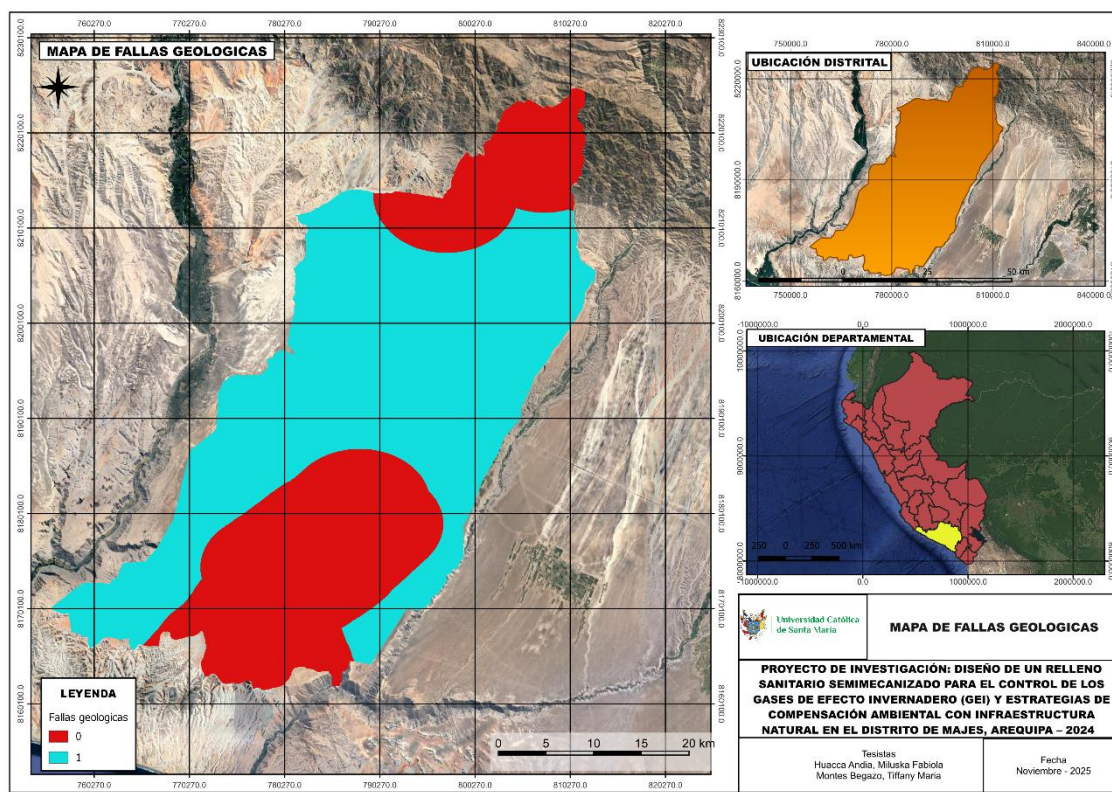


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

d) Fallas geológicas

En la *Figura 29* se muestra el mapa temático de fallas geológicas con las respectivas distancias que se establecieron para cada categoría y valor óptimo para la instalación del relleno sanitario. Las áreas de color rojo fueron consideradas como “No aptas” con distancias menores a 1000 metros respecto de las fallas geológicas. Estas áreas no fueron seleccionadas porque presentan terrenos susceptibles a desastres naturales, como grietas, deslizamientos, desplazamientos u otros movimientos de masa que podrían comprometer la seguridad del personal y/o el funcionamiento del relleno sanitario. Es por ello que las áreas de color celeste fueron consideradas “Óptimas” con distancias mayores a 1000 metros.

Figura 29: Mapa temático de fallas geológicas con las respectivas distancias.

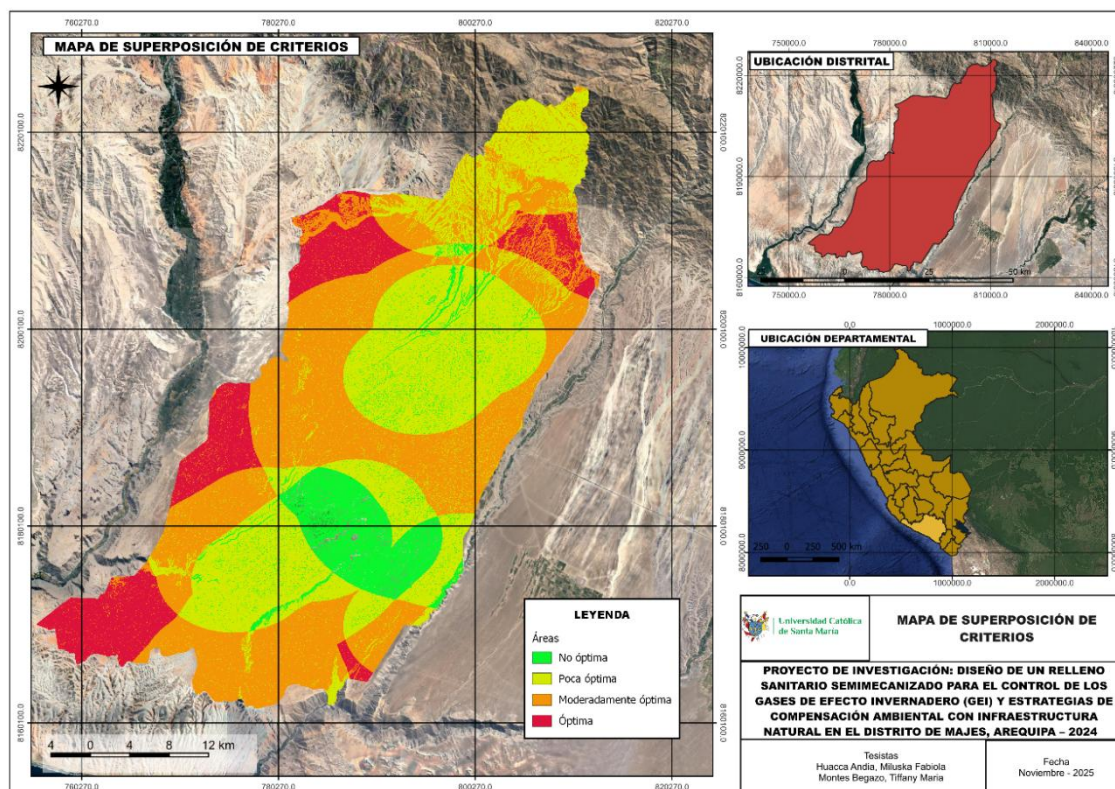


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

e) Superposición de criterios

En la *Figura 30* se muestra el mapa temático de todos los criterios tomados en cuenta para la preselección de las áreas óptimas para la instalación de relleno sanitario

Figura 30: Mapa temático de los 4 criterios tomados para la preselección de las áreas óptimas.



Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

Para la selección de las posibles áreas en donde se puede construir la infraestructura de disposición final de residuos sólidos en el distrito de Majes se utilizó un análisis multicriterio apoyado por sistemas de información geográfica (SIG). Los criterios de pendiente, hidrología, centros poblados y fallas geológicas permitieron distinguir con mayor precisión zonas “óptimas” de zonas “no aptas” para la instalación del relleno sanitario.

Según las investigaciones realizadas por Lozano (2021), Loyaga (2019) y Hanco (2023), en la selección de áreas para la ubicación de los rellenos sanitarios se empleó el análisis de proximidad como herramienta principal dentro de los Sistemas de Información Geográfica, aplicando distancias mínimas a centros poblados, cuerpos de agua, pendiente y fallas geológicas. En dichos estudios, el análisis de proximidad permitió excluir zonas no aptas y delimitar áreas potencialmente viables para la ubicación del relleno sanitario, cumpliendo adecuadamente con el objetivo de la selección preliminar del sitio. En consecuencia, estos antecedentes evidencian que el uso del análisis de proximidad resulta metodológicamente suficiente para la fase de

localización; por ello, en la presente investigación se optó por la aplicación de dicha herramienta.

La pendiente del terreno fue un criterio determinante: las zonas con inclinaciones menores al 25 % fueron clasificadas como óptimas, al ofrecer estabilidad estructural y facilidad de operación. Este resultado concuerda con los estudios de (Supo Quispe 2024), quien destaca que terrenos con baja pendiente reducen el riesgo de erosión, deslizamientos y acumulación superficial de lixiviados, garantizando la vida útil del relleno sanitario.

En cuanto a la hidrología, se consideró la distancia mínima de 500 m respecto a cuerpos de agua, lo cual disminuye el riesgo de contaminación de fuentes superficiales y subterráneas. De acuerdo con Loyaga (2019), esta medida de exclusión es esencial en áreas áridas del sur del Perú, donde la permeabilidad del suelo puede facilitar la infiltración de lixiviados hacia acuíferos.

El criterio de distancia a centros poblados también influyó significativamente. La ubicación de áreas a más de 500 m de zonas urbanas o residenciales permite minimizar impactos por olores, ruido, presencia de vectores y percepción de riesgo sanitario. Supo Quispe (2024) indica que mantener una barrera sanitaria y visual adecuada mejora la aceptación social del proyecto y reduce conflictos con la comunidad.

La presencia de fallas geológicas fue otro factor excluyente, los resultados muestran que las áreas ubicadas a menos de 1000 m de fallas geológicas han sido consideradas “no aptas”, mientras que aquellas por encima se identifican como “óptimas”. Esta decisión es coherente con la normativa peruana, que establece que un sitio para relleno sanitario no debe ubicarse sobre fallas geológicas ni en terrenos susceptibles a deslizamientos o asentamientos que comprometan la seguridad y estabilidad de la infraestructura (MINAM, 2018). Este factor cobra relevancia porque, según el estudio de Peralta & Mamani (2023), la selección de un sitio para un relleno sanitario debe sustentarse en un análisis geológico-geotécnico riguroso. Los autores enfatizan que la estabilidad del terreno es un criterio determinante para reducir riesgos vinculados a fallas geológicas y garantizar la seguridad operativa del proyecto.

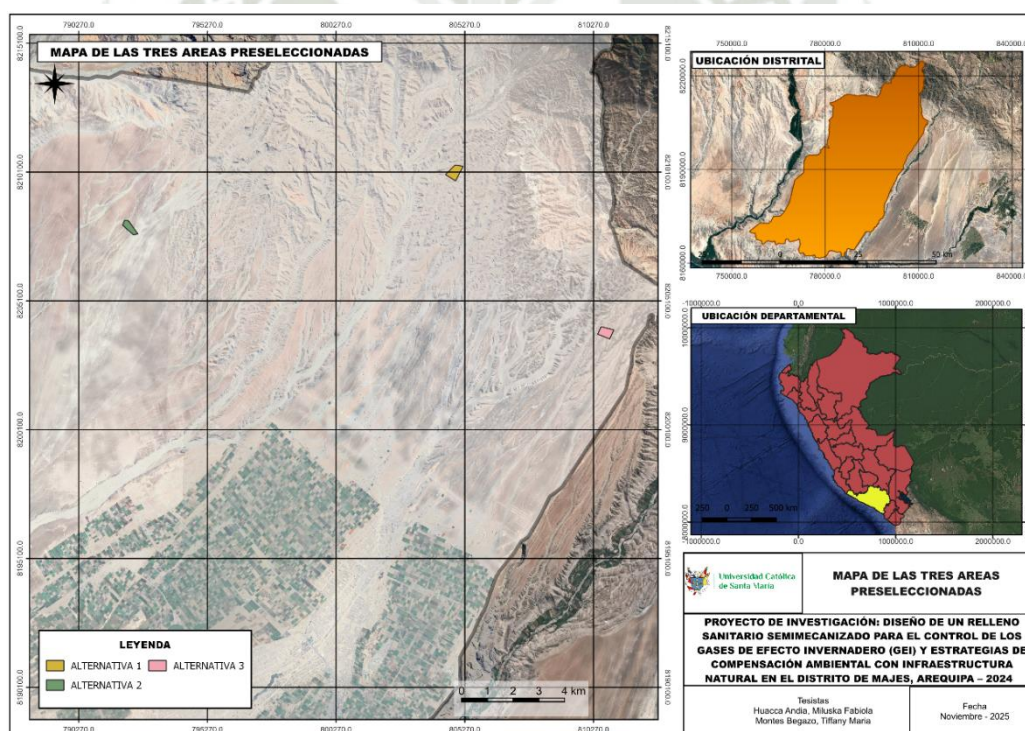
Los resultados evidencian que el uso de herramientas SIG no solo agilizan el análisis territorial, sino que posibilitan integrar criterios ambientales, sociales y

geotécnicos en un entorno común, lo que normalmente se evaluaría de forma separada. Esta integración fortalece la precisión de la zonificación y disminuye la subjetividad en la selección de áreas. Además, estudios como el de Idrogo (2024) confirman que la articulación entre SIG y métodos multicriterio mejora la rigurosidad técnica y permite identificar, con mayor confiabilidad, zonas verdaderamente aptas para la instalación de infraestructura de disposición final.

4.3.2. Áreas preseleccionadas

Se identificaron 3 áreas definidas como óptimas para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Majes, cada una de ellas presenta más de 15 hectáreas (*Figura 31*).

Figura 31: Ubicación de las 3 posibles áreas para la construcción del relleno sanitario en el distrito de Majes.



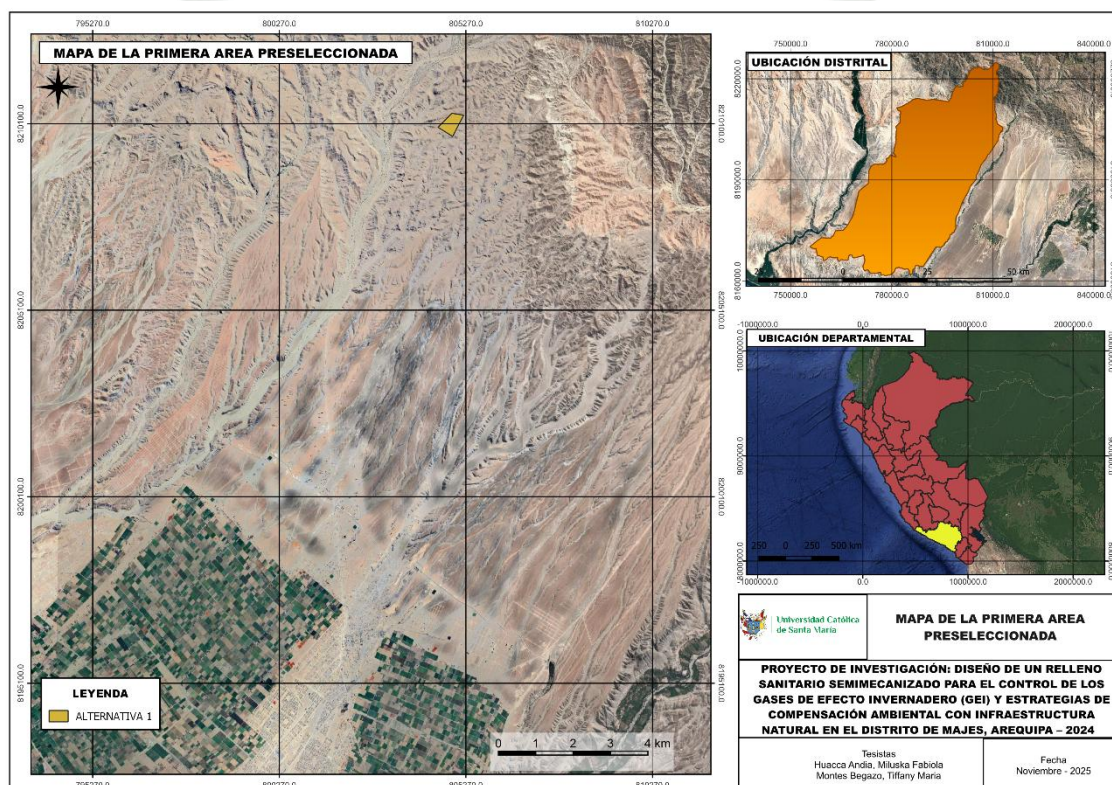
Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

4.3.3. Evaluación de las áreas preseleccionadas

A. Alternativa N°1

El área propuesta denominada Alternativa N°1 está ubicada al Norte del distrito de Majes. Además, tiene un área de 22 hectáreas aproximadamente (*Figura 32*).

Figura 32: Ubicación de la primera zona preseleccionada.

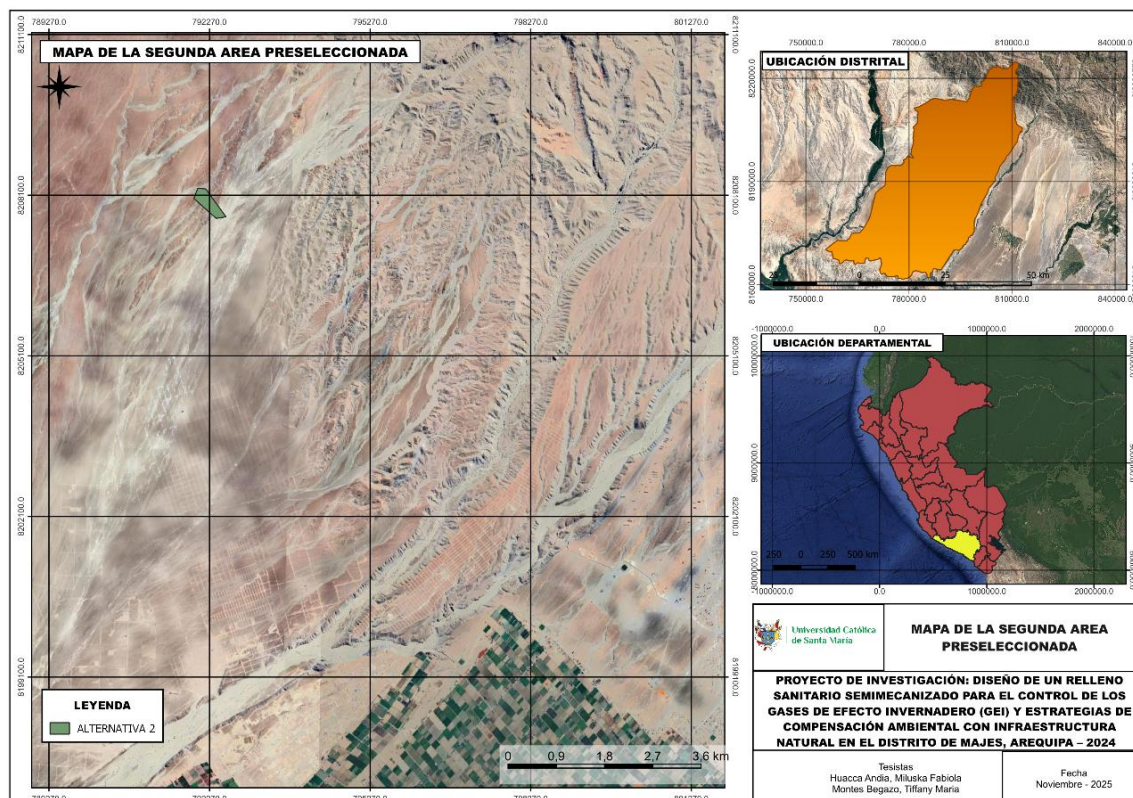


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

B. Alternativa N°2

El área propuesta denominada Alternativa N°2 está ubicada al Norte del distrito de Majes. Además, tiene un área de 15 hectáreas aproximadamente (*Figura 33*).

Figura 33: Ubicación de la segunda zona preseleccionada.

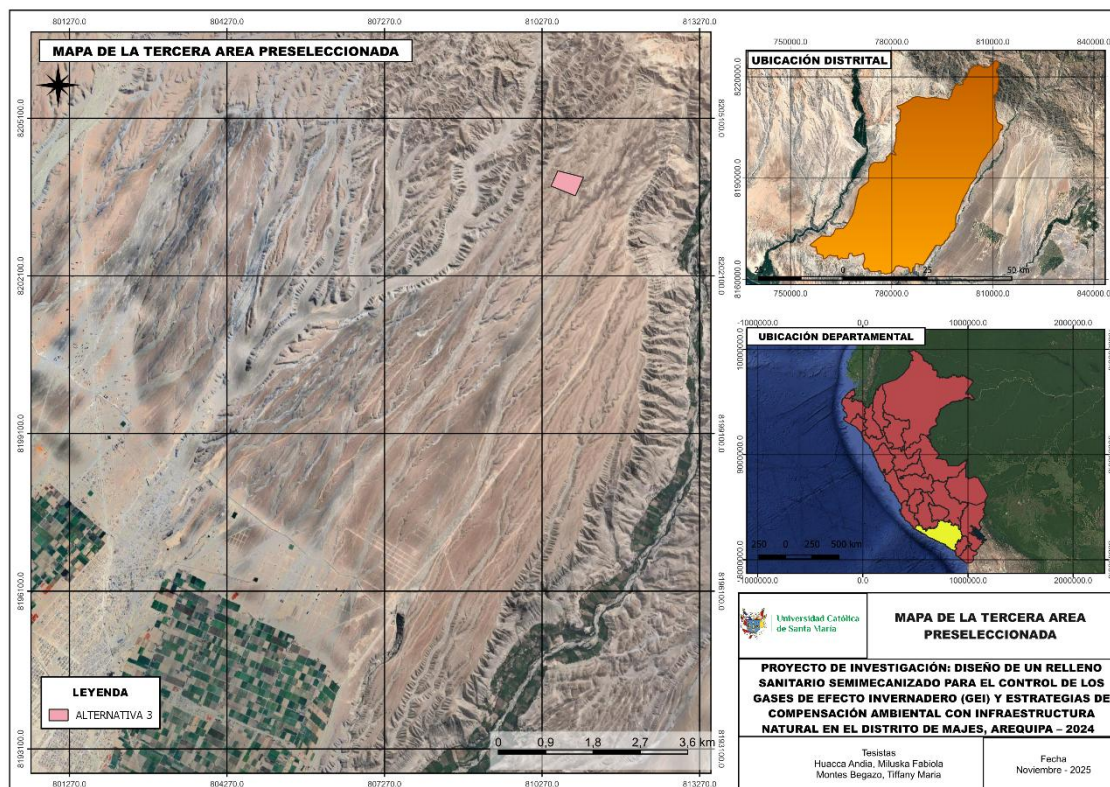


Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

C. Alternativa N°3

El área propuesta denominada Alternativa N°3 está ubicada al Norte del distrito de Majes. Además, tiene un área de 18 hectáreas aproximadamente (*Figura 34*).

Figura 34: Ubicación de la tercera zona preseleccionada.



Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

4.4.2. Criterios de selección

A. Distancia a centros poblados

Las tres áreas propuestas presentan una distancia superior a 500 m respecto a los centros poblados, cumpliendo con el criterio establecido por la guía de diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales.

B. Base física

Las tres áreas propuestas se ubican dentro de una misma zona geográfica, presentando condiciones topográficas, edáficas y climáticas similares.

- **Geomorfología**

Los suelos del distrito de Majes en general son pobres en materia orgánica, presentan una textura gruesa y con presencia de ceniza volcánica, debidos a los horizontes cálcicos y de yeso que se encuentran en estos suelos se presenta un alto grado de infiltración. Las tierras que presenta el distrito de Majes son eriazas las cuales ofrecen posibilidades para su irrigación.

Los suelos del distrito en donde se encuentra los centros poblados y sus áreas de expansión urbana tienen características de tipo franco-arenosos en superficie y materiales gravosos de dimensiones medias en profundidad. Por otro lado, en la zona predominan un conjunto de formaciones aluviales compuestas de camadas de arenas, gravas, gravillas, guijarros; con poca presencia de arcilla y limo; lo cual establece un tipo de suelo como muy permeable y con un drenaje pobre. En general estos sedimentos soportan presiones de magnitud cuando existe compactación, y no se ha detectado vegetación, trazas de materia orgánica, nitrógeno ni vida microbiana (Municipalidad Distrital de Majes, 2013).

- **Geología**

Las áreas alternativas N°1 y N°3 se encuentran ubicadas en zonas donde afloran rocas sedimentarias reconocidas como la formación Moquegua superior del Terciario Superior, también se encuentran depósitos inconsolidados que corresponden a materiales acumulados por el agua y viento en los lechos de la quebrada Hospicio.

La alternativa N°2 se encuentra ubicada en zonas donde afloran rocas precambrianas con aquellas de edad terciaria y cobertura de depósitos aluviales.

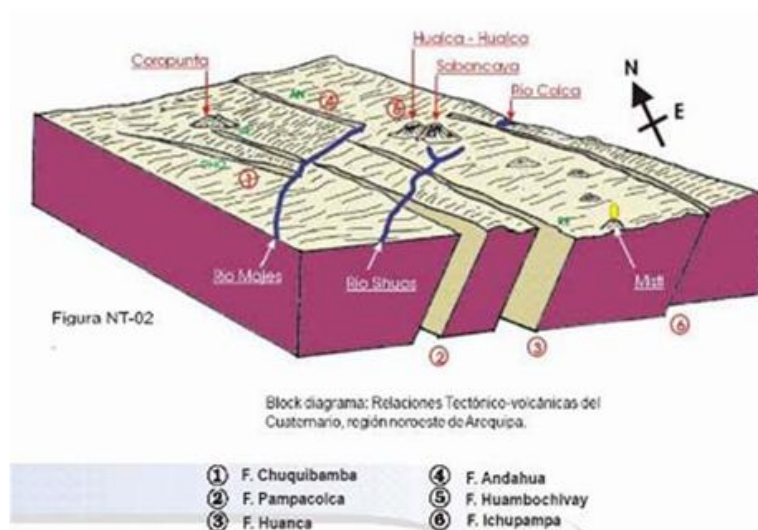
- **Vulnerabilidad a desastres naturales**

En el distrito, en el escenario de inundaciones provocadas por las aguas pluviales o por el agua que discurra por la quebrada Hospicio en caso se active debido a su relieve plano y ondulado alcanzarían las áreas urbanas y áreas agrícolas, interrumpiendo vías, causando grandes pérdidas tanto humanas como económicas.

- Fallas geológicas

El distrito de Majes está expuesto a peligros sísmicos debido a sus condiciones geológicas al encontrarse dentro del Bloque Tectónico del Sur del Perú y las Fallas Sísmicamente Activas que cruzan su territorio transversalmente. El territorio distrital se encuentra dentro del sistema de fallas sísmicamente activas de Incapuquio-Chuquibamba- Pampacolca. Existen dos fallas que atraviesan transversalmente el territorio distrital: La Falla Pampacolca y la Falla Huanta, la primera localizada muy cerca de la actual área ocupada del distrito (*Figura 35*).

Figura 35: Fallas geológicas en el departamento de Arequipa.



Nota. Las seis fallas geológicas presentes en el departamento de Arequipa.

- Condiciones hidrológicas

Las tres áreas propuestas se encuentran a distancias relativamente lejanas de cuerpos de agua. Las áreas alternativas N°1 y N°3 se encuentran a una distancia relativamente cercana a la quebrada Hospicio, es una cuenca seca pero que eventualmente puede recibir episodios excepcionales de lluvia intensa por periodos cortos y estos aportes violentos pueden ser catastróficas sino se toman las precauciones respectivas, dado que en la condición desértica que caracteriza a la región estos episodios serían muy raros, pero no imposibles. La alternativa N°2 se encuentra próxima a la quebrada Los Molles, la cual también es una quebrada seca. Sin embargo, al igual que la anterior, puede presentar activaciones esporádicas únicamente durante lluvias intensas, por lo que se debe contemplar el

mismo tipo de riesgo asociado. Además, la Alternativa N°1, N°2 y la N°3 se ubican en áreas donde no se registra presencia de aguas subterráneas.

- Temperatura

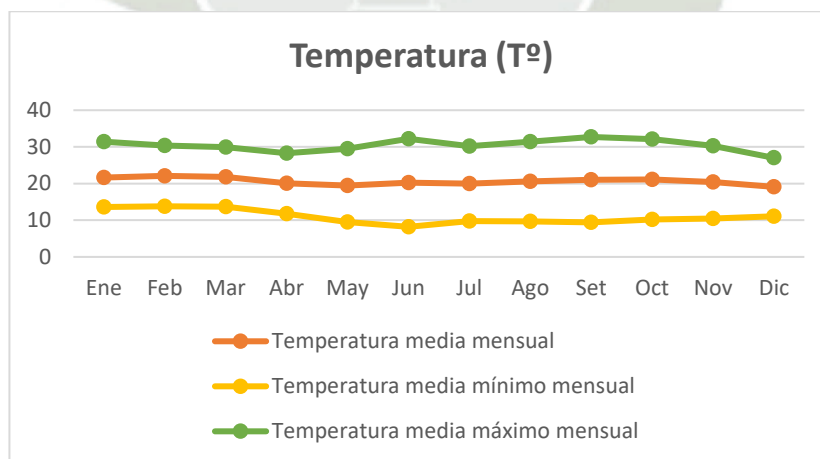
La temperatura es uniforme durante el año, con una media anual de 20.6 °C con un máximo de 30.5° C, y un mínimo medio de 10.9° C. Durante el día, la temperatura más baja se registra entre las 05:00 y las 06:00 horas, y la más alta entre las 12:00 y las 13:00 horas (*Figura 36*). En la *Tabla 15* se muestra el promedio anual de la variación mensual de temperatura.

Tabla 15: Variación Mensual de Temperatura (°C) Estación – Pampa de Majes.

Temperatura / Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
Temperatura media mensual	21.6	22.1	21.8	20.1	19.5	20.2	20.0	20.6	21.1	21.2	20.4	19.1	20.6
Temperatura media mínimo mensual	13.6	13.8	13.7	11.8	9.5	8.2	9.8	9.7	9.4	10.2	10.5	11.1	10.9
Temperatura media máximo mensual	31.4	30.4	29.9	28.3	29.5	32.2	30.2	31.4	32.7	32.1	30.3	27.0	30.5

Nota. SENAMHI (2024).

Figura 36: Variación mensual de Temperatura – 2024.



- Humedad

La humedad relativa es baja, siendo la influencia del Océano Pacífico débil, su promedio anual es de 57.13 % y aumenta en las épocas en que predominó las “camanchacas”, registrándose los mayores valores en verano y las menores en invierno (*Tabla 16*). Debido a la influencia de la corriente de Humboldt la

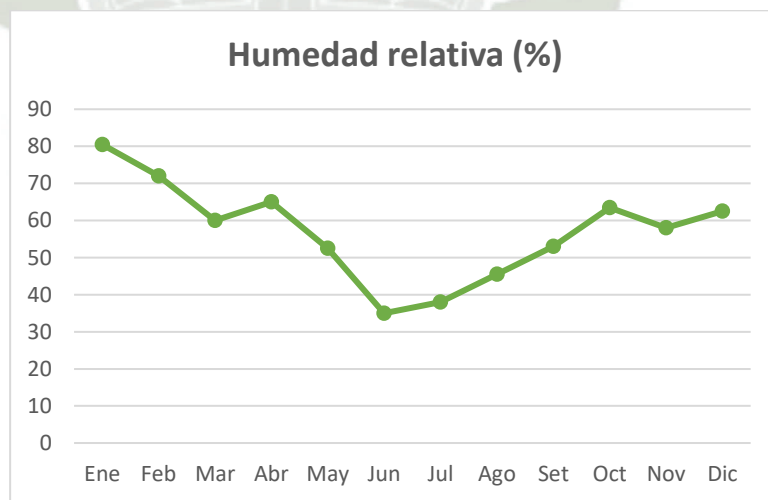
humedad del aire es mayor en la costa. Por lo general la humedad relativa media anual disminuye con la altitud, tomando mayores valores en zonas bajas de la cuenca y menores valores en las zonas altas (JUPM, 2024) (Figura 37).

Tabla 16: Variación Mensual de Humedad relativa (%) Estación – Pampa de Majes.

Mes	Humedad %
Ene	80.5
Feb	72
Mar	60
Abr	65
May	52.5
Jun	35
Jul	38
Ago	45.5
Set	53
Oct	63.5
Nov	58
Dic	62.5
Promedio	57.13

Nota. SENAMHI (2024).

Figura 37: Variación mensual de la humedad relativa – 2024.



- Precipitación

La precipitación es esporádica y no significativa, llegando a tener un promedio anual de 0 mm en el año 2024 (SENAMHI, 2024).

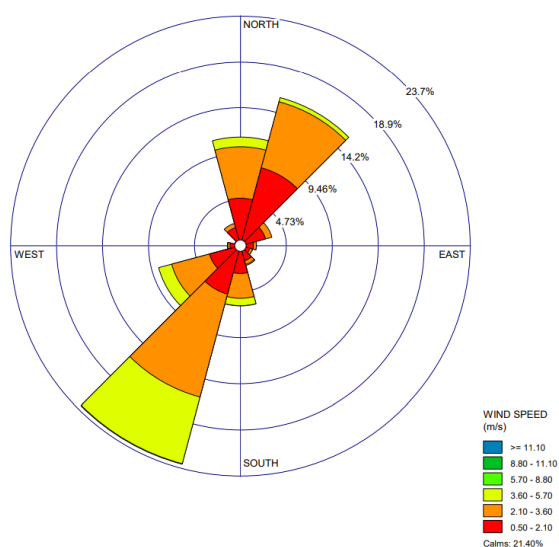
- Velocidad y dirección del viento

En el distrito de Majes, los vientos predominantes son alisios y se combinan con los vientos orográficos procedentes de la sierra. Durante el día, estos soplan generalmente del sur-suroeste y se desplaza hacia el nor-noreste, mientras que en la noche invierten su dirección de forma recurrente (JUPM, 2024).

Para contar con una caracterización más precisa del comportamiento atmosférico en la zona de estudio, se elaboró una rosa de vientos utilizando los registros horarios de dirección y velocidad del viento correspondientes al año 2024, obtenidos de la estación meteorológica Pampa de Majes, información oficial proporcionada por el SENAMHI.

La *Figura 38* muestra una clara predominancia de vientos provenientes del sur y suroeste, con velocidades mayoritariamente bajas. Durante el periodo analizado se obtuvo una velocidad media anual de 1.80 m/s y un 21.40 % de calmas, lo que evidencia una atmósfera estable y con baja turbulencia. La mayor frecuencia de ocurrencia se concentra en los rangos de 0.50 a 3.60 m/s, mientras que los vientos de mayor intensidad presentan incidencias mínimas. Esta configuración predominante prevalece en las tres áreas alternativas del proyecto, lo que será determinante para el diseño de medidas de control de dispersión de olores y polvos, así como para la planificación de sistemas de ventilación y protección ambiental.

Figura 38: Rosa de vientos Estación Pampa de Majes del año 2024.



- **Material de cobertura**

De las posibles áreas propuestas como alternativas y según el estudio de suelos se puede deducir lo siguiente:

- a. **Alternativa N°1 y N°3:** Cerca de las zonas se cuenta con canteras que extraen arenas, arcillas comunes, gravas, cantos rodados y otros de uso común en la construcción.
- b. **Alternativa N°2:** La probabilidad de emplear el material del terreno como depósito o cantera para el suministro de agregados es muy limitada, debido a que sus características no resultan adecuadas para satisfacer los requerimientos del proyecto.

- **Vías de acceso**

- a. **Alternativa N°1:** El acceso al predio se realiza mediante una vía afirmada que bordea la quebrada Hospicio y conduce hasta una zona próxima a una cantera. A partir de este punto, el tránsito continúa por un camino no pavimentado hasta aproximarse al área propuesta para la implementación del proyecto. Si bien no existe una carretera completa que llegue directamente al emplazamiento, las condiciones topográficas permiten la habilitación de un tramo adicional de vía de acceso sin mayores restricciones técnicas.
- b. **Alternativa N°2:** El acceso al terreno se realiza inicialmente por la carretera asfaltada que conduce al asentamiento E-7. A partir de este punto, la ruta continúa mediante una vía en trocha carrozable que permite el tránsito vehicular hasta atravesar la quebrada Los Molles. Luego de este tramo, el acceso prosigue hasta una zona ubicada a una distancia considerable del área propuesta. Si bien no existe una carretera completa que llegue directamente al emplazamiento, las condiciones topográficas permiten la habilitación de un tramo adicional de vía de acceso sin mayores restricciones técnicas.
- c. **Alternativa N°3:** El terreno cuenta con acceso a través de una vía afirmada situada en la zona noreste del distrito de Majes. Desde este punto, el trayecto se prolonga por una carretera del mismo tipo hasta llegar directamente al área destinada para la implementación del

proyecto, asegurando condiciones apropiadas de transitabilidad para las labores de operación y mantenimiento.

C. Disponibilidad de propiedad de terreno

Las alternativas N°2 y N°3 presentan dificultades en cuanto a la disponibilidad del terreno, debido a problemas legales relacionados con su titularidad, lo que representa un riesgo significativo para la viabilidad del proyecto. Estas situaciones pueden retrasar o incluso impedir el desarrollo de las actividades programadas, al no contarse con la seguridad jurídica necesaria para su uso.

En contraste, el terreno correspondiente a la Alternativa N°1 se encuentra en proceso de adquisición por parte de la Municipalidad Distrital de Majes a través de un trámite con AUTODEMA (Autoridad Autónoma de Majes). Este proceso, al encontrarse formalizado y en curso, ofrece mayor seguridad legal para la implementación del proyecto, reduciendo los riesgos asociados a conflictos de propiedad y facilitando la planificación técnica y administrativa.

D. Pendiente de terreno

La pendiente del terreno presenta un rango de variación entre ligera y moderada inclinación. En todas las alternativas, los valores de pendiente se encuentran dentro de los parámetros admisibles para la habilitación y construcción de la infraestructura propuesta, por lo que las tres áreas se consideran técnicamente viables.

4.4.3. Resultados de los criterios de selección de las áreas preseleccionadas según MINAM

En cumplimiento de los lineamientos establecidos por el Ministerio del Ambiente, se evaluaron las tres alternativas preseleccionadas, asignando puntajes a cada criterio técnico. Los resultados consolidados se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 17. Asignación de puntaje para cada criterio de selección.

Ítem	Criterios de selección	DL N° 1278 y su reglamento DS N° 014 -2017	Puntaje (A)		
			Alt.1	Alt.2	Alt.3
1	Distancia a la Población más cercana (m)	> 500 m (*)	5	5	5
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	> 500 m (*)	5	5	5
3	Distancia a fuentes de agua superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m)	> 500 m (*)	5	5	5
4	Distancia a fallas geológicas	> 500 m (*)	5	5	5
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)		3	3	3
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros)		5	5	5
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	> 13,000 m (*)	5	5	5
8	Área del terreno (m ²)		5	3	5
9	Vida útil	3 ó 10 años (**) Mínimo 15 años (***)	5	5	5

10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)	3	3	3
11	Pendiente del terreno (Topografía)	5	5	5
12	Geología del suelo (permeabilidad)	5	3	5
13	Profundidad de la capa freática (m)	5	3	5
14	Posibilidad del material de cobertura	5	1	5
15	Cuenta con barrera sanitaria natural	1	1	1
16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km)	5	3	5
17	Uso actual del suelo y del área de influencia	5	3	5
18	Opinión Pública	5	1	3
19	Área natural protegida por el Estado	5	5	5
20	Área arqueológica	5	5	5
21	Propiedad del terreno	5	3	3

Nota. Asignación de puntaje de las tres alternativas propuestas para cada criterio que se considera según MINAM (2019).

Tabla 18. Asignación de puntaje por peso ponderado para cada criterio de selección.

Ítem	Criterios de selección	PONDERADO (B)	CLASIFICACIÓN AXB		
			Alt.1	Alt.2	Alt.3
1	Distancia a la Población más cercana (m)	6	30	30	30
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	6	30	30	30
3	Distancia a fuentes de agua superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m)	6	30	30	30
4	Distancia a fallas geológicas	6	30	30	30
5	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)	6	18	18	18
6	Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros)	5	25	25	25
7	Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	5	25	25	25
8	Área del terreno (m ²)	5	25	15	25
9	Vida útil	5	25	25	25

10	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)	4	12	12	12
11	Pendiente del terreno (Topografía)	3	15	15	15
12	Geología del suelo (permeabilidad)	4	20	15	20
13	Profundidad de la capa freática (m)	4	20	12	20
14	Posibilidad del material de cobertura	3	15	3	15
15	Cuenta con barrera sanitaria natural	4	4	4	4
16	Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km)	4	20	12	20
17	Uso actual del suelo y del área de influencia	4	20	12	20
18	Opinión Pública	5	25	5	15
19	Área natural protegida por el Estado	5	25	25	25
20	Área arqueológica	5	25	25	25
21	Propiedad del terreno	5	25	15	15

Nota. Asignación de puntaje por peso ponderado de las tres alternativas propuestas para cada criterio que se considera según MINAM (2019).

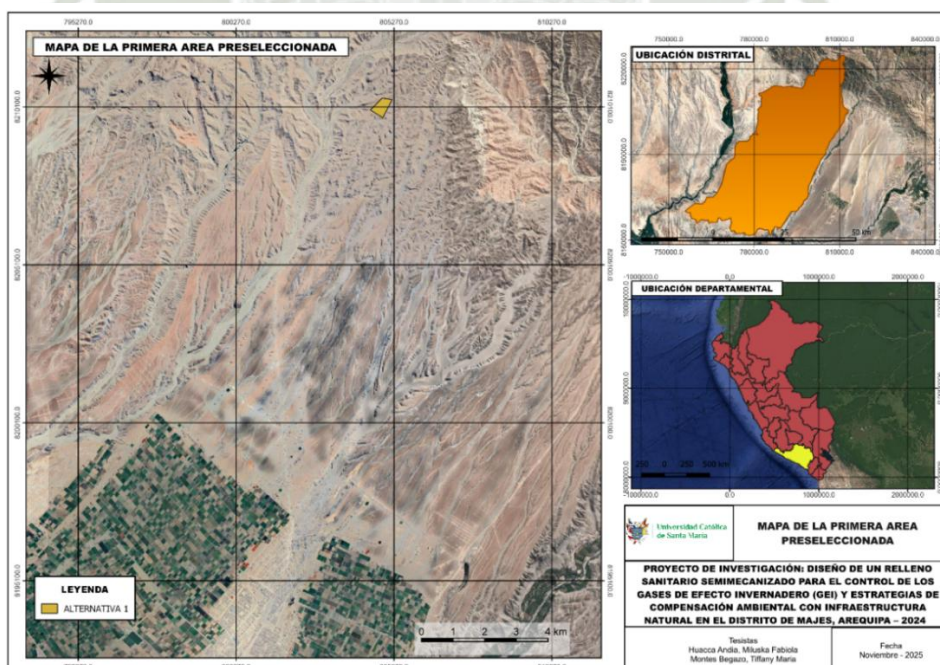
Después de haber realizado la matriz de evaluación de las tres áreas alternativas de selección de sitio para la propuesta de ubicación del relleno sanitario semimecanizado se determinó los siguientes puntajes.

Tabla 19. Orden de mérito de las áreas propuestas.

Orden de mérito	Nombre del área	Puntaje ponderado	Clasificación
1°	Alternativa N°1	464	Terreno Aceptable de primera opción - Bueno
2°	Alternativa N°3	444	Terreno Aceptable de primera opción - Bueno
3°	Alternativa N°2	383	Terreno Aceptable de primera opción - Bueno

En la *Tabla 19* se puede observar que la Alternativa N°1 es la que obtuvo mayor puntaje por ende sería el área idónea para la ubicación del relleno sanitario semimecanizado en el distrito de Majes. En la *Figura 39* se presenta el plano de ubicación correspondiente a la Alternativa N°1.

Figura 39: Ubicación de la zona seleccionada.



Nota. Medio - QGIS. Elaboración propia.

4.4. Diseño de la infraestructura del relleno sanitario

4.4.1. Selección de método

Tomando en cuenta las evaluaciones efectuadas en la zona destinada para la construcción del relleno sanitario, se decidió emplear una combinación de los métodos de trinchera y de área. Esto se debe a que el terreno seleccionado es mayormente plano, lo que permite iniciar con el método de trincheras y luego continuar con el método de área. Esta estrategia asegura un uso más eficiente del terreno y del material de cobertura, al mismo tiempo que optimiza el desempeño de las operaciones.

4.4.2. Proyección de la generación de residuos sólidos

A. Proyección de la población actual

Se proyectó la población actual hasta el año 2035, contando como referencia los datos del censo de Población y vivienda realizado por el INEI en el año 2017, considerando una tasa de crecimiento anual de la población de 4.3%.

Tabla 20. Cálculo de la población base mediante la tasa de crecimiento anual intercensal del Distrito de Majes.

PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL DISTRITO DE MAJES	
AÑO	POBLACIÓN DEL DISTRITO
2025	84179.57817
2026	87799.30003
2027	91574.66994
2028	95512.38074
2029	99619.41311
2030	103903.0479
2031	108370.8789
2032	113030.8267
2033	117891.1523
2034	122960.4718
2035	128247.7721

En la *Tabla 20* se presenta la proyección de la población del distrito de Majes entre los años 2025 y 2035, información que permite estimar la cantidad de residuos sólidos generados anualmente. La proyección evidencia una tendencia de crecimiento sostenido, pasando de 84 179 habitantes en 2025 a 128 247 habitantes en 2035. Este incremento, está asociado al desarrollo urbano y económico del distrito.

B. Proyección de la capacidad diaria

Para el cálculo de la capacidad de operación diaria se necesita conocer la proyección de la población actual del distrito y la generación per-cápita, la cual se tomará del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos – 2021 y así poder calcular por cada año de vida útil del relleno sanitario.

Tabla 21. Generación de residuos para un periodo de vida útil de 10 años.

AÑO	POBLACIÓN DEL DISTRITO (Habitantes)	GPC (kg/hab/día)	GENERACIÓN MUNICIPAL (kg/día)	GENERACIÓN MUNICIPAL (Tn/día)
2025	84179.58	0.4462	37561.854	37.562
2026	87799.30	0.4507	39568.784	39.569
2027	91574.67	0.4552	41682.944	41.683
2028	95512.38	0.4597	43910.063	43.910
2029	99619.41	0.4643	46256.178	46.256
2030	103903.05	0.4690	48727.646	48.728
2031	108370.88	0.4737	51331.164	51.331
2032	113030.83	0.4784	54073.788	54.074
2033	117891.15	0.4832	56962.950	56.963
2034	122960.47	0.4880	60006.481	60.006
2035	128247.77	0.4929	63212.627	63.213

En la *Tabla 21* se presenta la proyección de la generación municipal de residuos sólidos en el distrito de Majes para el periodo 2025–2035. Se observa una tendencia ascendente tanto en la población como en la generación per cápita (GPC), que pasa de 0.4462 kg/hab/día en 2025 a 0.4929 kg/hab/día en 2035. Como resultado de este incremento poblacional y del ligero aumento en la producción individual de residuos, la generación total de residuos sólidos municipales se eleva progresivamente de 37.56 toneladas diarias en 2025 a 63.21 toneladas diarias en 2035.

C. Proyección de la producción anual

Se determinó la proyección de producción anual utilizando los datos de producción diaria para un año (365 días) (Tabla 22).

Tabla 22. Generación de Residuos para un periodo de vida útil de 10 años.

AÑO	POBLACIÓN DEL DISTRITO (Habitantes)	GENERACIÓN MUNICIPAL (Tn/día)	GENERACIÓN MUNICIPAL (Tn/año)
2025	84179.58	37.562	13710.077
2026	87799.30	39.569	14442.606
2027	91574.67	41.683	15214.274
2028	95512.38	43.910	16027.173
2029	99619.41	46.256	16883.505
2030	103903.05	48.728	17785.591
2031	108370.88	51.331	18735.875
2032	113030.83	54.074	19736.933
2033	117891.15	56.963	20791.477
2034	122960.47	60.006	21902.365
2035	128247.77	63.213	23072.745

4.4.3. Volumen de los residuos sólidos en el relleno sanitario

A. Volumen diario y anual de los residuos sólidos a disponer

En la *Tabla 23* se presenta la proyección del volumen diario y anual de residuos sólidos generados en el distrito de Majes para el periodo 2025–2035. Se observa una tendencia de crecimiento progresivo tanto en la cantidad de residuos generados como en el volumen total que deberá disponerse en el relleno sanitario. Para el año 2025, el volumen estimado alcanza 59.47 m³/día, equivalente a 21 707.24 m³/año, mientras que para el año 2035 se proyecta un volumen de 100.09 m³/día, equivalente a 36 530.99 m³/año

Tabla 23. Volumen anual de residuos sólidos a disponer para un periodo de vida útil de 10 años del relleno sanitario semimecanizado.

AÑO	GENERACIÓN MUNICIPAL (kg/día)	VOLUMEN DIARIO DE RESIDUOS SÓLIDOS m³ / día	VOLUMEN ANUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS m³ / año
2025	37561.854	59.472	21707.241
2026	39568.784	62.649	22867.059
2027	41682.944	65.997	24088.846
2028	43910.063	69.523	25375.913
2029	46256.178	73.238	26731.748
2030	48727.646	77.151	28160.026
2031	51331.164	81.273	29664.616
2032	54073.788	85.615	31249.596
2033	56962.950	90.190	32919.262
2034	60006.481	95.009	34678.138
2035	63212.627	100.085	36530.991

B. Volumen de material de cobertura

El volumen de material de cobertura se estimó a partir del volumen anual de residuos sólidos a disponer, aplicando un factor de cobertura equivalente al 20% (Tabla 24).

Tabla 24. Volumen de material de cobertura para un periodo de vida útil de 10 años del relleno sanitario semimecanizado.

AÑO	VOLUMEN ANUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER m³ / año	CÁLCULO DEL MATERIAL DE COBERTURA m³ / año
2025	21707.241	4341.448
2026	22867.059	4573.412
2027	24088.846	4817.769

2028	25375.913	5075.183
2029	26731.748	5346.350
2030	28160.026	5632.005
2031	29664.616	5932.923
2032	31249.596	6249.919
2033	32919.262	6583.852
2034	34678.138	6935.628
2035	36530.991	7306.198

C. Volumen total

El resultado acumulado de volumen de residuos sólidos es de 43837.190 m³ / año para el final del décimo año de funcionamiento del relleno sanitario semimecanizado (Tabla 25).

Tabla 25. Volumen total del relleno sanitario semimecanizado para un periodo de vida útil de 10 años.

AÑO	VOLUMEN ANUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER m³ / año	CALCULO DEL MATERIAL DE COBERTURA m³ / año	CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL m³ / año
2025	21707.241	4341.448	26048.690
2026	22867.059	4573.412	27440.471
2027	24088.846	4817.769	28906.616
2028	25375.913	5075.183	30451.096
2029	26731.748	5346.350	32078.098
2030	28160.026	5632.005	33792.031
2031	29664.616	5932.923	35597.539
2032	31249.596	6249.919	37499.516
2033	32919.262	6583.852	39503.115
2034	34678.138	6935.628	41613.766
2035	36530.991	7306.198	43837.190

4.4.4. Cálculos del área requerida

A. Área parcial

En la *Tabla 26* se observa un incremento progresivo en el volumen total de residuos sólidos generados pasando de 26,048.69 m³/año en el 2025 a 43,837.19 m³/año en el 2035. Este aumento responde directamente al crecimiento poblacional proyectado y al aumento de generación de residuos sólidos domiciliarios. Asimismo, el área parcial requerida para la disposición de los residuos también presenta una tendencia ascendente, incrementándose de 0.26 ha a 0.44 ha en el mismo periodo.

Tabla 26. Área parcial del relleno sanitario semimecanizado para un periodo de vida útil de 10 años.

AÑO	CÁLCULO DEL VOLUMEN	CÁLCULO DEL ÁREA
	TOTAL m ³ /año	PARCIAL ha
2025	26048.690	0.260
2026	27440.471	0.274
2027	28906.616	0.289
2028	30451.096	0.305
2029	32078.098	0.321
2030	33792.031	0.338
2031	35597.539	0.356
2032	37499.516	0.375
2033	39503.115	0.395
2034	41613.766	0.416
2035	43837.190	0.438

B. Área total

En la *Tabla 27* se presenta el área total estimada necesaria para la disposición final de los residuos sólidos generados por cada año. (Ver anexo 4).

Tabla 27. Área total del relleno sanitario semimecanizado para un periodo de vida útil de 10 años.

AÑO	CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL Ha	CÁLCULO DEL ÁREA ADMINISTRATIVA Ha	CÁLCULO DEL ÁREA ACUMULADA Ha
2025	0.260	0.104	0.365
2026	0.274	0.110	0.384
2027	0.289	0.116	0.405
2028	0.305	0.122	0.426
2029	0.321	0.128	0.449
2030	0.338	0.135	0.473
2031	0.356	0.142	0.498
2032	0.375	0.150	0.525
2033	0.395	0.158	0.553
2034	0.416	0.166	0.583
2035	0.438	0.175	0.614

4.4.5. Cálculo de la vida útil

De acuerdo con las guías de diseño y las normativas legales vigentes, el diseño actual del relleno sanitario semimecanizado en el distrito de Majes tiene una vida útil proyectada de 10 años. Esto es posible gracias a la disponibilidad de un terreno de más de 10 hectáreas, destinado a la construcción de celdas, trincheras y áreas administrativas que forman parte del mismo.

4.4.6. Volumen de recepción de las trincheras y plataformas

A. Volumen y dimensión de las trincheras.

El cálculo del volumen de la zanja se realizó mediante el método de áreas promedio y alturas. A continuación, en la *Tabla 28* se presenta el dimensionamiento propuesto para las dos trincheras que conforman el diseño del relleno sanitario semimecanizado.

Tabla 28. Dimensionamiento de las trincheras.

Descripción	Plataforma Única									Volumen (VUD)	Volumen acumulado
	Dimensiones						Largo inferior (li)	Ancho inferior (ai)	Área inferior (Ai)		
	Largo superior (ls)	Ancho superior (as)	Área superior (As)	Altura (h)	Talud de la trinchera						
(m)	(m)	(m)	(m)	H	V	(m)	(m)	(m)	(m) ³	(m) ³	
Trinchera 1	300	100	30000	5	2	1	280	90	25200	97460.604	97460.604
Trinchera 2	300	100	30000	5	2	1	280	90	25200	97460.604	194921.208

B. Volumen y dimensión de las plataformas.

El cálculo del volumen y dimensión de las plataformas se realizó mediante el método de áreas. A continuación, en la *Tabla 29*, se presenta el dimensionamiento propuesto para las dos plataformas sucesivas diseñadas sobre las dos trincheras que conforman el diseño del relleno sanitario semimecanizado.

Tabla 29. Dimensionamiento de las plataformas.

Descripción	Plataformas			Volumen (VUD)	Volumen acumulado
	Dimensiones				
	Largo	Ancho	Altura (h)		
(m)	(m)	(m)	(m) ³	(m) ³	
Plataforma 1	300	100	2	60000	60000
Plataforma 2	300	100	2	60000	120000

C. Volumen y dimensión de la celda diaria

En la *Tabla 30* se presenta el dimensionamiento de las celdas, las cuales tendrán un largo de 15 m y un ancho de 3.87 m.

Tabla 30. Dimensionamiento de las celdas

Cantidad promedio de residuos a disponer (t)	Densidad de los R.S. en celda (t/m ³)	Volumen de los residuos (m ³)	Volumen de material de cobertura (m ³)	Volumen de la celda diaria (m ³)	Frente de descarga	Avance transversal
30.50453	0.63	48.42	9.684	58.104	15	3.8736

4.4.7. Generación de lixiviados

A. Cálculo del caudal de generación de lixiviados

Se realizó el cálculo del caudal de generación de lixiviados, obteniéndose un valor de 2.52 m³/año. Este valor fue determinado aplicando la ecuación propuesta por Jaramillo (2004). El resultado obtenido indica que el volumen de lixiviados generado es relativamente bajo, lo cual se asocia a las condiciones climáticas áridas del distrito de Majes.

$$Q = \frac{0.23\text{mm/año} \times 45120 \text{ m}^2 \times 0.25}{31536000 \text{ seg/año}}$$

$$Q = 0.00008 \text{ l/s} = 0.006912 \text{ m}^3/\text{día} = 2.52288 \text{ m}^3/\text{año}$$

B. Dimensionamiento de la poza de lixiviados

Para el dimensionamiento de la poza de lixiviados se efectuó el cálculo considerando una recirculación periódica cada tres meses, siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

○ Cálculo del volumen de lixiviado a recircular

$$V = Q \times 30 \times N^{\circ} \text{ de meses}$$

$$V = 0.006912 \text{ m}^3/\text{día} \times 30 \times 3$$

$$V = 0.62208 \text{ m}^3$$

○ Cálculo de las dimensiones de la poza de lixiviación

Para el dimensionamiento de la poza de lixiviación se consideró una sección cuadrada de 5 x 5 m y una altura de 1.15 m, lo que genera un volumen total de 28.75 m³, suficiente para cumplir con el requerimiento de almacenamiento establecido.

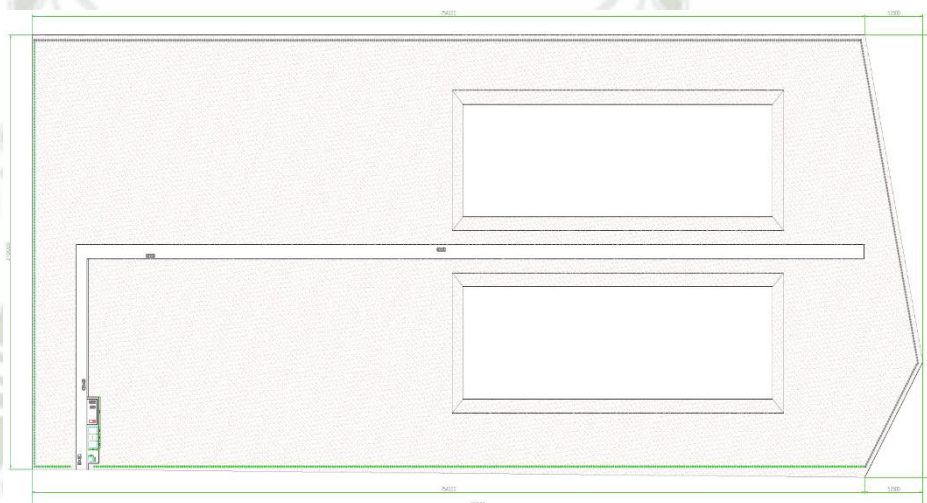
4.4.8. Dimensionamiento de las chimeneas

Los gases generados por la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos deben ser liberados de manera controlada y permanente, utilizando chimeneas de 0,60 m de ancho por 0,60 m de largo, construidas con piedras de 8" de diámetro y soportes de madera, que se elevan

verticalmente conforme se incrementa la altura de la celda. Este sistema de evacuación se completa con la instalación de un cilindro metálico de 55 galones, cortado por la mitad, colocado a 40 cm por encima del nivel final del perfil.

Finalmente, se presenta el diseño integral del relleno sanitario semimecanizado para el distrito de Majes, elaborado conforme a los criterios técnicos y operativos establecidos para la infraestructura de disposición final (Figura 40) (Anexo 4).

Figura 40: Diseño del relleno sanitario.



Nota. Medio - Autodesk Civil 3D. Elaboración propia.

La implementación del diseño de un relleno sanitario para el distrito de Majes representa una alternativa técnicamente viable y ambientalmente sostenible para enfrentar la problemática de la inadecuada disposición final de residuos sólidos municipales.

Así mismo, es importante resaltar que, si bien existen similitudes con otros diseños de rellenos sanitarios semimecanizados propuestos en el país, el proyecto propuesto para el distrito de Majes presenta características particulares que responden a las condiciones necesarias del territorio. En contraste con lo planteado en el estudio de Ricaldi et al. (2021) en el distrito de El Tambo, donde se proyectó un relleno sanitario semimecanizado con diez zanjas para una vida útil de diez años, el diseño para el distrito de Majes propone únicamente dos zanjas complementadas por dos plataformas sucesivas. Esta decisión responde al método mixto adoptado y se justifica técnicamente por el análisis topográfico, el estudio de suelos, la disponibilidad de área

y la proyección de generación de residuos, optimizando así el uso del espacio y los recursos disponibles.

4.5. Estrategias de compensación ambiental de infraestructura natural

4.5.1. Formación de cercos vivos con especies vegetales

La implementación de un cerco vivo en el área del relleno sanitario semimecanizado se plantea como una medida de compensación ambiental basada en infraestructura natural. Para ello, se propone el uso de especies arbóreas con capacidad de captura y almacenamiento de CO₂, adaptadas a las condiciones áridas del distrito de Majes. Esta estrategia no solo contribuirá a la mitigación de los gases de efecto invernadero, sino que además ofrecerá beneficios complementarios como protección frente a vientos, mejora del paisaje y aporte a la biodiversidad local.

A. Selección de las especies.

La selección cuidadosa de las especies es un paso crucial para la realización del cerco vivo o barrera natural que se pretende implementar en el diseño del relleno sanitario semimecanizado. Este análisis se enfoca en identificar y seleccionar especies que se adaptan de manera óptima al entorno y a las condiciones ambientales (clima, suelo, disponibilidad de agua, etc.) que presenta la zona de estudio y que influyen de manera directa o indirecta en el crecimiento de especie (Ponce, 2024).

Considerando las condiciones climáticas del distrito de Majes, caracterizadas por un clima árido, suelos de textura franco-arenosa y una alta exposición solar, se propone la selección de las siguientes especies:

- a. ***Acacia Macracantha***: En su etapa adulta, desarrolla una notable cantidad de biomasa, lo que le confiere un papel clave en el almacenamiento de carbono. Este proceso se da a través de la fotosíntesis, mediante la cual el árbol capta dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y lo convierte en compuestos orgánicos que forman parte de sus estructuras. Por ello, a mayor biomasa, mayor es la capacidad del árbol para secuestrar carbono, contribuyendo directamente a la mitigación del cambio climático. Diversos estudios destacan el alto potencial de esta especie para capturar carbono en zonas áridas y semiáridas, donde su adaptabilidad y eficiencia son especialmente valiosas (Paredes Ríos, 2023). En un estudio realizado

en el departamento de Cajamarca indica que la especie *A. macracantha* captura 639.94 Tn/ha de carbono respectivamente (Soto & Larrea, 2025)

Figura 41: Características morfológicas del huarango espinoso (*Acacia Macracantha*).



Nota. Municipalidad de Miraflores (2025).

- b. ***Schinus molle*:** Se caracteriza por su resistencia a la salinidad y a condiciones de sequía, así como por un sistema radicular profundo que favorece la estabilización del suelo. Además, actúa como un eficiente sumidero de carbono, lo que lo convierte en una alternativa estratégica para proyectos de restauración ecológica en ecosistemas degradados (MINAM, 2021). En el estudio realizado por Hurtado (2023) sobre árboles urbanos en la ciudad de Huánuco, se determinó que el *Schinus molle*, con un total de 116 individuos, logró capturar 30,995 toneladas de CO₂.

Figura 42: Morfología de *Schinus Molle*.



Nota. Arcos (2024).

Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de *Acacia Macracantha* tiene un efecto positivo sobre la calidad del suelo y la regulación microclimática, ya que contribuye a incrementar la humedad, la materia orgánica y los nutrientes esenciales. Esto coincide con lo reportado por (Abad et al. 2023), quienes observaron mejoras significativas en las propiedades edáficas bajo la copa de *Acacia Macracantha* en ecosistemas áridos. La capacidad de esta especie para desarrollarse en suelos pobres y mantener un crecimiento estable bajo condiciones de sequía prolongada constituye una ventaja crucial para zonas como Majes. Por otro lado, *Schinus molle* se caracteriza por su excelente adaptación a climas secos y suelos con bajo contenido de materia orgánica. Belhoussaine et al. (2024) resaltaron que esta especie presenta una notable tolerancia al estrés edáfico, manteniendo una elevada actividad metabólica incluso en suelos degradados. Esta resiliencia explica su potencial para establecerse sin riego permanente una vez completada la fase de implantación, favoreciendo además la captura de carbono atmosférico mediante la acumulación de biomasa foliar y leñosa.

Al comparar las especies seleccionadas con otras comúnmente utilizadas en proyectos de revegetación, como la *Casuarina equisetifolia* y *Opuntia ficus-indica*, se evidencia una ventaja significativa. *Opuntia ficus-indica* posee una alta tolerancia a la sequía gracias a su metabolismo CAM, pero su baja producción de biomasa limita su potencial de secuestro de carbono. Jardim et al. (2023) demostraron que las cactáceas, pese a su eficiencia hídrica, presentan tasas reducidas de fijación de CO₂ debido a su baja densidad foliar y crecimiento lento. En contraste, *Casuarina equisetifolia* ha mostrado alta productividad en ambientes costeros, pero (Xiuyu et al. 2024) advierten que sus plantaciones monoespecíficas tienden a disminuir la fertilidad del suelo y requieren manejo intensivo para evitar mortalidad por estrés hídrico. En este sentido, la combinación de *Acacia Macracantha* y *Schinus molle* ofrece un balance ideal entre resistencia, aporte ecológico y bajo requerimiento de mantenimiento, características prioritarias en zonas áridas como Majes.

Desde la perspectiva de la gestión ambiental, el establecimiento de un cerco vivo mixto constituye una medida costo-efectiva de compensación ambiental. Su contribución al control de polvo, la regulación térmica y la

captura de carbono respalda los objetivos de sostenibilidad del proyecto y se alinea con las recomendaciones internacionales de restauración ecológica basadas en soluciones naturales. Muthuri et al. (2023) señalan que la inclusión de especies leñosas nativas en sistemas semiáridos favorece la estabilidad de los suelos, aumenta la biodiversidad local y refuerza los servicios ecosistémicos relacionados con el clima y el agua.

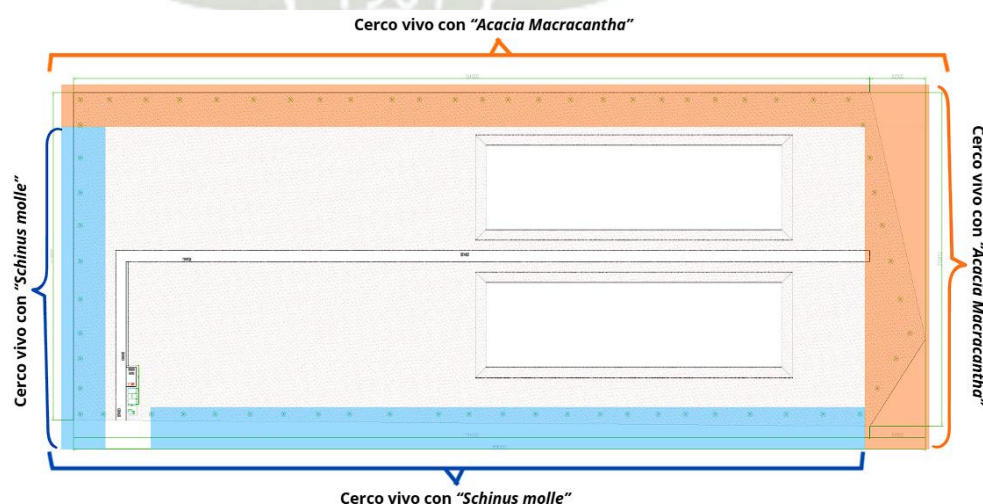
B. Plan para la siembra de especies vegetales

○ Distanciamiento y método de plantación

Se propone la implementación de un cerco vivo continuo en todo el perímetro del área destinada al relleno sanitario. La distribución contempla que cada especie ocupe un tramo en forma de “L”: *Acacia macracantha* se dispondrá en la zona posterior y el lateral oeste, mientras que *Schinus molle* se ubicará en el frente y el lateral de acceso principal (Figura 43).

Esta disposición permite combinar las características funcionales de ambas especies, optimizando beneficios como captación de CO₂, protección frente a vientos y cobertura vegetal. Considerando las características morfológicas de ambas especies y su altura promedio superior a 15 metros, se establece un distanciamiento de 2 metros entre individuos con el fin de garantizar un desarrollo adecuado sin competencia excesiva por recursos.

Figura 43: Modelo de distribución de plantación de *Acacia macracantha* y *Schinus Molle*.



- **Preparación del terreno**

El área destinada a la plantación presenta un suelo arenoso y con presencia superficial de sales, condición típica en los suelos del distrito de Majes. Antes de excavar los hoyos de plantación, se recomienda realizar un lavado de sales (lixiviación) para reducir la concentración salina en la zona radicular. Este procedimiento consiste en aplicar un volumen adicional de agua para arrastrar las sales hacia horizontes más profundos, técnica ampliamente recomendada para recuperar suelos salinos y permitir el establecimiento de especies leñosas. De acuerdo con el Marco de Gestión Ambiental del Banco Mundial, el lavado de suelos es una medida eficaz para disminuir la salinidad del suelo hasta niveles tolerables y facilitar su uso. De manera complementaria, manuales técnicos de manejo de riego describen la lixiviación como una práctica necesaria cuando se identifica salinidad en los primeros 20–40 cm del perfil del suelo (Rivulis, 2023).

Luego del lavado inicial, se realizará una limpieza selectiva del terreno, retirando únicamente material inerte y residuos, así como la vegetación herbácea que interfiera directamente con los puntos de plantación. La cobertura herbácea dispersa que no represente competencia inmediata será conservada, ya que esta vegetación nativa contribuye a reducir la erosión, mantener la humedad superficial y favorecer la actividad microbiana del suelo, elementos clave para el establecimiento de especies leñosas en zonas áridas (MINAM, 2021).

En el ecosistema semiárido de Majes-Pedregal, la presencia de herbáceas halófitas y xerófitas constituye un soporte ecológico clave para el establecimiento de especies leñosas como *Schinus molle* y *Acacia macracantha*. Entre la vegetación desierto costeras que se presenta el distrito de majes están las especies del género *Tillandsia*. Según un estudio realizado por ECO SOLUTIONS S.A.C., (2019) en donde describen la flora encontrada en una zona desértica del distrito de Majes, registraron especies como *Tillandsia purpurea* y *Tillandsia capillaris* las cuales se crecen es este tipo de ecosistema gracias al clima y suelo del lugar. Asimismo, se pueden encontrar otras son especies del género *Atriplex* como *A. peruviana* y *A. myriophylla* las cuales actúan como plantas nodriza al tolerar suelos pobres, acumular sales y generar sombra parcial (Royal Botanic Gardens, Kew, 2023). La existencia de asteráceas como *Bidens* y *Conyza* contribuyen a

mantener la cubierta superficial y generan microambientes menos estresantes para la implantación de nuevos plantones (MINAM, 2021).

Posteriormente, se abrirán hoyos de $40 \times 40 \times 40$ cm, donde los primeros 20 cm se enmendarán con una mezcla de compost y tierra agrícola, lo cual mejora la estructura física del suelo y aumenta su retención de humedad. La adición de materia orgánica también contribuye a disminuir la salinidad efectiva del sustrato (Meza, 2024) (Wang et al., 2023). De forma complementaria, puede incorporarse fertilizantes como biochar, cuyos efectos positivos sobre suelos arenosos incluyen mayor porosidad, menor compactación y reducción del impacto de sales en la zona radicular (Rashmi et al., 2023).

Además, se priorizará el uso de plantones o semillas de especies nativas o previamente adaptadas al ecosistema semiárido de Majes, esto con el motivo que no sufran estrés ambiental al momento del establecimiento.

○ **Siembra**

Se procederá a la extracción cuidadosa del plantón de la bolsa empleada durante su proceso de viverización, procurando no dañar el sistema radicular. Esta acción es fundamental para preservar la integridad fisiológica del ejemplar y minimizar el estrés asociado al trasplante, lo cual puede afectar negativamente su tasa de supervivencia. Una vez extraído, el plantón es colocado en posición vertical dentro del hoyo de plantación, asegurando que la base del tallo coincida con el nivel del suelo. Posteriormente, se procede al relleno del hoyo utilizando el sustrato previamente acondicionado. Durante este proceso, se realiza una compactación ligera y manual del material, con el propósito de eliminar posibles bolsas de aire y garantizar un adecuado contacto entre el sustrato y el sistema radicular (Chacón, 2024).

Concluida la siembra, se aplica un riego abundante que permite asentar el sustrato y proporcionar la humedad necesaria durante las primeras horas de adaptación. Este primer riego también sirve como indicador de la capacidad de infiltración del suelo en el área intervenida (Meza, 2024).

○ **Riego**

El riego constituye un factor crítico en el establecimiento exitoso de especies arbóreas en zonas áridas y suelos arenosos, pues el sistema radicular permanece superficial durante los primeros meses y es altamente sensible al estrés hídrico.

Para asegurar sostenibilidad hídrica, se propone implementar un sistema de riego por goteo, el cual reduce pérdidas por evaporación y permite un aporte controlado de agua directamente en la zona radicular. Por ejemplo en zonas áridas de Chile, la Comisión Nacional de Riego respalda este método como una opción altamente eficiente para optimizar el uso del agua y mejorar la infiltración en suelos livianos (CNR, 2022), Majes al tener este tipo de zonas áridas este sería un método eficaz.

El esquema de riego recomendado es el siguiente:

- Primera semana: riego diario.
- Primeros dos meses: tres riegos por semana.
- Desde el tercer mes hasta los 18–24 meses: dos riegos por semana.

Este régimen asegura un adecuado enraizamiento y mejora la tasa de supervivencia de las especies plantadas (Benito & Palermo, 2021; Kanan, 2017).

○ **Mantenimiento de las especies sembradas**

Las labores de mantenimiento comprenden un conjunto de prácticas orientadas a asegurar la supervivencia y el desarrollo óptimo de las especies plantadas. Entre estas acciones se incluye la plantación de reposición, que consiste en reemplazar las plántulas que no lograron sobrevivir, garantizando así la continuidad del proyecto (Bustamante et al., 2022). Asimismo, se debe realizar el control de malezas, eliminando la vegetación no deseada que compite por agua, luz y nutrientes en el entorno inmediato de cada planta (SERFOR, 2021).

La fertilización o abonamiento se aplica cuando se identifican deficiencias de nutrientes en el suelo. Para ello, se utilizan abonos orgánicos, como el compost, o fertilizantes químicos según las necesidades del terreno y de cada especie (SERFOR, 2021). En cuanto al control fitosanitario, este implica la revisión

periódica del estado sanitario de las plantas mediante inspecciones visuales del follaje, las ramas y el fuste, con el objetivo de detectar enfermedades o ataques de plagas. En caso de afectación, se recurre al uso de insecticidas o plaguicidas apropiados, según el tipo de agente patógeno identificado (Rivera et al., 2025).

Finalmente, se contempla la realización de podas, cuya aplicación varía de acuerdo con el propósito de la plantación. Estas incluyen podas de crecimiento y de saneamiento, destinadas a eliminar ramas secas, enfermas o dañadas que puedan afectar la vitalidad del ejemplar (Rivera et al., 2025). Para ejemplares mayores a tres años, se recomienda no podar más de la mitad de la copa (SERFOR, 2021), a fin de evitar estrés y daños estructurales.

4.5.2. Estimación de la captura de dióxido de carbono (CO₂).

En el botadero actual del distrito de Majes, la disposición inadecuada y no controlada de los residuos sólidos genera procesos de descomposición anaerobia desordenada, los cuales liberan gases de efecto invernadero principalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) sin ningún sistema de captura o tratamiento. Este escenario produce concentraciones elevadas de CO₂ en el entorno inmediato, incrementadas además por la combustión ocasional de residuos, que contribuye directamente a la contaminación atmosférica local y a la generación de olores desagradables. Este tipo de disposición representa una de las principales fuentes de GEI en zonas semiáridas del sur peruano (Cristóbal et al., 2022).

Por el contrario, el relleno sanitario propuesto incorpora un manejo técnico de los residuos mediante compactación y cobertura diaria, lo cual reduce el contacto del material orgánico con el oxígeno y limita la emisión directa de gases. Asimismo, se considera la instalación de drenes y una poza de lixiviados, que previenen la infiltración de líquidos contaminantes hacia el suelo, protegiendo la calidad ambiental del entorno.

Además, se considera la implementación de una barrera natural perimetral compuesta por dos especies: *Schinus molle* (molle peruano) y *Acacia macracantha* (faique o huarango), seleccionadas por su capacidad de adaptación a condiciones áridas y su potencial de captura de dióxido de carbono (CO₂).

La especie *Schinus molle*, comúnmente conocida como molle peruano, será plantada en un total de 551 unidades alrededor del cerco perimétrico del relleno sanitario. Es un árbol de porte mediano, con biomasa moderada y crecimiento de moderado a rápido. Según Hurtado (2023), en un estudio sobre árboles urbanos en la ciudad de Huánuco, 116 individuos de *Schinus molle* almacenaron 8,452 Tn de carbono, equivalentes a 30,995 Tn de CO₂, lo que representa un factor promedio de 0,267 Tn de CO₂ por árbol. Aplicando este valor, se estima que los 551 árboles proyectados podrían capturar aproximadamente 147,12 Tn de CO₂ a lo largo de su ciclo de vida.

En el caso de *Acacia macracantha*, se proyecta la plantación de 535 individuos en el área asignada. Esta especie es ampliamente reconocida por su rusticidad, eficiencia en la producción de biomasa y elevada capacidad de secuestro de carbono en ecosistemas secos. Según el estudio desarrollado por Soto & Larrea (2025) en los bosques del caserío Damiana Baja, distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén, *A. macracantha* alcanza un almacenamiento promedio de 655.03 toneladas de carbono por hectárea (TnC/ha), equivalente a 2,403.96 toneladas de dióxido de carbono por hectárea (TnCO₂/ha), considerando una densidad de 294 árboles por hectárea. A partir de estos datos, se estima una captura promedio de 8.18 Tn CO₂ por árbol a lo largo de su ciclo de vida. Con base en ello, la captura total estimada para los 535 individuos propuestos es 4376.3 Tn CO₂

Esta alta capacidad de captura de CO₂ por parte de *Acacia macracantha* se asocia directamente con su naturaleza de leguminosa fijadora de nitrógeno, lo que favorece la acumulación de carbono tanto en la biomasa aérea como en el suelo. Este comportamiento coincide con lo señalado por Paul (2022), quien indica que los árboles con alto contenido de biomasa leñosa capturan entre 2 y 3 veces más carbono que los arbustos o especies de crecimiento moderado, debido a su estructura de madera densa y raíces profundas que retienen carbono de manera más estable. De igual forma, Zhang et al. (2018) señalan que las plantaciones de *Acacia* presentan una mayor tasa de acumulación de carbono que las de *Eucalyptus*, gracias a su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo y promover el secuestro de carbono orgánico, especialmente en ecosistemas áridos o semiáridos.

Murphy (2024) señala que las especies tropicales con capacidad de fijar nitrógeno, resistentes a la sequía y de rápido crecimiento, contribuyen de manera significativa al balance global de carbono, especialmente en zonas degradadas o de baja productividad agrícola. Esta afirmación coincide con los hallazgos de Hirt et al. (2023), quienes

sostienen que incluso los ecosistemas áridos pueden transformarse en sumideros de carbono mediante la integración de especies leñosas adaptadas y microorganismos del suelo que potencian el almacenamiento de carbono orgánico. De igual modo, Sprenkle-Hyppolite et al. (2024) destacan que el incremento de cobertura arbórea en áreas agrícolas o de pastoreo podría capturar hasta 3,3 gigatoneladas de CO₂ por año sin comprometer la productividad, consolidando a los árboles como un componente esencial de las estrategias de mitigación del cambio climático.

Estudios internacionales refuerzan esta tendencia por ejemplo Tommila (2024) reporta que los árboles perennes capturan entre 4 y 6 veces más CO₂ que los arbustos en entornos urbanos semiáridos, mientras que Abad et al. (2023) evidencian que la *Acacia macracantha* incrementa la materia orgánica del suelo y mejora su capacidad de retención de carbono en zonas áridas del sur. Estas comparaciones validan que las estimaciones proyectadas se mantienen dentro de los rangos observados en la literatura científica. En consecuencia, la *Acacia macracantha* y el *Schinus molle* se consolidan como especies con mayor potencial de fijación de CO₂ para implementar en el relleno sanitario, además que cumple una función complementaria, aportando cobertura vegetal, estabilidad del suelo y eficiencia hídrica en el entorno.



CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

PRIMERO: Del estudio de caracterización se determinó que la generación per cápita de residuos de la población del distrito de Majes en el año 2021 fue de 0.4288 kg/hab/día, proyectándose para el año 2035, según la tendencia observada, un valor de 0.4929 kg/hab/día.

SEGUNDO: Se evaluaron tres alternativas para el diseño a nivel de infraestructura del relleno sanitario, considerando múltiples criterios técnicos. Sin embargo, la primera alternativa fue seleccionada con un puntaje de 464 puntos por cumplir de manera más consistente con los criterios fundamentales para la viabilidad del proyecto. El área propuesta se encuentra ubicada al Norte del distrito de Majes y tiene un área de 22 hectáreas aproximadamente.

TERCERO: El tipo de relleno sanitario propuesto para el distrito de Majes, según la evaluación realizada, es de tipo semimecanizado, dado que la generación de residuos sólidos estimada es de 30.502 Tn/día. El diseño del relleno sanitario está proyectado para una vida útil de 10 años, con una capacidad de almacenamiento de 284,798.112 m³. Se emplea un método mixto, iniciando con la excavación de dos zanjas de 300 m de largo, 100 m de ancho y 5 m de profundidad, seguidas por la construcción sucesiva de dos plataformas diseñadas para recibir los residuos generados en ese período. Además, contará con celdas diarias de 15 m de largo y 3.8 m de ancho, lo que garantizará una operación eficiente y un adecuado manejo de los residuos sólidos.

CUARTO: La implementación de un cerco vivo conformado por *Schinus molle* (551 individuos) y *Acacia macracantha* (535 individuos) en el diseño del relleno sanitario semimecanizado constituye una medida estratégica de compensación ambiental basada en infraestructura natural. La selección de estas especies responde a su notable capacidad de adaptación a condiciones áridas, tolerancia a suelos con bajo contenido de materia orgánica, resistencia a periodos de sequía y eficiencia en la captura de dióxido de carbono (CO₂). Se proyecta que los 551 individuos de *Schinus molle* capturen en conjunto un promedio de 147,12 Tn de CO₂ a lo largo de su ciclo de vida, mientras que los 535 individuos de *Acacia macracantha* capturaran aproximadamente 4,376.3 toneladas de CO₂. En conjunto, esta medida representa un aporte significativo a la mitigación del cambio climático y fortalece la sostenibilidad ambiental del proyecto.

5.2. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Implementar sistemas de captación y aprovechamiento del biogás, orientados a reducir las emisiones de metano (CH_4) y transformarlo en una fuente de energía renovable que pueda ser utilizada en el distrito.

SEGUNDO: Elaborar un plan de cierre y postclausura del relleno sanitario, considerando la cobertura final del área, el monitoreo de lixiviados y biogás, así como la revegetación con especies nativas que aseguren la recuperación ambiental del sitio.

TERCERO: Evaluar la eficacia del cerco vivo conformado por *Acacia macracantha* y *Schinus molle* en la captura de CO_2 y en la provisión de servicios ecosistémicos (sombra, reducción de erosión, hábitat), incluyendo el análisis de otras especies nativas que podrían complementar la estrategia de compensación ambiental.

CUARTO: El diseño propuesto puede considerarse un modelo técnico de referencia para futuros estudios y proyectos relacionados a la gestión de residuos sólidos en distritos con características similares a las del distrito de Majes.

QUINTO: Implementar y evaluar sistemas de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario semimecanizado, a partir de la caracterización fisicoquímica del lixiviado y del diseño técnico de los sistemas de impermeabilización y drenaje, considerando las condiciones ambientales, climáticas e hidrológicas del distrito de Majes.



- Abad, K., Córdova, L., & Vargas, R. (2023). Edaphic properties under *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Seigler & Ebinger in an arid environment. *Journal of Arid Environments*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104878>
- Abdel-Shafy, H., Ibrahim, A., Ahmed M, A.-S., & Raouf, O. (2024). Landfill leachate: Sources, nature, organic composition, and treatment: An environmental overview. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102293>
- Aquino Rentería, E. D. (2024). “ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE UN BOSQUE RIBEREÑO COSTERO, ASOCIADO A CULTIVOS VITIVINÍCOLAS, DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO CARAVELÍ, AREQUIPA” [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6205>
- Arcos Hernández, K. (2024). Determinación del apti en especies arbóreas de importancia en sistemas ecosistemicos del campus II, FES-Z, UNAM. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000864659>
- Banco Interamericano de Desarrollo – BID. (2019). Gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe: Diagnóstico y desafíos para el desarrollo sostenible. BID. <http://dx.doi.org/10.18235/0006297>
- Bartra Huanaquiri, S. T. (2023). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales en la zona urbana del distrito de Indiana, Loreto, Perú 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Científica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/2546>
- Belhoussaine, O., El Hamdaoui, A., & Ait Hssaine, B. (2024). Phytochemical characterization and nutritional value of *Schinus molle* L. *Food Chemistry*, 388. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101580>
- Benito, G., Palermo, M. (2021). El árbol en la ciudad: manual de arboricultura urbana. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2021. <https://efa.agro.uba.ar/wp-content/uploads/librosdigitales/el-arbol.pdf>
- Bustamante, C., Murillo, E., & Flores, O., (2022). Consejos de buenas prácticas de Reforestación AbE. Pronatura México. Proyecto CuencasVerdes: Adaptándonos

al futuro. Ciudad de México.

https://pronatura.org.mx/pdf/AbE/Manual_Reforestacion.pdf

Casiano, M., Paz, F., Rojo, M., Covaleda, S., & Aryal, D (2018). El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación en México. *Madera y Bosques*. <https://doi.org/10.21829/MYB.2018.2401894>

Causa, Y. (2019). Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales y Propuesta de Diseño de Relleno Sanitario Manual para el Distrito de Cairani - Provincia Candarave – Tacna (Tesis de pregrado). Universidad Privada de Tacna, Perú. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1267>

Chacón, O. (2024). De la siembra a la restauración: protocolo para la plantación de árboles nativos y la mejora de los servicios ecosistémicos en el contexto de la adaptación climática. https://www.researchgate.net/publication/389951264_De_la_siembra_a_la_restauracion_protocolo_para_la_plantacion_de_arboles_nativos_y_la_mejora_de_los_servicios_ecosistemicos_en_el_contexto_de_la_adaptacion_climatica.

Chacon, R. (2024). Evaluación del efecto de la plantación forestal de *Pinus Radiata* sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en la comunidad campesina de Pariamarca, Distrito de Yanacancha - 2023. Obtenido de http://45.177.23.200/bitstream/undac/4445/1/T026_74214020_T.pdf

Chambi, R. L. R. (2021). *Schinus molle* L. COMO FITORREMEDIAADOR EN LA BIOACUMULACIÓN DE PLOMO [UNIVERSIDADE DO CONTESTAD]. <https://uni-contestado-site.s3.amazonaws.com/site/biblioteca/ebook/Romina%20-%20SCHINIS%20molle%20L.pdf>

Colán de la Vega, X. del P., Cipra Rodríguez, J. A., Montoya Yanavilca, A. E., Adriano Reyes, J. J., & Móstiga Rodríguez, M. J. (2020). ¿Existe riesgo de caída de árboles de *Schinus molle* por la presencia de tumores en la ciudad de Lima? *Espacio y desarrollo*, 34, 175–200. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201902.008>

Colombo, S. M. (2019). THE NATURALISTIC RECOVERY OF AN OLD LANDFILL: THE CASE OF VIZZOLO PREDABISSI (MI). *Detritus*, Volume 07-September 2019(0), 1. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2019.13848>

- Colque, F. (2018). "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INSTALACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA LA PROVINCIA DE ISLAY; AREQUIPA 2017" (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de San Agustín. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0298726b-6bab-484f-a8ea-112fac6e8888/content>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. (2021). Panorama de la economía circular en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. <https://hdl.handle.net/11362/47309>
- Comisión Nacional de Riego (CNR). (2022). Guía técnica para el riego por goteo en zonas áridas de Chile. Ministerio de Agricultura, Chile. Recuperado de <https://www.cnr.gob.cl>
- Constitución Política del Perú. Art. 2 (29 de diciembre de 1993).
- Coth, R., Trois, C., Parkin, J., & Strachanc, L. (2011). "Delivery and viability of landfill gas CDM projects in Africa--A South African experience," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 15(1), pages 392-403, January. <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v15y2011i1p392-403.html>.
- Cossío, C., & Ludeña, N. (2017). Manual de instalación y manejo de plantaciones forestales con especies nativas y exóticas en el Perú. Ministerio del Ambiente. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.08.004>
- Cristóbal, J., Vázquez-Rowe, I., Margallo, M., Aldaco, R., & Kahhat, R. (2022). Climate change mitigation potential of transitioning from open dumpsters in Peru: Evaluation of mitigation strategies in critical dumpsites. *Science of The Total Environment*, 846, 157295. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157295>
- Cyamweshi, A. R., Kuyah, S., Mukuralinda, A., & Muthuri, C. W. (2021). Potential of *Alnus acuminata* based agroforestry for carbon sequestration and other ecosystem services in Rwanda. *Agroforestry Systems*, 95(1125–1135). <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00619-5>
- Da Luz, K. T., Ramalho, A. H. C., de Souza, E. S., & Silva, C. B. (2025). Geotechnological multicriteria analysis applied to identify optimal locations for the installation of sanitary landfills. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101398>

Decreto Legislativo N°1501 (2020). Modificatoria de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario Oficial «EL PERUANO». Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/>

Decreto Legislativo N° 1278 (2017). Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario Oficial «EL PERUANO». Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/>

Decreto Supremo N°014-2017-MINAM (2017). Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario Oficial «EL PERUANO». Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/>

Decreto Supremo N°023-2021-MINAM (2021). Política Nacional del Ambiente 2030. Diario Oficial «EL PERUANO». Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/>

Defensoría del Pueblo. (2019). Composición de residuos sólidos municipales en el Perú 2018 [Informe].

Dongo, G. (2015). Especies Forestales Pisos Altitudinales 3000 - 4500 MSNM. <https://es.scribd.com/document/196716956/Especies-Forestales-Pisos-Altitudinales-3000-4500-Msmn>

ECO SOLUTIONS (2024). SEGUNDO INFORME TÉCNICO SUSTENTATORIO DEL PROYECTO “INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE GESTIÓN NO MUNICIPAL – RELLENO DE SEGURIDAD MAJES”. <https://consultaciudadana.senace.gob.pe/#!/estudio/descargas>

Flo Solutions S.A.C. (2019). Estudio hidrogeológico de la Pampa de Majes. <https://es.scribd.com/document/647373098/Informe-Final-Estudio-Hidrogeologico-de-La-Pampa-de-Majes>

Fredesvinda, Carrillo & Judith, García & Cabrera Pintado, Rosa & Jhair, Vásquez & Tuisima-Coral, Lady & Escobar-Garcia, Hector & Aguirre Gil, Oniel Jeremías & Cristina, Quintana & Amasifuen Guerra, Carlos. (2020). Manual técnico para la propagación y conservación de especies de algarrobo (*Prosopis* spp.). https://www.researchgate.net/publication/356612470_Manual_tecnico_para_la_propagacion_y_conservacion_de_especies_de_algarrobo_Prosopis_spp

- Garbelini, C., Barros, M., Catai, R., Dos Santos, D. & de Oliveira, J. (2022). Toward a cleaner and more sustainable world: A framework to develop and improve waste management through organizations, governments and academia. *Heliyon*, 8(5), e09225. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09225>
- GEO GPS PERU (2025). Descarga de Shapelite gratis. <https://www.geogpsperu.com/p/descargas.html>
- Gomez, R. (2024). Propuesta de un diseño de relleno sanitario para el distrito de Sicaya - Huancayo - 2023. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15069/1/IV_FIN_107_TE_Gomez_Aguilar_2024.pdf
- Gulnihal, O.; Morgan, J; Mohana, G.; Shehu, I. & Tahera, A. (2021). Design and Operation of Effective Landfills with Minimal Effects on the Environment and Human Health. *Journal of Environmental and Public Health*, 2021, Article ID 6921607, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/6921607>
- Guzmán, B. K., García-Bravo, A., Allauja-Salazar, E. E., Mejía, I. A., Guzmán, C. T., & Oliva, M. (2021). Endemism of woody flora and tetrapod fauna, and conservation status of the inter-Andean Seasonally Dry Tropical Forests of the Marañón valley. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01639. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01639>
- Hanco, J. (2023). Aplicación del software QGIS para la ubicación óptima de un relleno sanitario en el distrito de Ayaviri, Puno – 2023. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental]. Universidad Privada San Carlos. https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/556/Juan_Edilberto_HANCCO_CHUCTAYA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Hanson, J. L., Manheim, D. C., & Yeşiller, N. (2023). Geoenvironmental assessment of climate impacts from landfill gas emissions. *Soils and Foundations*, 63(2), 101279. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101279>
- Hirt, H., Boukcim, H., Ducouso, M., & Saad, M. M. (2023). Engineering carbon sequestration on arid lands. *Trends in Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.08.009>

- Hosseini Beinabaj, S. M., Heydariyan, H., Mohammad Aleii, H., & Hosseinzadeh, A. (2023). Concentration of heavy metals in leachate, soil, and plants in Tehran's landfill: Investigation of the effect of landfill age on the intensity of pollution. *Heliyon*, 9(1), e13017. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13017>
- Hurtado Pimentel, A. J. (2023). ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE ÁRBOLES URBANOS Y EL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO [UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/bd45e7af-8bc8-43b6-ba08-7e9548c29fcc>
- Hyppolite, S., Griscom, B., Griffey, V. et al. Maximización del carbono arbóreo en tierras de cultivo y pastoreo manteniendo los rendimientos. *Carbon Balance Manage* 19, 23 (2024). <https://doi.org/10.1186/s13021-024-00268-y>
- Idrogo, R. (2024). Uso de la evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica para determinar la localización óptima de un relleno sanitario en el distrito de Conchán, Chota, Perú. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental]. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Cajamarca, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/542>
- INEI (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. <https://censo2017.inei.gob.pe/publicaciones/>
- 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>
- IPCC. (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- IPCC. (2019). Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- IPCC. (2019). Refinamiento de 2019 a las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Panel Intergubernamental

sobre Cambio Climático. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Izquierdo-Horna, L., & Camacho-Castañeda, D. (2022). MUNICIPAL SOLID WASTE GENERATION: AN EXPLORATORY ANALYSIS OF CONSUMPTION PATTERNS IN PERU. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 260(2022), 405-413. <https://doi.org/10.2495/SC220331>

Jardim, A. M. R. F., Santos, F. A., & da Silva, M. C. (2023). Sink or carbon source? How the Opuntia cactus contributes to carbon sequestration in semi-arid agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 346. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130121>

Junta de Usuarios de la Pampa de Majes. (13 feb 2024). Reporte estación meteorológica JUPM. [https://jupm.pe/distribucion/reportes-estacion-meteorologica-jupm-del-13-02-2024#:~:text=Temperatura%20m%C3%A1xima%20%3A%2029.9%20%C2%B0C,Temperatura%20m%C3%ADnima%20%3A%2014.4%20%C2%B0C.&text=Et%20\(evapotranspiraci%C3%B3n\)%20%3A%204.13%20mm](https://jupm.pe/distribucion/reportes-estacion-meteorologica-jupm-del-13-02-2024#:~:text=Temperatura%20m%C3%A1xima%20%3A%2029.9%20%C2%B0C,Temperatura%20m%C3%ADnima%20%3A%2014.4%20%C2%B0C.&text=Et%20(evapotranspiraci%C3%B3n)%20%3A%204.13%20mm)

Kalita, S., Potter, H. K., Weih, M., Baum, C., Nordberg, Å., & Hansson, P.-A. (2021). Soil carbon modelling in Salix biomass plantations: Variety determines carbon sequestration and climate impacts. *Forests*, 12(11), 1529. <https://doi.org/10.3390/f12111529>

Kanan, K., (2017). Manual de Reforestación Urbana. Kanan Kab Protección de Mundo A.C. https://www.kanankab.org.mx/descarga/manual_reforestacion.pdf

Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development; © World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/30317>

Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016). Diario Oficial El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-degestion-integral-d-decreto-legislativo-n-1278-1466666-4/>

Ley N°28611 (2005). Ley General del Ambiente. Congreso de la República. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>

- Ley N°27972 (2003). Ley Orgánica de Municipalidades. Congreso de la República.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5478501/4886882-ley-organica-de-municipalidades.pdf?v=1700857701>
- Liu, H., Zhang, J., & Wang, Z. (2025). Assessing and optimizing the potential for climate change mitigation and carbon sequestration in urban residential green spaces: energizing sustainable cities. *Frontiers in Environmental Science*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1519297>
- Liu, X., Xia, M., Li, Z., Gao, Q., Shao, Y., & Yang, Y. (2025). Metagenomic analysis reveals altered microbial diversity and function along depth and age gradients in a sanitary landfill. *Chemical Engineering Journal*.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.165531>
- López, J. (2014). Programa alternativo para el manejo y gestión integral - participativa eficiente de los residuos sólidos en la ciudad de Tarma. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/4116>
- Loyaga, R. F. (2023). Identificación de áreas óptimas para instalación de un relleno sanitario mediante SIG en el ámbito distrital [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/134>
- Lozano, E. (2021). DEFINICIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA ESTABLECER UN RELLENO 2 SANITARIO REGIONAL PARA LOS MUNICIPIOS DE GUADALUPE, CHIMA, CONTRATACIÓN Y EL GUACAMAYO EMPLEANDO HERRAMIENTAS DE SIG. [Universidad militar Nueva Granada, Colombia].
<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/d8835556-afc4-47a9-a906-01d3e1f6c2b0/content>
- Luna, A. Sánchez, A., Masa, J. & Castillo, J. (2021). Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas. *Revista Científica Agroecosistemas*, *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 140-146.
<https://www.researchgate.net/publication/356541977>

- Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) “Peligro geológico en la región Arequipa”, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, 2021, N°81, pp. 0-304. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>
- Medina, J. (2019). PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL MEDIANTE SISTEMAS AGROFORESTALES, PARA EL RELLENO SANITARIO EN LA ZONA 3 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA. [Tesis de postgrado] Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_5099.pdf
- Merino, Y. (2020). “Diseño de un Relleno Sanitario Manual para Residuos Sólidos Generados en el Centro Poblado Morro Sama, Las Yaras - Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1690/Merino-Alvino-Yara.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meza, A. (2024). Guía de prácticas para la rehabilitación de suelos degradados. Lima, Perú: CIFOR-ICRAF. <https://alliancebioiversityciat.org/sites/default/files/documents/guia-de-practicas-para-la-rehabilitacion-de-suelos-degradados.pdf>
- MINAM. (2011). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-diseno-construccion-operacion-mantenimiento-cierre-relleno>
- MINAM (2016). Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 - 2024. Lima – Perú. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>
- MINAM. (2017). Estrategia nacional ante el cambio climático. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/>
- MINAM (2018). Lineamientos para la incorporación de criterios sobre infraestructura natural y gestión del riesgo en un contexto de cambio climático, en el marco de la reconstrucción con cambios. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/264537/DS_017-218-MINAM_y_Anexo.pdf
- MINAM (2019). Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales. <https://aulaambiental.minam.gob.pe/guia->

para-el-diseno-y-construccion-deinfraestructuras-para-disposicion-final-de-residuos-solidos-municipales/

MINAM (2019). Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. Recuperado de:

<http://repositoriodigital.minam.gob.pe/xmlui/handle/123456789/707>

MINAM (2019). LÍNEA DE BASE DE ESPECIES FORESTALES (Pinus sp y Eucalyptus sp.) CON FINES DE BIOSEGURIDAD. Recuperado de: https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/LB_-_Forestales.pdf

MINAM. (2021). Guía metodológica para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-la-guia-para-la-identificacion-dezonas-potenciale-resolucion-ministerial-n-165-2021-minam-1989656-1/>

MINAM (2024). Más de 148 500 toneladas de residuos sólidos municipales son valorizados en el país. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/955458-mas-de-148-500-toneladas-de-residuos-solidos-municipales-son-valorizados-en-el-pais>

Moreira, P. & Patiño, A. (2021). Análisis de Asentamientos y Estabilidad de Taludes de la Fase Dos del Relleno Sanitario de Pichacay de la ciudad de Cuenca. [Tesis de pregrado] Universidad Del Azuay, Ecuador. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10988>

Moreno, R., et al. (2024). Contribución del arbolado urbano al secuestro de carbono y reducción de contaminantes atmosféricos en Lima, Perú. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101618>

Morita, A., Ibelli, C., Anache, J., Coutnhoa, N., & Pelinson, J. (2023). Amenaza de contaminación a la calidad del agua y del suelo por vertederos y rellenos sanitarios en Brasil: una revisión. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.004>

Municipalidad Distrital de Majes (2013). Plan de Desarrollo Municipal Concertado (2012-2021). <https://www.gob.pe/institucion/munimajes/informes-publicaciones/3217912-plan-de-desarrollo-municipal-concertado-2012-2021>

- Municipalidad Distrital de Miraflores (2025). Huarango
<https://www.miraflores.gob.pe/parque-bicentenario/huarango/>
- Murphy, D. J. (2024). Carbon sequestration by tropical trees and crops. *Agriculture*, 14(7), 1133. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071133>
- Muthuri, C. W., Kimani, F., & Mutuo, P. (2023). Agroforestry's contribution to livelihoods and carbon sequestration in dryland ecosystems. *Global Ecology and Conservation*, 45, e02135. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100432>
- Neupane, D., Niechayev, N. A., Petrusa, L., & Cushman, J. C. (2021). Biomass production of 14 accessions of cactus pear (*Opuntia* spp.) under semi-arid land conditions. *GCB Bioenergy*. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12805>
- Núñez Gamboa, L. (2022). REFORESTACIÓN DEL BOSQUE SECO PARA LA PREVENCIÓN DE DESBORDES FLUVIALES EN EL PERÚ: EL CASO DEL DISTRITO DE ÍLLIMO, PROVINCIA Y REGIÓN LAMBAYEQUE (2018-2019). Kawsaypacha . Obtenido de <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202201.005>
- ONU (2023). Día Internacional de Cero Desechos: La ONU aboga por el cambio hacia una economía circular. *UN News*. Retrieved September 4, 2023, from <https://news.un.org/es/story/2023/03/1519822>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2022). INVENTARIO NACIONAL DE ÁREAS DEGRADADAS POR RESIDUOS SÓLIDOS. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/inventario-nacional-areas-degradadas-residuos-solidos>
- Paccha, R. (2011). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos en zonas urbanas para reducir la contaminación ambiental (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/1322>
- Palma, K. (2012). TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS, PARA LA PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE, POR MEDIO DE LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO, EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, DEPARTAMENTO DE JUTIAPA. [Tesis de pregrado] Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2594_IN.pdf

- Pan, Q., Quing, L., Zheng, J., Hong, Y., Xiang, S., & Sun, X. (2023). Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en el gas de vertedero: características de composición y riesgos para la salud. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107886>
- Pan, Y., Birdsey, RA, Phillips, OL et al. (2024). El perdurable sumidero mundial de carbono forestal. *Nature* 631 , 563–569. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07602-x>
- Paredes Ríos, J. E. (2023). Estimación del carbono almacenado en el huarango (*Acacia macracantha*) en el distrito de Celendín [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4392>
- Paul, K. I. (2022). Carbon dynamics in tree plantings: How changes in woody biomass impact litter and soil carbon. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120406>
- Paz, J., & Gabriel, M. (2025). EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PROPAGACIÓN DE *Schinus molle* EN EL COLEGIO MARÍA AUXILIADORA, CHORRILLOS, LIMA, 2025. Obtenido de http://repositorio.iestpffaa.edu.pe/bitstream/handle/IESTPFFAA/135/TAP_%28ARF%29_Paz_Roxana-PARA_EMPASTAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Peralta Correa, M., & Mamani Arque, J. (2023). Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Cusco. <https://hdl.handle.net/20.500.12918/10595>
- Pereda, G., & Vigo, A. (2021). “Diseño de relleno sanitario para el distrito de Magdalena, Cajamarca, 2021”. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/84656/Vigo_TAL-Pereda_AGD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pérez-Escobar, O. A., Zizka, A., Bermúdez, M. A., Meseguer, A. S., Condamine, F. L., Hoorn, C., Hooghiemstra, H., Pu, Y., Bogarín, D., Boschman, L. M., Pennington, R. T., Antonelli, A., & Chomicki, G. (2022). The Andes through time: Evolution and distribution of Andean floras. *Trends in Plant Science*, 27(4), 364-378. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.09.010>

- Plan de Desarrollo Municipal Concertado (2012-2021), (2012). Municipalidad distrital de Majes. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/munimajes/informes-publicaciones/3217912-plan-de-desarrollo-municipal-concertado-2012-2021>
- Ponce, S. (2024). “PROPUESTA PARA LA PLANIFICACIÓN DEL ARBOLADO URBANO EN EL BARRIO ARA SAN JUAN DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA, LA PAMPA”. Obtenido de <https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/9172/xtg-ponpro024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quinto, J. (2024). Potencial de secuestro de carbono por el arbolado en los parques urbanos de los distritos de Satipo, Mazamari y Pangoa [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11943>
- Quispe, J. (2014). ESTUDIO DE TRES TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS Y APLICACIÓN DE CUATRO CONCENTRACIONES AUXÍNICAS, PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE MOLLE (SCHINUS MOLLE L.) EN EL DISTRITO DE SOCABAYA, AREQUIPA [UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI]. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/389>
- Ramírez-Albores, J. E., Richardson, D. M., & Badano, E. I. (2021). A global assessment of the potential distribution of naturalized and planted populations of the ornamental alien tree *Schinus molle*. *Biological Invasions*, <https://repositorio.ipicyt.edu.mx//handle/11627/5774>
- Resolución de Alcaldía N.º 0507-2022-MDM. Aprobar el programa de segregación en la fuente y la recolección selectiva de residuos sólidos 2022 de la Municipalidad Distrital de Majes. Municipalidad Distrital de Majes. <https://www.gob.pe/institucion/munimajes/normas-legales/4867531-0507-2022-mdm>
- Resolución de Gerencia Municipal N.º 0368-2021-GM-MDM. Aprobar el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Majes 2021. Municipalidad Distrital de Majes. <https://www.gob.pe/institucion/munimajes/normas-legales/4888077-0368-2021-gm-mdm>

- Reynoso , E. (2021). EFECTO DE *Trichoderma* spp. y *Clonostachys* spp. EN EL DESARROLLO DE DOS ESPECIES FORESTALES, CIPRÉS (*Cupressus macrocarpa*) Y TARA (*Caesalpinia spinosa*) A NIVEL DE VIVERO. Obtenido de <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/3915552c-c32e-4847-82bd-371caa5a4fca/content>
- Ricaldi, J., Huaman, M., & Callupe, N. (2021). Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de El Tambo - Huancayo. 2021. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10203/1/IV_FIN_107_TE_Ricaldi_Huaman_Callupe_2021.pdf
- Riva Rodriguez, J y Tacuchi Jara, F. (2022). Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos urbanos, de los distritos de San Nicolás y Mariscal Benavides – Amazonas. Universidad Ricardo Palma - URP. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5940>
- Rivera, A., Giacomotti, . J., & Sangay-Tucto, . S. (2025). Campaña de arborización realizada en ocho distritos de la zona sur de Lima Metropolitana, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 39(2), 224-237.
- Rivulis. (2023). Técnicas de lixiviación de sales y manejo de suelos salinos. Recuperado de <https://es.rivulis.com/knowledge-hub/mantenimiento/numero-9-gestion-de-la-salinidad/tecnicas-de-lixiviacion-de-sales/>
- Romero Delgado, G., Trillo Zárata, F., Orellana Chirinos, J., Quiroga Espilco, P., Gamarra Bojorquez, J., Rojas Egoavil, D., Rivadeneira, V., & Nuñez Delgado, J. (2021). Efecto de *Acacia macracantha* en las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema silvopastoril. *Revista de investigaciones veterinarias del Peru*, 32(3), e20389. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20389>
- Royal Botanic Gardens, Kew. (2023). *Atriplex peruviana* Moq. In *Plants of the World Online*. Recuperado [fecha de consulta: 15 Nov 2025], de <https://powo.science.kew.org/taxon/urn%3Aisid%3Aipni.org%3Anames%3A164051-1>
- Scheutz, C., Duan, Z., Moller, J., & Kjeldsen, P. (2023). Evaluación ambiental de la mitigación de gases de vertederos mediante biocubierta y recolección de gas con

utilización de energía en vertederos antiguos.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.014>

Scheutz, C., Kjeld, A., & Fredenslund, A. M. (2022). Methane emissions from Icelandic landfills – A comparison between measured and modelled emissions. *Waste Management*, 139, 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.028>

SENAMHI (2024). Datos hidrometeorológicos en Arequipa. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=estaciones>

SERFOR. (2021). Manual de manejo forestal comunitario en plantaciones. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2228602/Manual%20de%20Manejo%20Forestal%20Comunitario%20en%20Plantaciones.pdf.pdf>

SERPAR (2013). Guía virtual de árboles en Lima. <https://es.slideshare.net/slideshow/guia-de-arboles-en-la-ciudad-de-lima/40940440>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2021). CLIMAS DEL PERÚ – Mapa de Clasificación Climática Nacional, 1° Ed, p. 45

Soto, L. & Larrea, C. (2025). NIVELES DE CAPTURA DE CARBONO DE *Cordia iguaguana* y *Acacia macracantha* EN EL CASERÍO DAMIANA BAJA- SANTA ROSA, JAÉN – CAJAMARCA. <https://repositorio.unj.edu.pe/items/7ef49b6b-a610-46d5-a381-95e53b3997fa>

Supo Quispe, E. (2024). Identificación de áreas potenciales para un relleno sanitario de residuos sólidos municipales aplicando SIG en la provincia El Collao – 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Privada San Carlos]. https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/839/Eladio_SUPO_QUISPE.pdf

Taype Otañe, H. (2020). Determinación del potencial de los servicios ecosistémicos de *Pinus radiata* para la mitigación de impactos ambientales en el centro poblado de Acopalca, en el año 2017. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8798/4/IV_FIN_10_7_TE_Taype_Ota%C3%B1e_2020.pdf

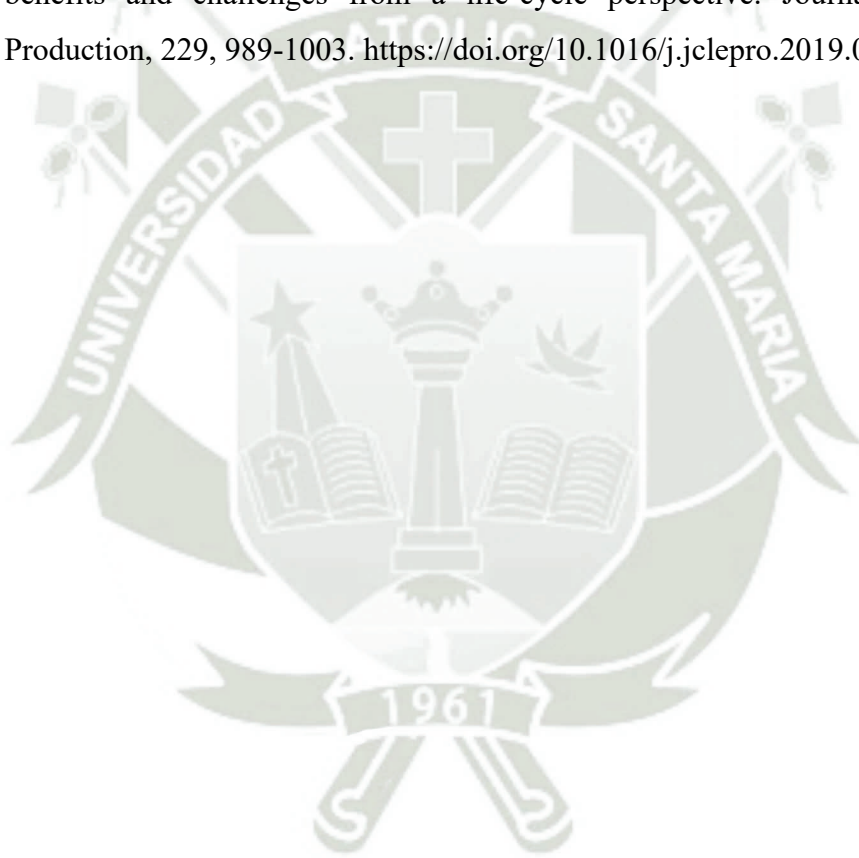
- Tena Díaz, J. D. (2013). Capacidad de captura de Carbono en tres especies arbóreas; Schinus Molle L., Negrium Oleander L. y Schinus SP. en el Parque Lloque Yupanqui de Los Olivos - Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/135349>
- Tommila, T. (2024). How much carbon can shrubs store? Measurements and implications for urban green planning. *Urban Forestry & Urban Greening*, 76, 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128560>
- United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA). (2024). *Global Waste Management Outlook 2024*. <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *An eye on methane: International Methane Emissions Observatory 2023 report*. <https://www.unep.org/resources/report/eye-methane-international-methane-emissions-observatory-2023-report>
- UNIVERSIDAD CONTINENTAL EPG (2019). ¿Cómo se manejan los residuos sólidos en el Perú?. <https://blogposgrado.ucontinental.edu.pe/como-manejan-residuos-solidos-peru>
- Vásquez, H. V., Valqui, L., Bobadilla, L. G., Arbizu, C. I., Alegre, J. C., & Maicelo, J. L. (2021). Influence of arboreal components on the physical-chemical characteristics of the soil under four silvopastoral systems in northeastern Peru. *Heliyon*, 7(8), e07725. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07725>
- Veliz, K. (2021). “ELABORACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA LA PROVINCIA DE CASTILLA, REGIÓN AREQUIPA” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/9106794c-db8b-4015-8ef8-e05d711c4169/download>
- Wang, S., Han, Z., Whang, J., He, X., & Zhou, Z. (2022). Assessment of environmental risks and factors influencing heavy metal concentrations in the soil of municipal solid waste landfills. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.036>
- White, D. A., Silberstein, R. P., Balocchi-Contreras, F., Quiroga, J. J., Meason, D. F., Palma, J. H. N., & Ramírez de Arellano, P. (2021). Growth, water use, and water

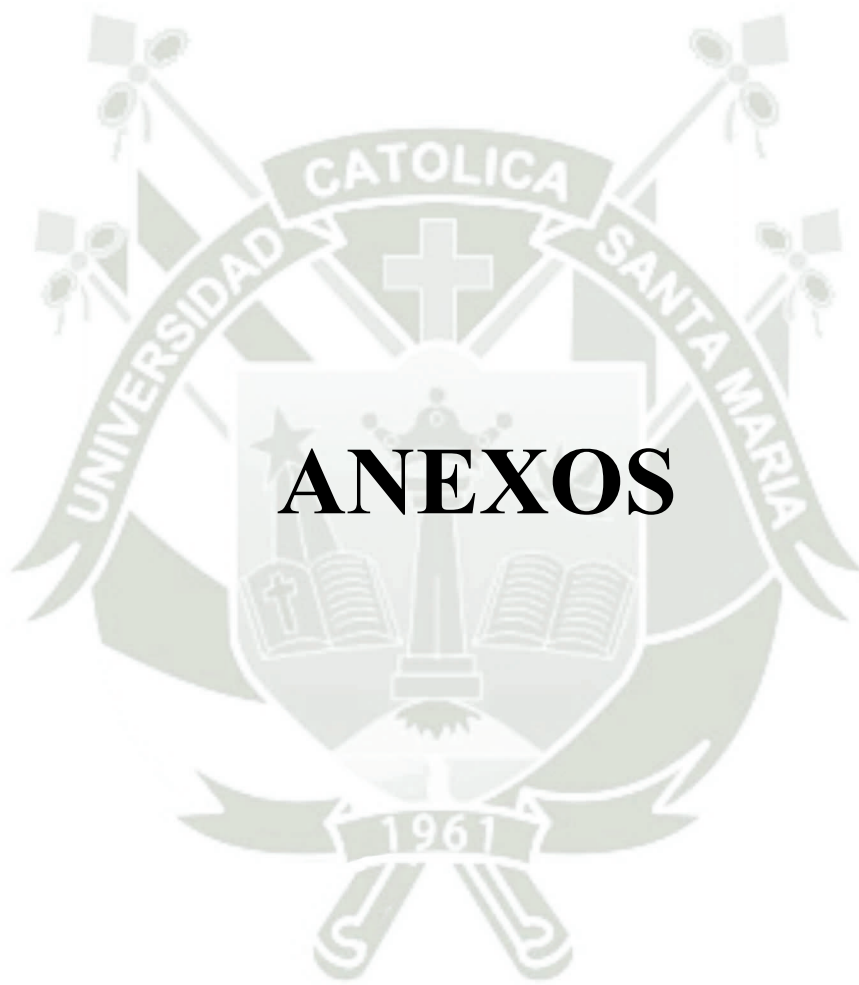
- use efficiency of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata* plantations compared with natural stands. *Forest Ecology and Management*, 484, 119676. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119676>
- Xiuyu, X., Zhang, J., & Wang, H. (2024). A pioneer tree species rapidly facilitating ecosystem recovery: the case of *Casuarina equisetifolia*. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107825>
- Yantas, K. (2022). Estimación del nivel de captura de dióxido de carbono del eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y pino (*Pinus radiata*) en la localidad de Huariaca, Pasco – 2019 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2646/4/T026_40424014_M.pdf
- Yaucani, Z., & Ziyang, L. (2017). Capítulo Primero - Estructura General del Relleno Sanitario. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811867-2.00001-7>
- Yousuf, T., & Rahman, M. (2009). Transformar un botadero a cielo abierto en un relleno sanitario: un esfuerzo de desarrollo en la gestión de residuos. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-009-0242-8>
- Zamora, I., & Coello, E. (2020). Gases emitidos por la basura, sus consecuencias en el medio ambiente. <https://revistafdm.ulead.edu.ec/wp-content/uploads/2021/05/4TO.-A-PAPER-GASES-EMITIDOS-POR-LA-BASURA.-LISTO.pdf>
- Zebeida D. & Arangao, P. (2025, February 13). Waste not: Time to rapidly scale methane abatement finance in the waste sector. <https://www.climatepolicyinitiative.org/resources/waste-not-time-to-rapidly-scale-methane-abatement-finance-in-the-waste-sector/>
- Zhang, H., Duan, H., Song, M., & Guan, D. (2018). The dynamics of carbon accumulation in *Eucalyptus* and *Acacia* plantations in the Pearl River delta region. *Annals of Forest Science*, 75, Article 40. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0717-7>
- Zhang, H., Wang, J., & Zhao, Y. (2018). The dynamics of carbon accumulation in *Eucalyptus* and *Acacia* plantations. *Annals of Forest Science*, 75(93), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0717-7>

Zhang, S., He, C., Wei, L., Jian, S., & Liu, N. (2023). Transcriptome and metabolome analysis reveals key genes and secondary metabolites of *Casuarina equisetifolia* ssp. *incana* in response to drought stress. *BMC Plant Biology*, 23(1), 200. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04206-x>

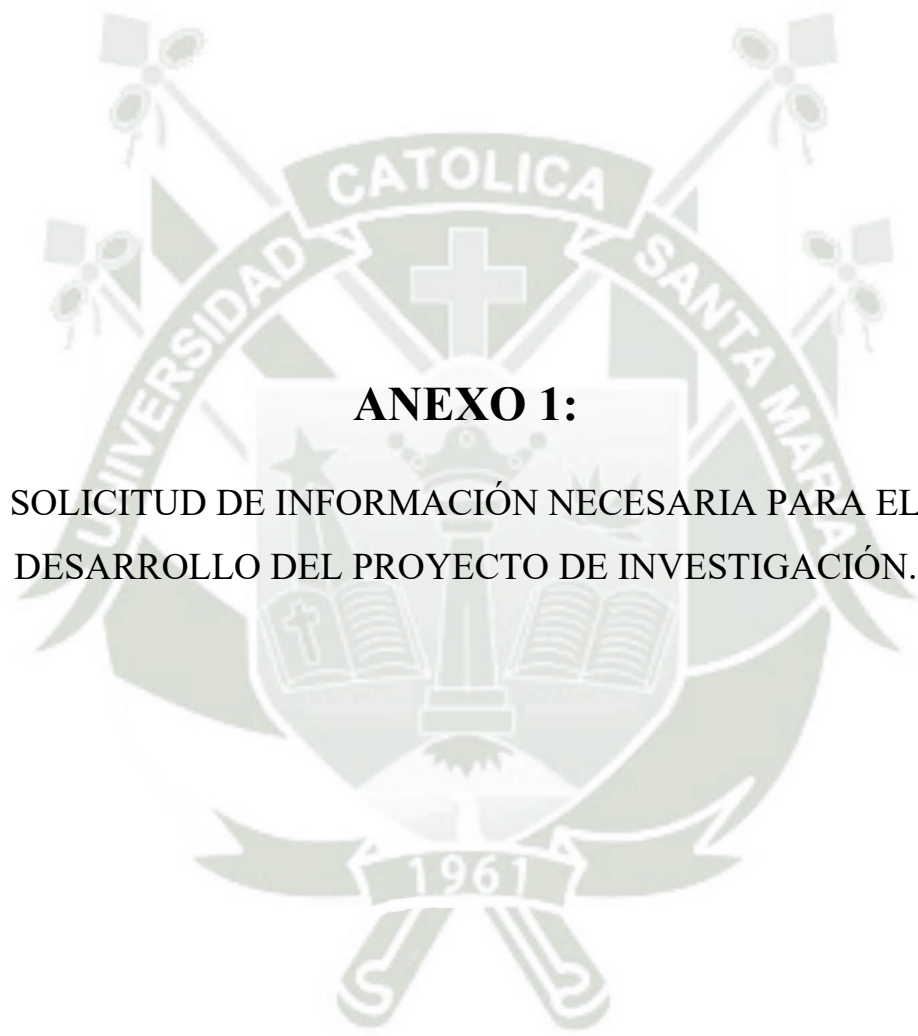
Zhao, Z. (2017). Control de la Contaminación y Reciclaje de Lodos en Relleno Sanitario. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811639-5.00006-1>

Ziegler-Rodriguez, K., Margallo, M., Aldaco, R., Vázquez-Rowe, I., & Kahhat, R. (2019). Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 229, 989-1003. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.015>





ANEXOS



ANEXO 1:

SOLICITUD DE INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL
DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

			
MUNICIPALIDAD DISTRITAL MAJES - AREQUIPA N° Folios 5		N° Exp.: 00093305	
Presentado por		HUACCA ANDIA MILUSKA FABIOLA	
DOCUMENTO		CARTA - 00000000	
Asunto		SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA EL PROYECTO RELLENO SANITARIO EN MAJES	

Hora de Recepción: 10:14:21
 Fecha de Recepción: 12/09/2024
 N° Amb: 00000798


12 SEP 2024
 la conmemoración
 FIRMADO

de setiembre de 2024

Jerry Federico Huisa Calapuja
ALCALDE DISTRITAL DE MAJES

PRESENTE. -

ASUNTO: Solicitud de Información para el Proyecto Relleno Sanitario en Majes

Por medio de la presente, le saludamos y le damos a conocer que estamos desarrollando el Proyecto de investigación titulada "Diseño de un relleno sanitario semimecanizado para el control de los gases de efecto invernadero (GEI) y estrategias de compensación ambiental con infraestructura natural en el distrito de Majes, Arequipa - 2024", el cual es de interés local para nuestra provincia, así como en el cumplimiento de las normas vigentes y queremos contribuir, es por ello que le solicitamos información y conforme al Texto Único Ordenado de la Ley 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública aprobado por el Decreto Supremo 021-2019-JUS, al no ser exigible la expresión de causa para el ejercicio de nuestro derecho a solicitar y recibir información de cualquier entidad pública, solicitamos se nos otorgue la siguiente información sobre:

- La actual gestión ambiental de la disposición final de los residuos sólidos municipales.
- Estudio vigente de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Majes,
- Plano catastral del distrito de Majes.

Esperamos sea de interés para su gestión y nos colabore para llevar a cabo la planificación y alcanzar el apoyo financiero.

Sin otro particular, ruego a usted acceder a lo solicitado por ser de justicia.

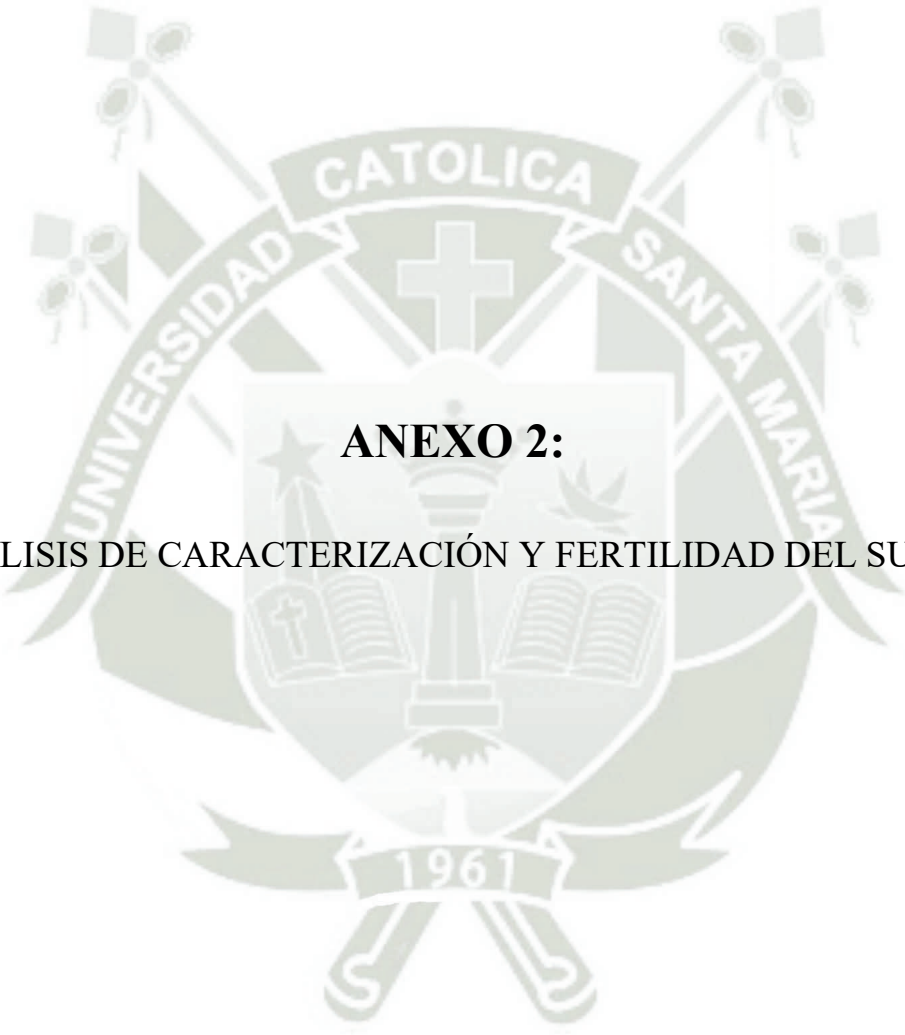
Atentamente,



Miluska Huacca Andia
 Bachiller en Ingeniería Ambiental
 UCSM
miluska9475@gmail.com
 Cel: 934853185



Tiffany Montes Begazo
 Bachiller en Ingeniería Ambiental
 UCSM
tiffanymariamontes@gmail.com
 Cel: 993640361



ANEXO 2:
ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN Y FERTILIDAD DEL SUELO



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-15500

N° Id.: 0000156561

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 1.- RAZON SOCIAL : HUACCA ANDIA MILUSKA FABIOLA
2.- DIRECCIÓN : CALLE JUANA CERVANTES MZ E LOTE 8, URB. JOSE SANTOS ATAHUALPA - CERRO COLORADO - AREQUIPA
3.- PROYECTO : TESIS PREGRADO
4.- PROCEDENCIA : MAJES
5.- SOLICITANTE : HUACCA ANDIA MILUSKA FABIOLA
6.- PRODUCTO : Suelos

II.- DATOS DEL SERVICIO

- 1.- ORDEN DE SERVICIO N° : 0000003022-2025-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2025-05-22

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

- 1.- MUESTREADO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
3.- NÚMERO DE MUESTRAS : 1
4.- FECHA DE RECEPCIÓN : 2025-05-09
5.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : Las muestras llegaron a temperatura ambiente
6.- PERÍODO DE ENSAYO : 2025-05-09 al 2025-05-22

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



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

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia. Pág. 1 de 6

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista, Callao.
Telf: (+511) 713 0755 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

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

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E L1. 5,
Arequipa.
Telf: (+56) 818 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 L1. 02,
Castillo - Piura.
Telf: (+01) 713 0636
Cel.: 519 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1. 26,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf: (+03) 723 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-15500

N° Id.: 0000156561

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Materia Orgánica	Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT 2000.	Which establishes the specifications of fertility, salinity, and soil classification, Studies, sampling and analysis. AS-07; item 7.1.7. Organic Matter Content by the Walkley and Black Method.	INACAL LE - 096 CHALACA
Nitrógeno Total	ISO 16634-2: 2016 (Validated - Modified) 2022.	Determination of Total Nitrogen Content by Combustion according to the Dumas Principle.	IAS TL-833 CHALACA
Capacidad de Intercambio Catiónico	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-12 (Validated - Modified).	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Cation Exchange Capacity	IAS TL-833 CHALACA
Boro Disponible	NOM-021-RECNAT-2000, AS-15 (Validated Modified).	Norma Oficial Mexicana, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis/Boro Disponible. 2023	IAS TL-833 CHALACA
Acidez Cambiable	Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT-2000, AS-33 (Validated - Applied out of reach).	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-33 (Validated - Applied out of reach). Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Changeable Acidity.	IAS TL-833 CHALACA

"NOM" : Norma Oficial Mexicana

"ISO" : International Organization for Standardization

Pág.2 de 6

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-15500

N° Id.: 0000156561

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Aluminio Cambiable	Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT-2000, AS-33 (Validated - Applied out of reach).	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Changeable Aluminum.	IAS TL-833 CHALACA
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na)	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-12 (Validated - Modified).	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Cation Exchange Capacity.	IAS TL-833 CHALACA
Bases Cambiables (Ca, Mg, K y Na)	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-12 (Validated - Modified).	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Exchangeable Bases.	IAS TL-833 CHALACA
Micronutrientes (Cu, Mn, Fe y Zn)	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-14. (Validated - Modified).	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Micronutrients	IAS TL-833 CHALACA
Conductividad (Extracto 1:1)	MVAL-AGR-02:2020. Validated.	Conductivity (1: 1; 1: 2.5; 1:10; EPS). Determination of Conductivity.	IAS TL-833 CHALACA
pH (Extracto 1:1)	MVAL-AGR-001, Validated 2022.	pH Determination (1:1; 1:2.5; 1:10; EPS).	IAS TL-833 CHALACA
Hidrógeno Cambiable	Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT-2000. AS-33 (Validated - Applied out of reach).	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Exchangeable Hydrogen	IAS TL-833 CHALACA

"NOM" : Norma Oficial Mexicana

Pág.3 de 6

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-15500

N° Id.: 0000156661

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Carbonatos	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-29. (Validated - Applied out of reach).	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Carbonates.	IAS TL-833 CHALACA
Clase Textural	Official Mexican Standard. NOM-021-RECNAT-2000, AS-09 (Validated - Modified).	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-09 (Validated - Modified). Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Textural Class	IAS TL-833 CHALACA
Fósforo Disponible Olsen	Official Mexican Standard, NOM-021-RECNAT-2000, AS-10. (Validated - Applied out of reach)	Which establishes the specifications of fertility, salinity and classification of soils. Studies, sampling and analysis - Determination of Available Phosphorus Olsen.	IAS TL-833 CHALACA

NOM : Norma Oficial Mexicana

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-15500

N° Id.: 0000156561

V.- RESULTADOS

ITEM	1			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-39177			
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS	MS-001			
DESCRIPCIÓN ^(A)	MS-001			
TIPO DE PRODUCTO ^(A)	Suelos			
SUB TIPO PRODUCTO ^(A)				
FECHA y HORA DE MUESTREO ^(A)	06-05-2025 14:30			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad (Extracto 1:1) ²	dS/m	NA	0,01	4,23
pH (Extracto 1:1) ²	Unidad de pH	NA	0,01	8,02
Acidez Cambiable ²	meq/100g	0,20	0,50	<0,50
Aluminio Cambiable ²	meq/100g	0,01	0,02	<0,02
Carbonatos ²	%	0,20	0,50	1,84
Clase Textural				
Arena ²	%	NA	NA	90
Arcilla ²	%	NA	NA	-
Limo ²	%	NA	NA	10
Clase Textural ²	no unidad	NA	NA	
Hidrógeno Cambiable ²	meq/100g	0,100	0,200	<0,200
Materia Orgánica (*)	%	0,200	0,400	<0,400
Boro Disponible ²	mg/Kg	0,06	0,15	3,07
Fósforo Disponible Olsen ²	mg/Kg	2,00	6,00	10,40
Bases Cambiables (Ca, Mg, K y Na)				
Calcio Cambiable ²	meq/100g	0,03	0,10	4,13
Magnesio Cambiable ²	meq/100g	0,01	0,03	0,91
Potasio Cambiable ²	meq/100g	0,01	0,03	1,73
Sodio Cambiable ²	meq/100g	0,01	0,03	0,90
Bases Disponibles (Ca, Mg, K y Na)				
Potasio Disponible ²	meq/100g	0,01	0,03	7,24

(1) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

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

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

"-": No ensayado

NA: No Aplica

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

Pág.5 de 6

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-15500

N° Id.: 0000156561

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-25-39177
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				MS-001
DESCRIPCIÓN ^(A)				MS-001
TIPO DE PRODUCTO ^(A)				Suelos
SUB TIPO PRODUCTO ^(A)				
FECHA y HORA DE MUESTREO ^(A)				06-05-2025 14:30
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Calcio Disponible ²	meq/100g	0,03	0,10	21,27
Sodio Disponible ²	meq/100g	0,01	0,03	4,13
Magnesio Disponible ²	meq/100g	0,01	0,03	1,46
Capacidad de Intercambio Catiónico ²	meq/100g	0,20	0,50	7,67
Micronutrientes (Cu, Mn, Fe y Zn)				
Cu (DTPA) ²	mg/Kg	0,20	0,60	<0,60
Fe (DTPA) ²	mg/Kg	0,30	1,00	<1,00
Mn (DTPA) ²	mg/Kg	0,10	0,30	<0,30
Zn (DTPA) ²	mg/Kg	0,20	0,70	<0,70
Nitrógeno Total ²	mg/Kg	50,00	150,00	<150,00

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

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

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

"-": No ensayado

NA: No Aplica

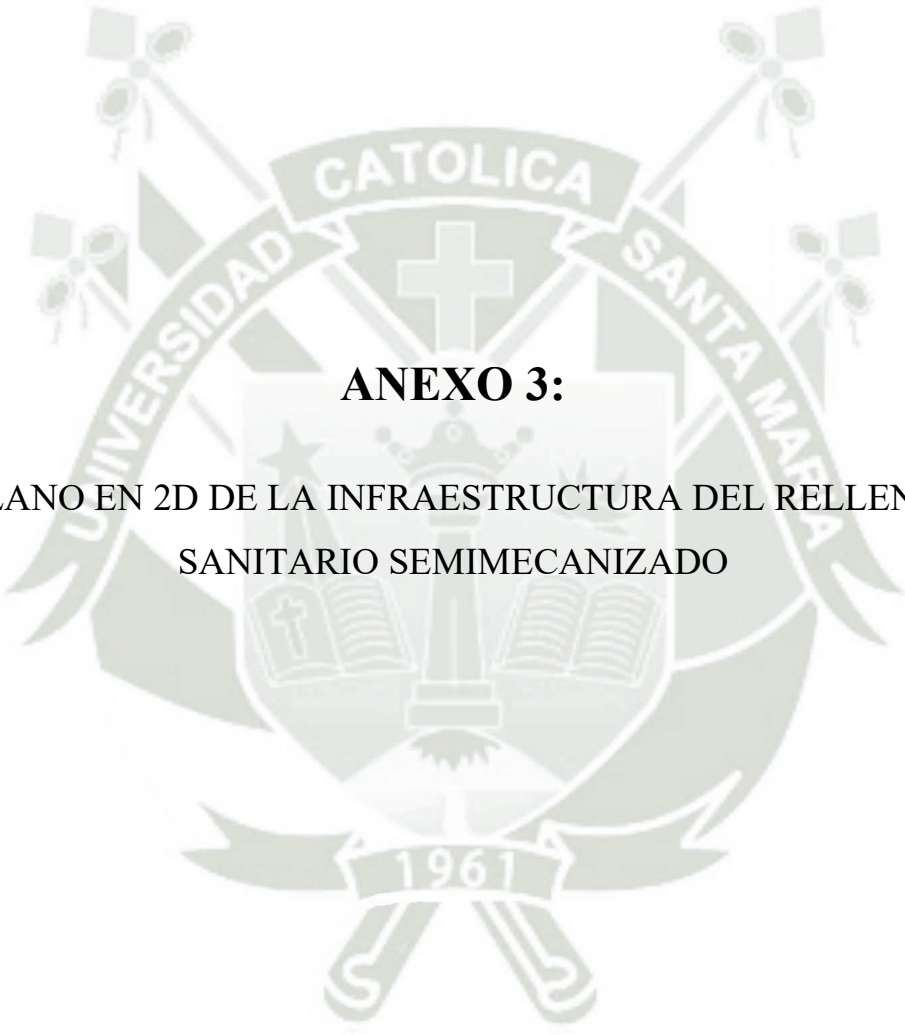
^(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

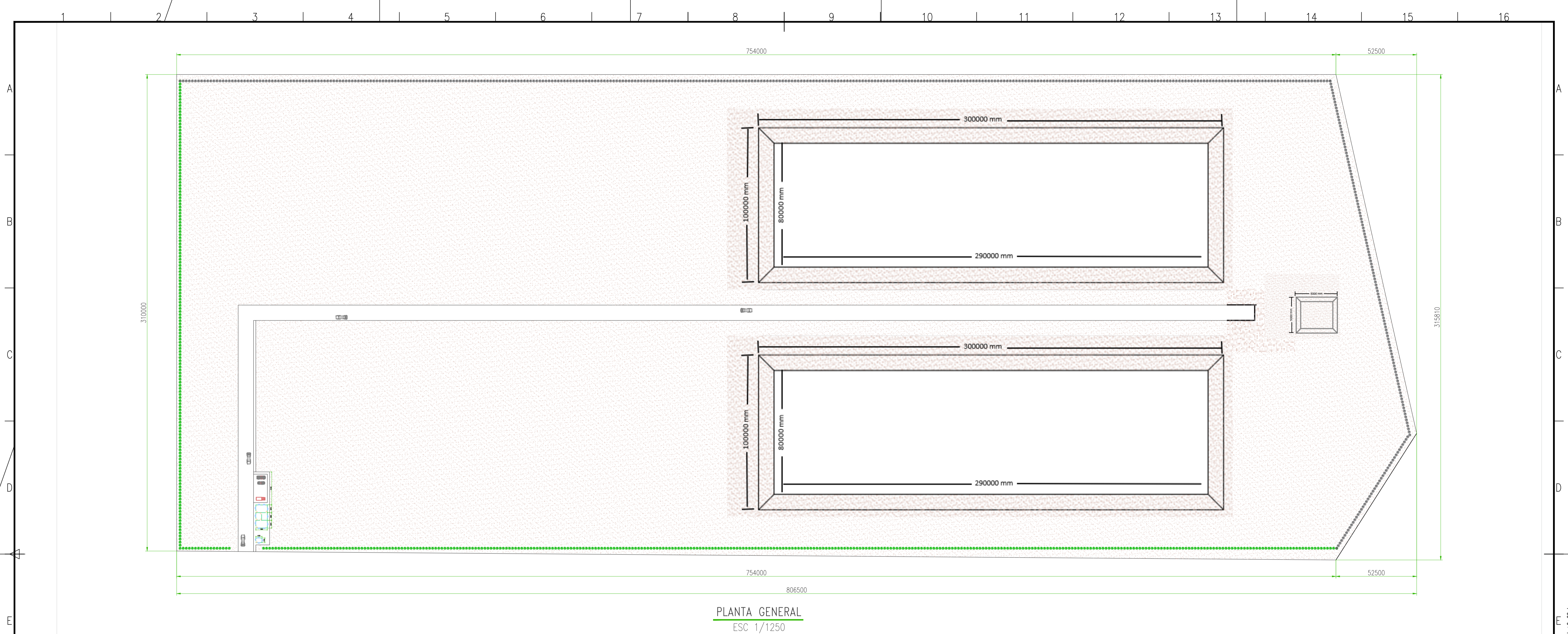
Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

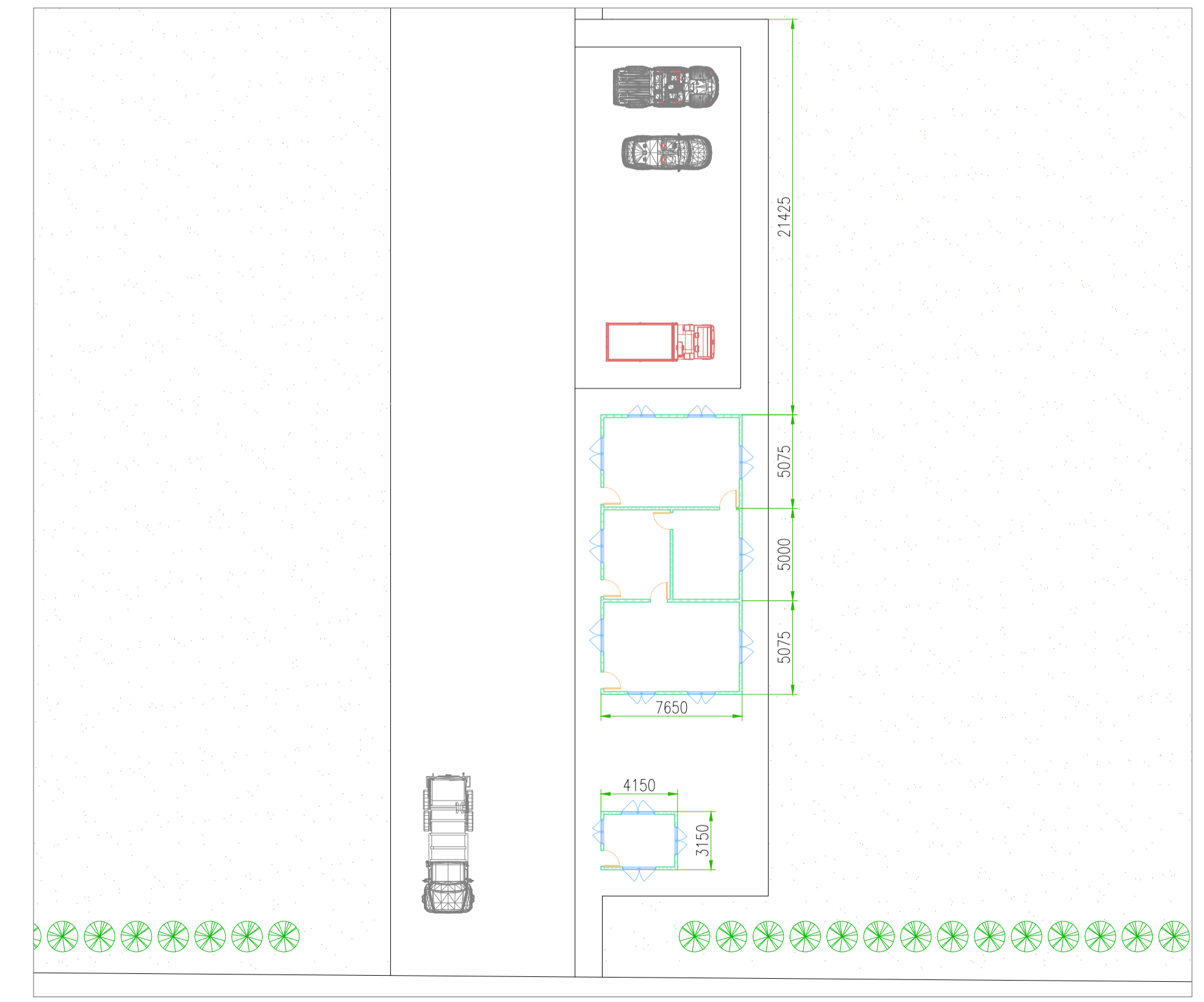
Pág.6 de 6

The logo of Universidad Católica Santa María is a circular emblem. It features a central shield with a cross at the top, a crown in the middle, and two open books at the bottom. The shield is flanked by two crossed keys. Above the shield is a banner with the text 'UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA'. Below the shield is another banner with the year '1961'. The entire emblem is surrounded by a decorative border of leaves and flowers.

ANEXO 3:
PLANO EN 2D DE LA INFRAESTRUCTURA DEL RELLENO
SANITARIO SEMIMECANIZADO

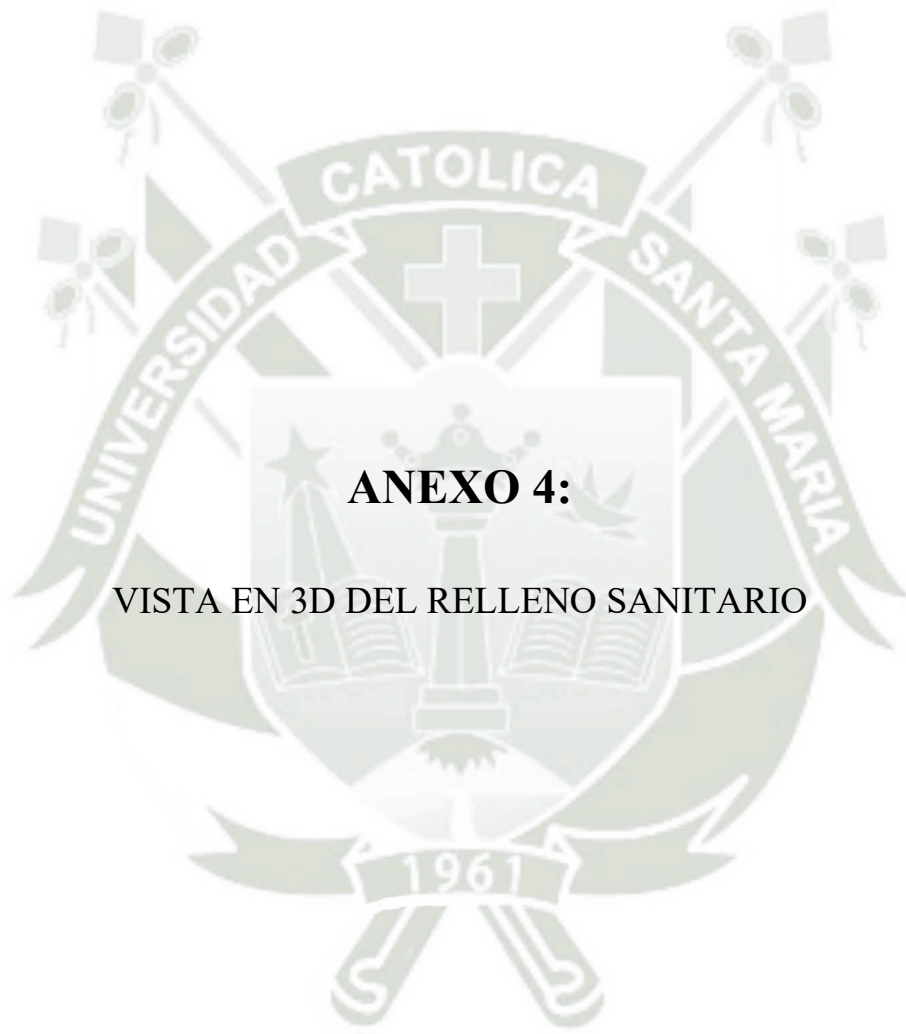


PLANTA GENERAL
ESC 1/1250



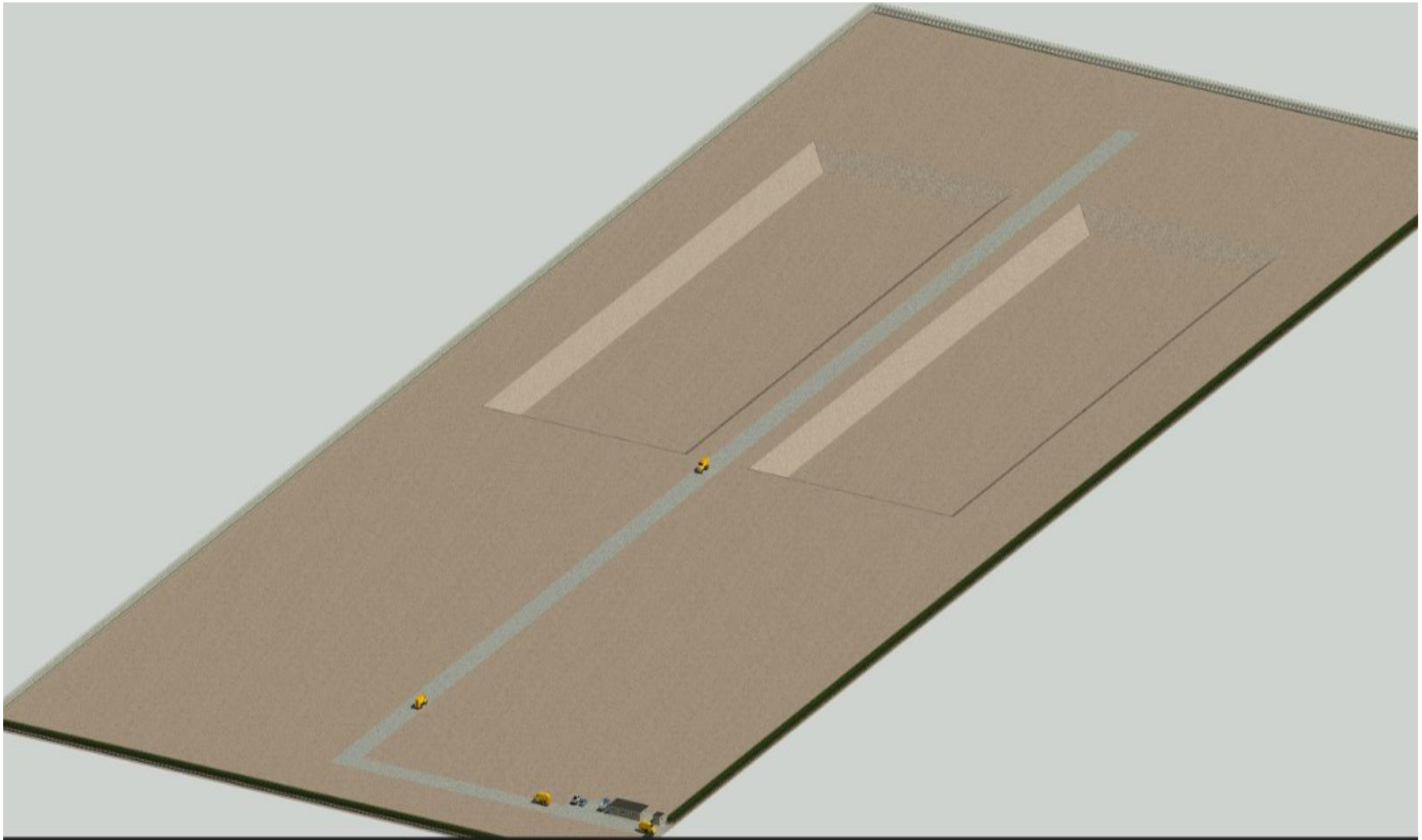
PLANTA OFICINAS
ESC 1/500

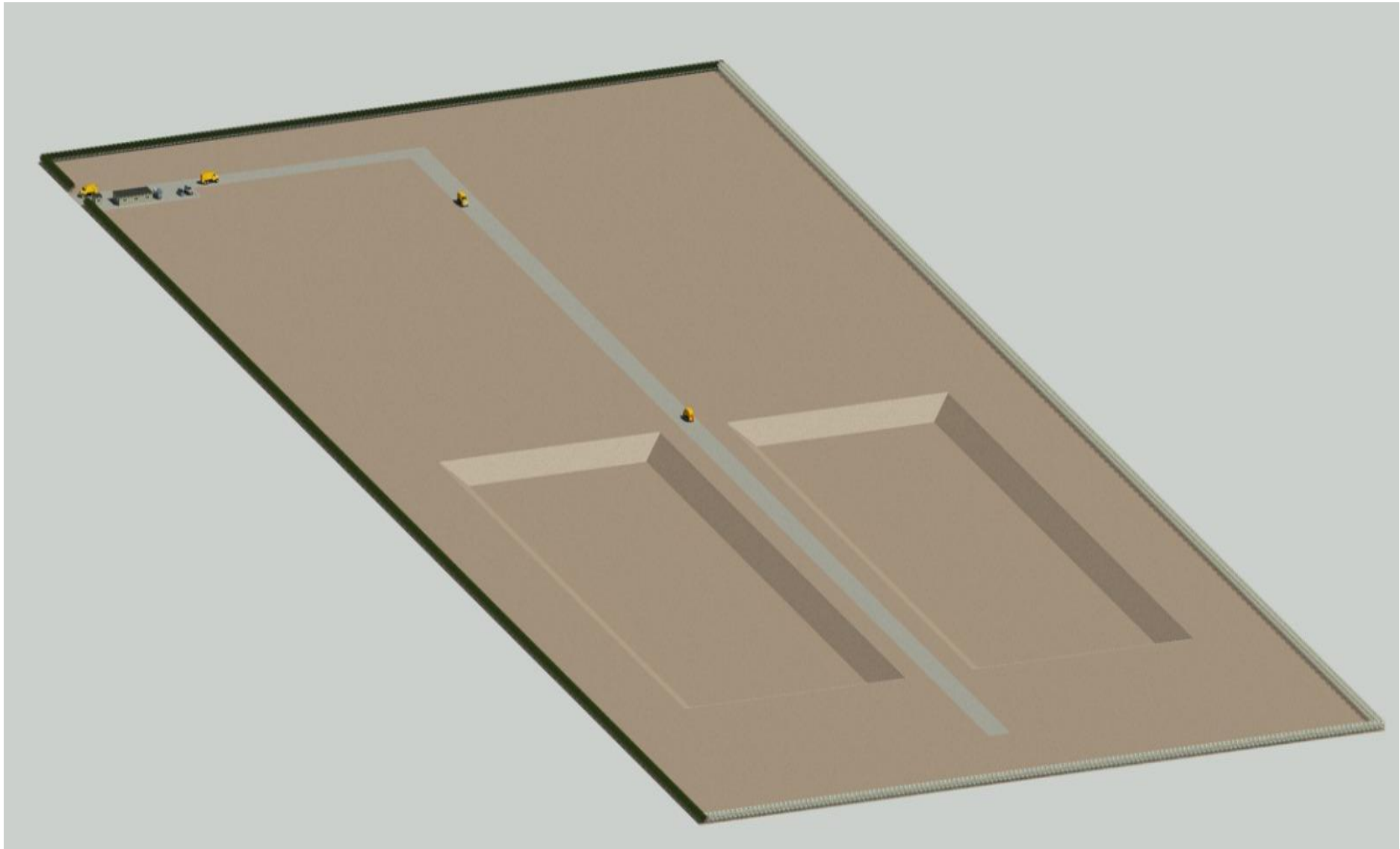
 <p>Universidad Católica de Santa María</p>	<p>PLANO DE DISEÑO DE RELLENO SANITARIO</p>
<p>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO PARA EL CONTROL DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) Y ESTRATEGIAS DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL CON INFRAESTRUCTURA NATURAL EN EL DISTRITO DE MAJES, AREQUIPA – 2024</p>	
<p>Tesistas: Huacca Andía, Miluska Fabiola Montes Begazo, Tiffany Maria</p>	<p>Fecha: Junio - 2025</p>

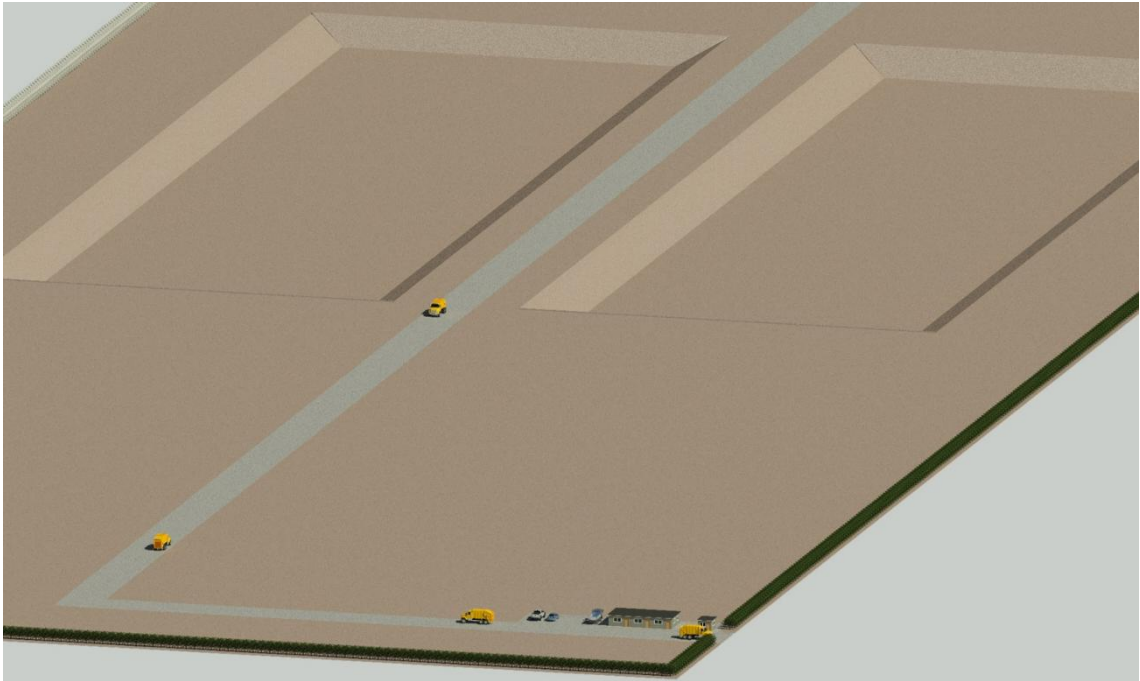


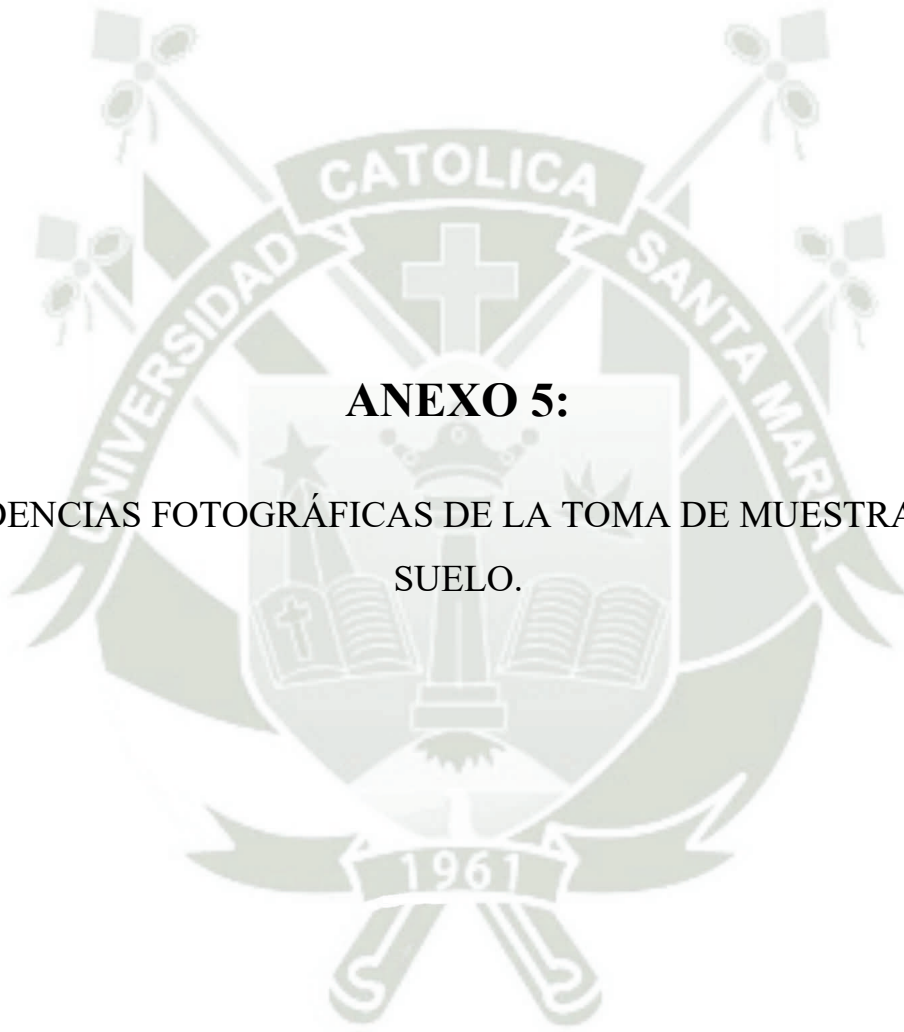
ANEXO 4:

VISTA EN 3D DEL RELLENO SANITARIO









ANEXO 5:

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DE LA TOMA DE MUESTRAS DE
SUELO.

