



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**Valorización de los residuos sólidos destinados al
relleno sanitario Portillo Grande y su aprovechamiento
como capa asfáltica de carreteras, Lima 2022**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias
Ambientales

AUTOR

Carlos HURTADO NORIEGA

ASESOR

Dra. Silvia Del Pilar IGLESIAS LEÓN

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Hurtado, C. (2024). *Valorización de los residuos sólidos destinados al relleno sanitario Portillo Grande y su aprovechamiento como capa asfáltica de carreteras, Lima 2022*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Carlos Hurtado Noriega
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43296300
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0873-8419
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Silvia Del Pilar Iglesias León
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06018064
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4616-8178
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Alberto Huiman Cruz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41459167
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Giuliana Patricia Becerra Celis
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40745335
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Rosa Ernestina Puente Saldaña
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07246463
Datos de investigación	

Línea de investigación	No aplica.
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lurín Relleno Sanitario Portillo Grande Latitud: -12.235891 Longitud: -76.785681
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022 - 2024
URL de disciplinas OCDE	Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los diecinueve días del mes de julio del año dos mil veinticuatro, siendo las once horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000249-2024-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 12 de julio del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DESTINADOS AL RELLENO SANITARIO PORTILLO GRANDE Y SU APROVECHAMIENTO COMO CAPA ASFÁLTICA DE CARRETERAS, LIMA 2022»

Presentado por el Mg. **CARLOS HURTADO NORIEGA**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR** en **CIENCIAS AMBIENTALES**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 06248/FIGMMG/2019 de fecha 22 de julio del 2019, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 72 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

Bueno (16)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR** en **CIENCIAS AMBIENTALES** al Mg. **CARLOS HURTADO NORIEGA**.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

DR. ALBERTO HUIMAN CRUZ
Presidente

DRA. GIULIANA PATRICIA BECERRA CELIS
Secretario

DRA. ROSA ERNESTINA PUENTE SALDAÑA
Miembro

DRA. SILVIA DEL PILAR IGLESIAS LEÓN
Asesor



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo DRA. SILVIA DEL PILAR IGLESIAS LEÓN en mi condición de asesora acreditada con el Dictamen N° 000140-2024-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es «**VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DESTINADOS AL RELLENO SANITARIO PORTILLO GRANDE Y SU APROVECHAMIENTO COMO CAPA ASFÁLTICA DE CARRETERAS, LIMA 2022**», presentado por el MAGISTER HURTADO NORIEGA CARLOS para optar el Grado Académico de DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES, **CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 14 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

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

Lima, 28 de mayo de 2024

Firma del Asesor:

Nombres y apellidos del asesor:

SILVIA DEL PILAR IGLESIAS LEÓN

DNI:

06018064

Página de dedicatoria y agradecimiento

DEDICATORIA

A MIS PADRES RICARDO Y YOLANDA, QUE ME BRINDARON TODO EN LA VIDA.

A MI ESPOSA VERÓNICA, QUE ME HA ACOMPAÑADO CON SU ALIENTO INQUEBRANTABLE A LO LARGO DE TODOS ESTOS AÑOS.

A MIS HIJAS DANIELA Y KARLA, QUE SON EL MOTOR Y MOTIVO QUE ME IMPULSAN PERMANENTEMENTE EN EL BATALLAR DIARIO.

AGRADECIMIENTO

A MIS PADRES POR INCULCARMEN VALORES Y VIRTUDES QUE FORJARON MI CARÁCTER Y PERSONALIDAD.

A MIS PROFESORES, POR LAS ENSEÑANZAS VERTIDAS QUE CALARON HONDO EN MI FORMACIÓN ACADÉMICA.

A MIS JEFES POR LA CRÍTICA CONSTRUCTIVA Y POR SER GUÍAS PERMANENTES.

A MIS MAYORES QUE SIEMPRE ME ACONSEJARON Y DIERON PALABRAS DE ALIENTO.

Índice general

Página de aceptación o veredicto de la Tesis por los miembros del Jurado Examinador ..	i
Página de dedicatoria y agradecimiento.....	iii
Índice general	iv
Lista de Tablas.....	vi
Lista de Figuras	viii
Listado de abreviaturas	ix
Resumen.....	x
Abstract	xi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Situación problemática	12
1.2 Formulación del problema	14
1.3 Justificación teórica	15
1.4 Justificación práctica	16
1.5 Objetivos de investigación.....	17
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Marco filosófico	18
2.2 Antecedentes de investigación	19
2.3. Bases teóricas	24
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	43
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	43
3.2 Unidad de análisis.....	43
3.3 Población de estudio	43
3.4 Tamaño de muestra.....	43
3.5 Selección de muestra	44
3.6 Técnicas de recolección de datos	44
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1. Características de los residuos sólidos generados en los distritos de Lima Sur y dispuestos en el relleno sanitario de Portillo Grande	45
4.2. Residuos confinados como insumo para la generación de nuevos productos de usos múltiple	54
4.3. Análisis de la técnica de minería en el relleno sanitario como capa asfáltica de carreteras.....	66

4.4 Discusión de resultados	72
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82
ANEXOS	91
1. Matriz de consistencia	
2. Plano del relleno sanitario Portillo Grande de Lurín Esc 1/100,000	

Lista de Tablas

	Página
Tabla 1 Rellenos Sanitarios en Lima Metropolitana	33
Tabla 2 Cuestiones ambientales, de salud y seguridad	39
Tabla 3 Cantidad de residuos sólidos depositados en el relleno sanitario Portillo Grande por años	47
Tabla 4 Resumen de la caracterización de residuos sólidos de los municipios que disponen en el relleno sanitario Portillo Grande 2018-2020.....	50
Tabla 5 Resumen de residuos valorizables que generaron los municipios de Lima Sur 2018-2020.....	51
Tabla 6 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Cercado durante el periodo 2018-2020	55
Tabla 7 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Lurin durante el periodo 2018-2020	56
Tabla 8 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Miraflores durante el periodo 2018-2020.....	56
Tabla 9 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Punta Hermosa durante el periodo 2018-2020	57
Tabla 10 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Punta Negra durante el periodo 2018-2020.....	57
Tabla 11 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de San Bartolo durante el periodo 2018-2020.....	58
Tabla 12 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de San Borja durante el periodo 2018-2020.....	58
Tabla 13 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Santa María del Mar durante el periodo 2018-2020	59
Tabla 14 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de San Juan de Miraflores durante el periodo 2018-2020	59
Tabla 15 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Villa El Salvador durante el periodo 2018-2020	60

Tabla 16 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Villa María del Triunfo durante el periodo 2018-2020.....	60
Tabla 17 Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generaron las 11 Municipalidades de Lima Sur durante el periodo 2018-2020.....	61
Tabla 18 Cuantificación económica de la materia orgánica generadas por las 11 Municipalidades de Lima Sur 2018-2020.....	63
Tabla 19 Activos fijos para operar una Planta de Compostaje.....	64
Tabla 20 Costos operativos para una Planta de compostaje.....	64
Tabla 21 Resumen de datos aplicando la Metodología ACM0001 versión 15	65

Lista de Figuras

	Página
Figura 1 Símbolos representativos de Reducir, Reutilizar y Reciclar	19
Figura 2 Generación de residuos sólidos municipales en el Perú por años	25
Figura 3 Composición de residuos sólidos en el Perú	28
Figura 4 Valor porcentual promedio de material obtenidos en LFM	36
Figura 5 Composición de los residuos de minería de rellenos sanitarios	37
Figura 6 Proyecto New-Mine	42
Figura 7 Caracterización de los residuos sólidos en el Perú	46

Listado de abreviaturas

CtC:	Closing the Circle
ELFM:	Enhanced Landfill Mining (Minería mejorada de Rellenos Sanitarios)
EO-RS:	Empresa Operadora de Residuos Sólidos
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
GIRSU:	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
IPCC:	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
LFM:	Landfill Mining (Minería de Rellenos Sanitarios)
LFMSF:	Landfill Mining Soil Fractions (Fracciones similares extraídas de Minería de Rellenos Sanitarios)
LMPW:	Residuos Plásticos extraídos de Rellenos Sanitarios
MINAM:	Ministerio del Ambiente
MINEM:	Ministerio de Energía y Minas
MML:	Municipalidad Metropolitana de Lima
OEFA:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PET:	Polietileno Tereftalato
PIGAR:	Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos
RCD:	Residuos de Construcción y Demolición
RSO:	Residuos Sólidos Orgánicos
RSU:	Residuos Sólidos Urbanos
SIGERSOL:	Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos
TCO2:	Toneladas de Dióxido de Carbono

Resumen

La presente investigación pone de relieve la problemática inherente a la falta de aprovechamiento de los residuos dispuestos en los rellenos sanitarios, con un enfoque particular en el relleno sanitario de Portillo Grande, donde no se efectúa la valorización de dichos residuos. Se evidencia la existencia de alternativas viables para la minería de los rellenos sanitarios de los residuos confinados, destacando su potencial aplicación en el revestimiento de carreteras mediante la utilización como capa asfáltica. Este hallazgo busca sensibilizar tanto a la sociedad civil como a los responsables de la toma de decisiones acerca de la necesidad imperante de fortalecer la separación de residuos en su origen, reconociéndolos como recursos valiosos para el fomento del desarrollo urbano sostenible.

El diseño metodológico adoptado en esta indagación es de carácter mixto, englobando una revisión sistemática de la literatura pertinente, fundamentada en el enfoque hermenéutico clásico, así como la evaluación del volumen de material reciclable. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que, durante el periodo comprendido entre 2018 y 2020, el relleno sanitario de Portillo Grande recibió un total de 729,289.73 toneladas métricas de residuos sólidos como destino final, destacando un potencial de valorización del 21.3% exclusivamente en relación con los residuos inertes, los cuales podrían ser empleados como materias primas en la confección de capas asfálticas destinadas a la infraestructura vial.

Se subraya la necesidad de proseguir con investigaciones focalizadas en la utilización de residuos con fines viales, haciendo especial hincapié en la evaluación de factores críticos tales como durabilidad, resistencia y comportamiento en zonas sísmicas. Estos estudios constituirán un aporte significativo para robustecer la política nacional de gestión de residuos y para perfeccionar el marco normativo vigente en esta área de interés.

Palabras clave: Alternativas al asfalto, Minería de relleno sanitario, Portillo Grande, residuos sólidos, valorización mecánica.

Abstract

The present research highlights the inherent problem of the underutilization of waste disposed in landfills, with a particular focus on Portillo Grande landfill, where such waste is not valorized. Viable alternatives for landfill mining of confined waste are evidenced, emphasizing their potential application in road surfacing through utilization as asphalt layers. This finding aims to raise awareness among both civil society and decision-makers about the pressing need to strengthen waste separation at its source, recognizing them as valuable resources for promoting sustainable urban development.

The methodological design adopted in this investigation is of a mixed nature, encompassing a systematic review of relevant literature, grounded in the classic hermeneutic approach, as well as an evaluation of the volume of recyclable material. The results obtained demonstrate that, during the period between 2018 and 2020, the Portillo Grande landfill received a total of 729,289.73 metric tons of solid waste as a final destination, highlighting a valorization potential of 21.3% exclusively in relation to inert waste, which could be used as raw materials in the production of asphalt layers for road infrastructure.

The need to continue with research focused on the use of waste for road purposes is emphasized, with special emphasis on evaluating critical factors such as durability, resistance, and behavior in seismic zones. These studies will constitute a significant contribution to strengthening national waste management policy and refining the current regulatory framework in this area of interest.

Keywords: Alternatives to asphalt, Landfill mining, Portillo Grande, solid waste, mechanical recovery.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación problemática

El crecimiento exponencial de la generación de residuos sólidos a nivel mundial se atribuye, en gran medida, a factores como la expansión demográfica, la rápida urbanización, los hábitos de consumo, la industrialización acelerada y el crecimiento económico (Jain et al., 2023). En respuesta a esta problemática, los gobiernos han implementado diversas estrategias no solo para mitigar el volumen de residuos generados, sino también para capitalizar su potencial en beneficio propio. Entre estas estrategias se incluyen métodos como la incineración, la pirolisis, la digestión anaeróbica en rellenos sanitarios, y otras técnicas más. La práctica de minería en rellenos sanitarios, particularmente difundida en Europa y Asia, implica la excavación y recuperación de residuos sólidos confinados durante largos períodos, permitiendo la recuperación de considerables cantidades de materiales reciclables. Este enfoque no solo alivia la presión sobre los rellenos sanitarios, sino que también prolonga significativamente su vida útil. No obstante, su implementación requiere tecnología avanzada y una inversión considerable (Jain et al., 2023).

Paralelamente, el vertiginoso crecimiento urbano en el mundo, especialmente en países en desarrollo, ha resultado en la generación masiva de residuos de construcción y demolición, neumáticos desechados, cenizas industriales y una avalancha de desechos plásticos (Ayeleru et al., 2018; Chen, 2018; Tsiamis et al., 2018). Esta situación ha acelerado el ritmo de llenado de los rellenos sanitarios, lo que a su vez ha exacerbado la búsqueda de nuevos terrenos para su expansión (O'Donnell et al., 2018). En este contexto, numerosos investigadores y profesionales coinciden en que la solución viable radica en el aprovechamiento de estos materiales enterrados en los rellenos sanitarios, utilizándolos como insumos en la construcción de carreteras (Zhao et al., 2020).

En el caso específico del Perú, el Ministerio del Ambiente (MINAM) ejerce la función de ente rector a nivel nacional en lo que respecta a la gestión y manejo de residuos; esta responsabilidad se enmarca en una serie de regulaciones, entre las que destacan el Decreto Ley N° 1278, referente a la Gestión Integral de Residuos Sólidos,

su reglamento (Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM), así como las modificaciones pertinentes a esta legislación, como el Decreto Ley N° 1501 y su reglamento (Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM). Dichos documentos establecen disposiciones orientadas a reducir los volúmenes de residuos sólidos y promover su valorización, mediante métodos como el compostaje, la recuperación de aceites, la reutilización y el reciclaje.

El artículo 37 del Decreto Ley N° 1278 establece la prioridad de la valorización sobre la disposición final de residuos, destacando la opción de valorización mecánica como una alternativa viable. Este proceso implica el tratamiento de residuos sólidos mediante maquinaria especializada, con el fin de separar los materiales reciclables para su posterior procesamiento y reutilización, lo que contribuye a reducir la cantidad de residuos destinados a los rellenos sanitarios (Cabrera, 2018; Mendoza, 2014).

Sin embargo, en el contexto peruano, una gran proporción de los residuos sólidos termina depositada en alguno de los 1,883 botaderos existentes, afectando aproximadamente 2,654 hectáreas de suelo. Esta práctica, ampliamente desalentada en la mayoría de los países debido a su impacto ambiental y sanitario, ha sido objeto de prohibición por parte de las autoridades peruanas, en virtud de su contribución a la contaminación atmosférica y del suelo, así como a la generación de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente metano y dióxido de carbono, responsables del calentamiento global y, por ende, del cambio climático (MINAM, 2023). En este sentido, los residuos sólidos depositados en botaderos representan un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente, generando olores desagradables, propagación de enfermedades transmitidas por vectores como roedores e insectos, además de ocasionar un deterioro estético del entorno (Cheela et al., 2021).

Hasta la fecha, los rellenos sanitarios se han considerado la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos que carecen de valor utilizable. Sin embargo, su eficacia se ve comprometida por la falta de recursos económicos y tecnológicos, así como por la escasez de terrenos aptos para su ubicación, especialmente en zonas urbanas. Según MINAM (2023), aproximadamente el 80% de los municipios peruanos enfrentan dificultades para cubrir los costos operativos de los rellenos sanitarios, lo que

obliga a buscar financiamiento externo, en su mayoría a través de asociaciones con el sector privado. A la fecha, solo existen 65 rellenos sanitarios autorizados en 22 departamentos del país, lo que evidencia un déficit considerable en la infraestructura necesaria para la gestión adecuada de los residuos sólidos a nivel nacional. Esta situación se agrava por la existencia de 1,883 botaderos no autorizados o clandestinos, que representan un peligro latente para la salud pública y el medio ambiente, y que han sido declarados en emergencia sanitaria. Portillo Grande es el segundo relleno más grande del Perú y el más antiguo de la ciudad de Lima, operando desde 1995 pero sólo para el confinamiento de residuos perdiéndose el aprovechamiento potencial de los residuos dispuestos. En resumen, se estima que se requiere la construcción de 190 rellenos sanitarios adicionales a nivel nacional, con una inversión estimada de 760 millones de soles (MINAM, 2023).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Es posible valorizar los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Portillo Grande?

1.2.2 Problemas específicos

¿Qué características en volumen y composición física presentan los residuos sólidos generados en los distritos de Lima Sur y dispuestos en el relleno sanitario de Portillo Grande?

¿En qué medida los residuos confinados pueden servir como insumo para la generación de nuevos productos de usos múltiple?

¿Cómo aplicar la técnica de valoración mecánica en el relleno sanitario Portillo Grande para aprovechar los residuos sólidos confinados como capa asfáltica de carreteras?

1.3 Justificación teórica

El manejo y la gestión de los residuos sólidos constituyen un desafío de gran envergadura para las ciudades modernas, lo que subraya la imperiosa necesidad de fomentar la conciencia ciudadana respecto a la importancia de acciones como la segregación en la fuente, la reducción de la generación de residuos y la correcta disposición de los mismos, incluyendo el cumplimiento de los horarios establecidos por las autoridades municipales.

La valorización material de los residuos sólidos emerge como un imperativo fundamental dentro del marco de la gestión integral de residuos, alineándose con la promoción de la investigación y la innovación tecnológica orientada a una producción más ecoeficiente, la minimización de la generación de residuos y su posterior valorización (D.L. N° 1278, Ley de gestión integral de residuos sólidos). Este enfoque no solo busca mitigar el impacto ambiental de la gestión de residuos, sino también maximizar el aprovechamiento de recursos y reducir la dependencia de la disposición final en rellenos sanitarios.

Además, en ciudades del Perú, la disponibilidad de terrenos adecuados para la construcción de nuevos rellenos sanitarios se ve progresivamente reducida, ya sea debido al agotamiento de los sitios existentes o al incremento de la generación de residuos sólidos como resultado del crecimiento demográfico. En este contexto, la práctica de la valoración mecánica en rellenos sanitarios emerge como una solución potencial para abordar estos desafíos, al permitir la recuperación de materiales aprovechables y extender la vida útil de los sitios de disposición final.

Finalmente, la creciente demanda en el país por el mantenimiento y la ampliación de la red vial contrasta con los limitados recursos presupuestarios de los gobiernos locales; en este sentido, la utilización de los residuos obtenidos mediante la valoración en rellenos sanitarios representa una oportunidad económica y ambientalmente responsable. Esta práctica no solo ofrece una fuente alternativa de materiales para la construcción y el mantenimiento de carreteras, sino que también responde a la

necesidad pública y al derecho fundamental de acceso a una infraestructura vial de calidad para todos los ciudadanos peruanos.

1.4 Justificación práctica

La implementación de la propuesta de investigación implica una colaboración activa entre las municipalidades, entidades particulares y empresas privadas con el fin de promover una gestión eficiente de los residuos sólidos; esto incluye el aprovechamiento de los residuos sólidos confinados en los rellenos sanitarios. Una vez que esta propuesta se ponga en marcha, se espera que mejore significativamente los procesos de gestión de residuos, permitiendo una valorización mecánica efectiva y cuantificando el valor económico de los residuos sólidos confinados, lo que beneficiaría a las empresas para que empleen materiales confinados como el caso del asfalto.

Entre los beneficios potenciales de esta investigación para la gestión de residuos sólidos en el país se destacan los siguientes aspectos:

1. Minería de relleno sanitario: Se estimaría el valor económico del residuo confinado para que no quede perpetuamente confinado sino tenga aprovechamiento. Esta medida no solo representa una oportunidad de nueva búsqueda de terrenos para nuevos rellenos sanitarios, porque se pueden aprovechar los lugares existentes, sino que también puede generar ingresos adicionales a través de la venta de materiales para la producción de asfalto.
2. Reducción de residuos enviados al relleno sanitario: La implementación de prácticas de separación en la fuente y reciclaje contribuiría a disminuir la cantidad de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario Portillo Grande y otros sitios similares; esto no solo generaría ahorros para las municipalidades en términos de pagos por disposición final, sino que también prolongaría la vida útil de los rellenos sanitarios existentes.
3. Extensión de la vida útil del relleno sanitario Portillo Grande: La aplicación de la técnica de valoración mecánica en el relleno sanitario de Portillo Grande permitiría recuperar materiales valiosos y ampliar significativamente

su tiempo de vida útil. Esta medida no solo representa un ahorro en costos asociados a la adquisición de nuevos insumos para la gestión de residuos, sino que también contribuiría a mitigar la presión sobre otros sitios de disposición final en la región.

En resumen, la investigación propuesta no solo ofrece beneficios económicos tangibles para las empresas y municipalidades involucradas, sino que también contribuiría a mejorar la gestión integral de los residuos sólidos en el país, promoviendo prácticas sostenibles y reduciendo el impacto ambiental de su disposición final.

1.5 Objetivos de investigación

1.5.1 Objetivo general

Valorizar mecánicamente los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Portillo Grande procedentes de los distritos de Lima Sur.

1.5.2 Objetivos específicos

Determinar las características que presentan los residuos sólidos generados en los distritos de Lima Sur y dispuestos en el relleno sanitario de Portillo Grande.

Evaluar la posibilidad de utilizar los residuos confinados que pueden servir como insumo para la generación de nuevos productos de usos múltiple.

Analizar la técnica de minería en el relleno sanitario Portillo Grande para aprovechar los residuos sólidos confinados como capa asfáltica de carreteras.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco filosófico

La presente investigación se inscribe en el ámbito de la filosofía a través del método deductivo, que se fundamenta en los preceptos del racionalismo. Este enfoque epistemológico privilegia el ejercicio del razonamiento lógico para inferir conclusiones coherentes y fundamentadas, como la aplicación de la técnica de minería para el aprovechamiento de residuos sólidos confinados en el relleno sanitario Portillo Grande, con el propósito de utilizarlos como capa asfáltica en la construcción de carreteras.

En contraposición, se plantea una reflexión sobre la teoría de las "3R" (Reducir, Reutilizar y Reciclar), propuesta por el primer ministro de Japón, Koizumi Junichiro, durante la Cumbre del G8 en junio de 2004. Esta concepción ética y ambiental busca fomentar un modelo de economía circular que promueva el uso eficiente y responsable de los recursos naturales, sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones. En este contexto, se destaca la importancia de buscar un equilibrio entre los aspectos económicos y ambientales que impactan a la sociedad en su conjunto. En abril de 2005, durante una asamblea de ministros con la participación de varias naciones, se debatió la implementación de esta estrategia para el manejo adecuado de los residuos sólidos, con el objetivo de reducir su impacto ambiental y disminuir su cantidad (Pelaez y Hernández, 2019).

Desde una perspectiva filosófica, los beneficios ambientales de esta investigación adquieren una dimensión ética profunda. La reducción de residuos sólidos, el mejoramiento de la fertilidad del suelo, la mitigación de los gases de efecto invernadero y el incremento de la calidad del aire, representan no solo mejoras materiales, sino también una aproximación hacia la armonía entre el ser humano y su entorno natural.

Asimismo, los beneficios económicos se enmarcan en una reflexión sobre la justicia distributiva y el uso responsable de los recursos. Los ingresos económicos generados por la venta de material reciclable, el ahorro en hogares e industrias mediante la reutilización de materiales y la fabricación de productos con material reciclado dan

cuenta de la posibilidad de conciliar el progreso económico con la preservación del medio ambiente.

Finalmente, desde una perspectiva social, estos beneficios no solo representan una mejora material, sino también un avance hacia una conciencia colectiva de responsabilidad con el ambiente y la sostenibilidad. La creación de una cultura de responsabilidad ambiental es un imperativo ético que involucra a toda la sociedad en la preservación del entorno natural para las generaciones futuras (Nava et al., s/f).

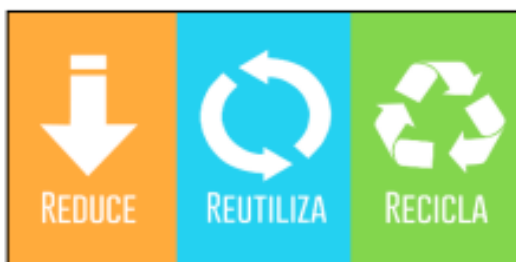


Figura 1

Símbolos representativos de Reducir, Reutilizar y Reciclar

Fuente. Pelaez y Hernández (2019)

2.2 Antecedentes de investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Zhi et al. (2023), en su artículo "Evaluación de los stocks de materiales a nivel urbano en vertederos y el potencial de minería de vertederos en China", resaltan la relevancia de la minería de vertederos como una temática de profundo interés en la investigación sobre el desarrollo urbano. Consideran esta técnica como un método efectivo de remediación ambiental; sin embargo, subrayan la necesidad imperante de identificar la distribución del material reciclable en los vertederos, así como de señalar los puntos críticos de potencial minero en los rellenos sanitarios. Enfatizan que, hasta la fecha, la disponibilidad de datos y herramientas analíticas sistemáticas es aún limitada.

Esta investigación, por ende, propone una metodología innovadora para evaluar el potencial de minería de vertederos en China y otros países, presentando evidencia científica que abona al diseño de políticas públicas pertinentes en este ámbito.

Jain et al. (2023), en su artículo "Minería de vertederos: Una revisión sobre la recuperación de materiales y sus desafíos de utilización", examinan la técnica de la minería de vertederos (LFM por sus siglas en inglés) como un procedimiento que implica la excavación y procesamiento de fracciones recuperadas del LFM para su posterior reciclaje y reutilización. A través de una meticulosa revisión de la literatura, identifican las tecnologías clave involucradas en este proceso, así como las principales categorías de materiales recuperados. Destacan que, tras evaluar aspectos ambientales y de seguridad relativos a la LFM, estos materiales pueden ser caracterizados y procesados para ser reintegrados en ciclos de producción sostenible. Su análisis arroja conclusiones significativas en cuanto al potencial de los materiales recuperados para ser aprovechados en diversos sectores industriales.

Franesqui et al. (2023), en su artículo "Reutilización de residuos plásticos en mezclas asfálticas con áridos residuales porosos", abordan la reutilización de residuos plásticos en la fabricación de mezclas bituminosas para la construcción de carreteras. Su estudio se enfoca en la evaluación del impacto de la incorporación de residuos de tereftalato de polietileno (PET) reciclado en mezclas asfálticas con áridos residuales porosos. Los resultados obtenidos evidencian que esta práctica no solo permite la reducción de residuos plásticos, sino que también mejora algunas propiedades de las mezclas asfálticas, contribuyendo así a la sostenibilidad y eficiencia económica de la construcción de carreteras. Sus hallazgos respaldan la viabilidad técnica y ambiental de esta estrategia, al tiempo que resaltan sus implicaciones positivas en términos de reducción de la extracción de recursos naturales y de minimización de residuos en el sector de la construcción.

Esguerra et al. (2021), en su investigación titulada "Minería de vertederos en Europa: evaluación del potencial económico de la creación de valor a partir de combustibles generados y residuos finos", abordan el desafío económico que representa

la implementación de la minería de vertederos (LFM por sus siglas en inglés) en Europa. Su objetivo principal es evaluar el potencial de recuperación de recursos, como combustibles y residuos finos, con el fin de mejorar la viabilidad económica de la LFM en países europeos. Para ello, adoptaron un enfoque basado en modelos para generar diversos escenarios de LFM (531,441 en total). Uno de estos escenarios consiste en el proceso de tratamiento de residuos a energía (Waste to Energy), utilizando únicamente la incineración interna de combustibles y la recuperación energética (Modelo 1 modificado), mientras que el otro incluye, además, la utilización de residuos finos como agregados para la construcción (Modelo 2 modificado). Los resultados obtenidos revelaron un beneficio adicional del 16% en los escenarios de LFM considerados más rentables. Como conclusiones destacadas, se determinó que ambos enfoques contribuyen significativamente a mejorar la rentabilidad de la LFM en Europa, con aumentos del 19% y 35% para el modelo de referencia y el modelo modificado 2, respectivamente. Además, se subraya que las políticas estatales, como los incentivos económicos y los subsidios, pueden potenciar aún más los beneficios económicos de la LFM.

Por otro lado, Macías et al. (2018), en su tesis titulada "Gestión Integral de residuos sólidos urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios", desde la ciudad de México, exploran las razones por las cuales los residuos sólidos generados no son aprovechados eficientemente, así como la eficacia de la gestión a nivel nacional y, en particular, en el estado de Hidalgo. Su análisis se centra en la aplicación de la gestión integral de residuos sólidos urbanos como una política pública, en la cual participan diversos actores e instituciones del estado de Hidalgo. Destacan la importancia de generar sinergias mediante la participación activa de los diferentes sectores de la sociedad, incluyendo los tres niveles de gobierno, la empresa privada y la sociedad civil. Como conclusión principal, sugieren que la tecnología puede desempeñar un papel crucial en la mejora de la gestión de residuos, la cual está intrínsecamente vinculada a factores socioeconómicos. Además, señalan la necesidad de establecer conexiones entre los diversos actores involucrados en la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) para fomentar su participación efectiva en este proceso.

2.1.2 Investigaciones nacionales

López (2023), en su tesis titulada "Diagnóstico de las condiciones de operación del sistema de disposición final de residuos sólidos - Relleno Sanitario Portillo Grande" desarrollada en la Universidad Nacional Federico Villarreal, relata su experiencia profesional en la formulación de proyectos de inversión para infraestructuras sanitarias de este tipo, con el propósito fundamental de salvaguardar la salud de la ciudadanía circundante y preservar los recursos naturales de la región. El objetivo primordial de esta investigación es obtener un diagnóstico exhaustivo de la operatividad del Relleno Sanitario Portillo Grande. Para llevar a cabo dicho propósito, se aplicó la estructura metodológica establecida en el anexo IV de la Resolución Rectoral N° 0411-2018-CU-UNFV. Como resultado de este análisis, se concluyó que un diagnóstico oportuno redundará en una mejora significativa de la eficiencia operativa de la infraestructura. Además, se identificaron deficiencias en áreas clave como la administrativa, las plataformas de disposición final, y el manejo de gases y lixiviados.

Por otro lado, Rojas y Revilla (2021), en su trabajo titulado "Propuesta del diseño técnico de segregación y valorización de residuos sólidos del Centro de Abastos Virgen de Chapi de Jose Luis Bustamante y Rivero – Arequipa. 2020", se proponen diseñar un sistema técnico para la segregación y valorización de los residuos sólidos generados en el mercado Virgen de Chapi. La metodología adoptada se basó en un enfoque cuantitativo y descriptivo-explicativo, que incluyó la aplicación de encuestas a una muestra de 30 comerciantes. Esta investigación, tras caracterizar inicialmente los residuos sólidos, estimó una generación diaria total de 695.36 kg, destacando la materia orgánica como la fracción predominante, seguida por follaje, cartón y papel. Asimismo, se valorizaron los residuos aprovechables, calculando un valor monetario aproximado de S/. 343.30. Entre las conclusiones más relevantes se encuentra que el 70% de los comerciantes carece de una cultura de segregación y valorización de residuos en sus hogares, y que solo el 30% posee un conocimiento básico al respecto. Se recomienda, en última instancia, la implementación de un plan de valorización de residuos orgánicos mediante compostaje y lombricultura.

Cárdenas y Tejada (2020), en su investigación denominada "Determinación de alternativa de valorización de los residuos orgánicos municipales generados por las actividades de poda de las áreas verdes del Distrito de Alto Selva Alegre – 2019", abordan la problemática de los residuos de poda generados durante el mantenimiento y cuidado de las áreas verdes municipales, los cuales, pese a ser susceptibles de valorización energética, no son aprovechados eficientemente. Utilizando un enfoque cuantitativo y descriptivo, la investigación revela que la municipalidad genera aproximadamente 26.17 toneladas mensuales y 314.05 toneladas anuales de estos residuos, que en su mayoría son destinados al vertedero de Quebrada Honda o incinerados de manera irresponsable, lo que genera una significativa contaminación ambiental. Se propone como alternativa, la implementación de técnicas de valorización como la producción de biogás, biochar, pellets y compostaje, siendo este último destacado como la opción más viable debido a sus bajos costos y su efectividad para mitigar los impactos ambientales. En última instancia, se recomienda la construcción de una planta de compostaje para aprovechar de manera adecuada los residuos orgánicos provenientes de las actividades de poda.

Ranilla (2019), en su tesis doctoral titulada “Determinación de las características para la valorización de residuos sólidos municipales en el distrito de Sachaca, Arequipa 2019”, se adentra en el análisis exhaustivo de las condiciones necesarias para llevar a cabo la valorización de residuos sólidos en el distrito de Sachaca, ubicado en la provincia y departamento de Arequipa. A través de este estudio, se revela que una parte considerable de los residuos generados en el distrito posee potencial para ser valorizada, con un notable 63.19% de residuos orgánicos y un 18.26% de residuos inorgánicos identificados como valorizables. Para alcanzar estos resultados, se aplicaron metodologías establecidas por el Ministerio del Ambiente (MINAM), las cuales abordaron aspectos como la generación per cápita, el pH, la densidad, entre otros. La investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo, aplicado y de diseño no experimental, utilizando como técnica principal el análisis de datos.

Los hallazgos de esta investigación arrojan resultados prometedores, proyectando que a través de la comercialización de compost y materiales reciclables, se podría

generar un ingreso estimado de S/. 51,279.71 mensuales para el año 2020, y S/. 71,872.19 para el año 2030. Incluso después de deducir el salario de dos trabajadores encargados de estas labores, se vislumbra un panorama económico favorable que justifica la inversión en la valorización de residuos sólidos municipales en el distrito de Sachaca.

Por otro lado, Mendoza (2014), en su tesis de maestría titulada “Estudio comparativo del manejo de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Portillo Grande, con y sin planta de tratamiento para el reciclaje, Lurín, Lima 2012”, realizado en la Universidad César Vallejo, profundiza en una comparación detallada del manejo de residuos sólidos en el relleno sanitario de Portillo Grande, ubicado en Lurín, Lima, durante el año 2012. Este estudio pone de relieve la oportunidad perdida de aprovechar una considerable porción de los residuos sólidos reciclables que podrían haber sido valorizados si se hubiese implementado una planta de tratamiento adecuada. La inversión en una planta de valorización no solo habría prolongado la vida útil del relleno sanitario Portillo Grande, sino que también habría permitido la comercialización de los materiales reciclables, reincorporándolos al ciclo productivo y generando empleo formalizado para recicladores.

2.3. Bases teóricas

2.3.1 Valorización mecánica de los residuos sólidos

La valorización de los residuos sólidos es el proceso de aprovechamiento de su potencial, que puede ser de tipo mecánico y energético; la valorización mecánica se refiere básicamente a la obtención de material reciclable así como de compost y aceites, mientras que la energética se da a través de procesos como coprocesamiento, coincineración y obtención de energía a través de la biodegradación.

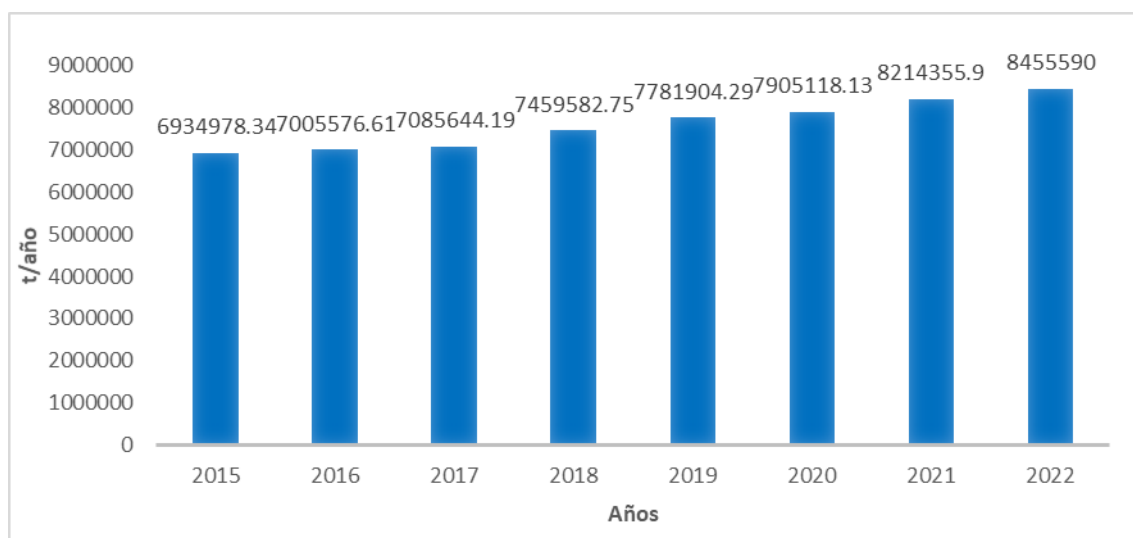


Figura 2

Generación de residuos sólidos municipales en el Perú por años

Fuente. MINAM (2023)

En el Figura 2 se puede apreciar el aumento progresivo de la generación de los residuos sólidos municipales, a nivel nacional, durante el periodo 2015 al 2022.

La finalidad de la valorización mecánica de los materiales reciclables es darle una segunda vida útil al retornar a los procesos productivos. Las municipalidades pueden realizar operaciones de valorización de residuos sólidos directamente, a través de las organizaciones de recicladores debidamente formalizados o las Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EO-RS) (D.L. N° 1278, 2016; Cabrera, 2018).

En el Perú, son muy pocas las municipalidades que disponen de plantas de valorización de material reciclable y pocas las que vienen trabajando con planes piloto para la fabricación de compost para sus parques y jardines, pero también es cierto que cada vez existe una mayor conciencia del cuidado del ambiente, además de querer obtener los incentivos económicos que brinda el MINAM por este tipo de actividades, por lo que hacen los esfuerzos necesarios para lograr dicha valorización.

En realidad, estamos a muchos años de diferencia con los países desarrollados en cuanto a la cultura de la segregación de los residuos sólidos, que empieza en los hogares y colegios enseñando desde niños la manera correcta como se debe segregar éstos según su tipo en bolsas o recipientes de acuerdo al código de colores de la Norma Técnica Peruana 900.058.2019, para así facilitar su recojo por los camiones de las municipalidades o EO-RS; de esta manera los residuos sólidos inorgánicos reingresarían al ciclo de producción y los residuos sólidos orgánicos (RSO) y aquellos que ya no puedan incorporarse a la cadena de valor, serían trasladados a los rellenos sanitarios.

Entre los principales problemas que adolecen la mayoría de las municipalidades del país y que derivan en un inadecuado manejo de residuos sólidos se tiene: un trato incorrecto de los residuos en relación al ambiente, insuficiente servicio de recojo, alto porcentaje de morosidad en la tributación y una cultura de gestión de los residuos sólidos irresponsable y no sostenible (Oldenhage, 2016). Otro problema que deben afrontar las municipalidades es el costo de la disposición final de los residuos sólidos, que consiste no sólo en el transporte al relleno sino también en los gastos por su recepción, ya que deben pagar un aproximado de \$5 por cada tonelada de residuos sólidos que dejan (Cárdenas, 2021).

La verdad es que en el Perú todavía no tenemos cultura del reciclaje y de separación en la fuente de generación: domicilios, centros comerciales, empresas, etc, para su aprovechamiento; aunque algunas municipalidades han implementado programas de recojo entregando bolsas de color para residuos sólidos inorgánicos, que son recogidas en horas de la mañana por los camiones recolectores, para ser llevados a una planta de segregación y luego entregados a Asociaciones de recicladores o directamente a empresas de reciclaje; por la tarde/noche, los camiones recolectores vuelven a pasar para recojer las bolsas comunes dejadas en el exterior de su domicilio, restaurantes, mercados, etc. que contienen RSO, de los cuales un mínimo porcentaje es destinado para la producción de compost; y los residuos sólidos que quedan sin ningún valor son transportados al relleno sanitario.

El éxito de una buena gestión de residuos sólidos radica en la clasificación, separación y recolección desde las viviendas (domiciliarios) y de los mercados, restaurantes, industrias, centros comerciales, etc (no domiciliarios), siendo las viviendas la principal fuente de generación de residuos sólidos (Hernández *et al*, 2016); en ese sentido, es importante que las municipalidades promuevan incentivos para incrementar el reciclaje, así como priorizar la formalización, empadronamiento y capacitación de las asociaciones de recicladores; de hecho, el reciclaje es una buena fuente de ingresos para aquellos que quieran trabajar y ganar dinero.

Lo ideal sería que gradualmente se logre avances en los porcentajes de segregación en la fuente y los residuos sólidos reciclables ya clasificados en grupos como plástico, papel, cartón, vidrio, etc., sean transportados a lugares donde se les trate adecuadamente. De esta manera evitaremos que llegue gran cantidad de residuos sólidos a los rellenos sanitarios (Bless, 2018); de tal manera que algún día lleguemos al sistema de cero residuos como lo vienen practicando muchos países desarrollados (Ayeleru *et al*, 2018; Adeniran *et al*, 2017).

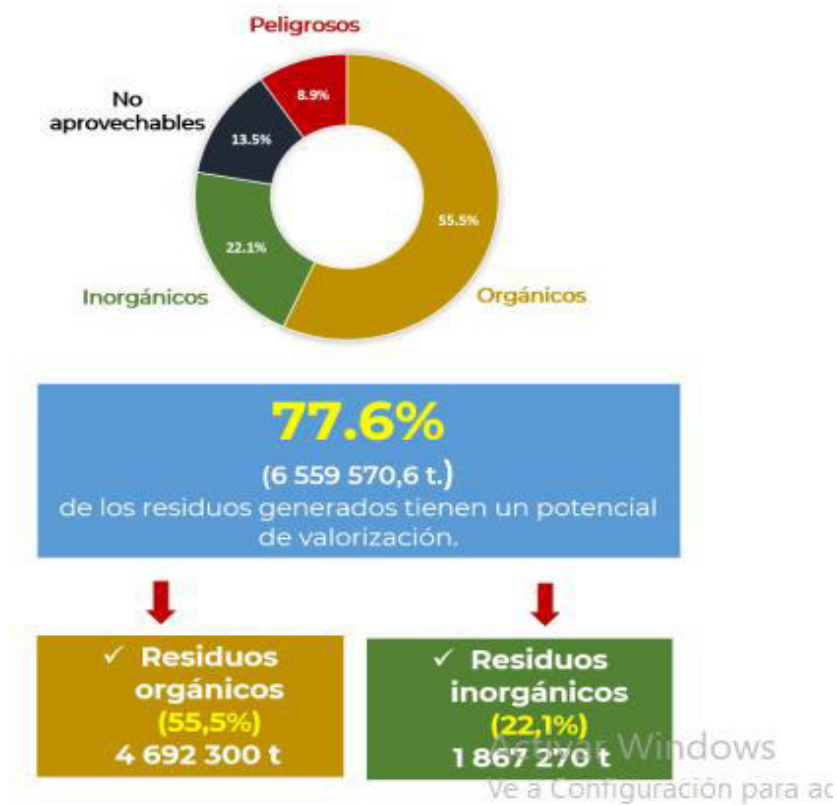


Figura 3

Composición de residuos sólidos en el Perú

Fuente. MINAM (2023)

En el Figura 3 se muestra se aprecia que existe un 55.5% de residuos orgánicos y un 22.1% de residuos inorgánicos con potencial de valorización en el Perú; sin embargo, en ambos casos solo se llega a reciclarse menos del 2% (MINAM, 2023).

Las características físicas de los residuos sólidos son de mucha importancia para escoger el método de recolección, transporte, material recuperable y transformación de

energía; asimismo, para escoger y diseñar los métodos de eliminación correctos (Fudala-Ksiazek *et al*, 2016). Por otro lado, la composición de los residuos proporcionará información valiosa sobre la utilidad del material para el compostaje otros usos (Abdel-Shafy & Mansour, 2018).

El MINAM fomenta las actividades de reciclaje y compost a las municipalidades mediante un programa de incentivos, para ello deben cumplir ciertos requisitos y reportar en el aplicativo informático mensualmente las toneladas de residuos sólidos que se reciclan en su jurisdicción adjuntando copias de facturas comercializadas ya sea por las EO-RS o las asociaciones de recicladores formalizadas. Incluso realiza asistencia técnica, soporte y capacitaciones periódicas a pedido de las Direcciones del Ambiente, pero también a la ciudadanía en general concientizándoles que el reciclaje tiene un valor de utilidad y un valor comercial.

Lo cierto es que si se practicara el reciclaje de materiales aparte de todas las ventajas ya mencionadas, se reduciría considerablemente las emisiones de gases GEI en relación a la disposición final en los rellenos sanitarios.

La valorización material de los residuos sólidos destinados al relleno sanitario Portillo Grande, se convierte en una buena alternativa económica como una fuente generadora de ingresos; además de ello, reduce la cantidad de residuos, ahorra energía y cuida el ambiente al contribuir con la mitigación de los gases GEI; asimismo, la reducción de los residuos sólidos aumentarán la vida útil del relleno sanitario y es un ahorro para las municipalidades en el transporte y disposición final de los residuos sólidos, pero también se beneficia por los incentivos económicos que recibe del MINAM. Además, empleando la técnica de minería de los rellenos sanitarios, se pueden aprovechar las fracciones inertes (piedra, residuos de construcción y demolición, vidrio, cerámica, y metal) como insumos para la preparación de la capa asfáltica en la construcción de carreteras, lo cual representaría un gran ahorro.

Planes piloto para la obtención de compost. Algunas municipalidades vienen promoviendo la segregación de los residuos sólidos en la fuente, reduciendo considerablemente la cantidad de residuos que se destinan a los rellenos sanitarios, y si adicional a ello, se realizaría una valorización mecánica en plantas de valorización o ambientes adecuados con residuos valorizables y con pilotos para producir compost, se reduciría aún más; de tal manera que sólo lleguen residuos sólidos sin ningún valor a los rellenos sanitarios, lo cual ampliaría su vida útil. Además de ello, se ahorraría costos de transporte y pagos de disposición final (Chacaltana, 2018; DL 1278, 2016).

La generación de compost y biofertilizantes a gran escala aprovechando la materia orgánica de los residuos generados es un método que podrían aprovechar las municipalidades para sus parques y jardines, siendo importante crear las condiciones para que las bacterias inicien el proceso de degradación de la materia (sin contar que también pueden emplear elementos codigestores) obteniendo de esta manera bioabono que es una importante fuente de nitrógeno, y es fácilmente absorbida por las plantas pues el proceso de fermentación favorece el contenido de nitrógeno de 0.5% a 2.5% después de 16 días de digestión aeróbica (Arzate, 2015).

Por otro lado, la producción de compost debe fomentarse debido a lo simple y barato de su obtención. Según afirma Thanh *et al* (2015), la actividad del compostaje podría producir una gran cantidad de fertilizantes orgánicos (es decir, de 6,424 a 218,650 t / año), este desvío de RSO al compostaje podría reducir la cantidad de residuos eliminados en los rellenos sanitarios, lo que podría prolongar significativamente su vida útil de 0,5 a 8,7 años.

Con la producción de compost se obtienen altos niveles de nutrientes y alta biodegradabilidad lo que favorece su uso en terrenos agrícolas, parques y jardines; además el compost presenta las siguientes ventajas: reutilización de los residuos orgánicos, mejora la estructura del suelo, incrementa la capacidad de retención hídrica, disminuye la erosión y evaporación, reduce las emisiones de CO₂ y reduce el pH y la actividad microbiana (MINAM, 2023).

En el Perú, se emite 4,482 millones de t CO₂ equivalente por actividades de disposición final de los residuos sólidos municipales, particularmente por los residuos orgánicos responsables de una gran cantidad de emisiones de gases GEI; así por cada t de residuos orgánicos que se valoriza en plantas de compostaje, disminuye 180 kg CO₂ equivalente en vez de ser transportados para su disposición final (MINAM, 2023).

Además mencionar la posibilidad de generar biochar a partir de la pirolisis de maleza y residuos de madera, con la consiguiente aprovechamiento energético, reducción de su gran volumen y ahorro en el transporte.

Por otro lado, sabiendo que los RSO representan más del 55% de la generación de residuos sólidos en el país y el 57% de los destinados al relleno sanitario Portillo Grande, la obtención de compostaje y abonos orgánicos es una alternativa en el reemplazo de abonos industriales, lo cual representa también un ahorro económico, además de las ventajas de reducción y peso de los residuos ya mencionado arriba y otras ventajas ambientales; también esta actividad en mayor escala tiende a favorecer el desarrollo de zonas rurales y se convierte en una oportunidad para el sector agrícola.

Situación de los rellenos sanitarios en el Perú. En la actualidad sólo se dispone de 65 rellenos sanitarios autorizados en 20 departamentos del país, el resto de los residuos sólidos son arrojados a los 1,704 botaderos no autorizados que son un gran riesgo para la salud y ambiente por las plagas de insectos y roedores, enfermedades, GEI, etc, siendo estos lugares declarados en emergencia sanitaria; pero en realidad necesitamos 190 rellenos sanitarios a nivel nacional y 760 millones de soles para construirlos (MINAM, 2023).

El MINAM viene impulsando y asesorando en la construcción de rellenos sanitarios por parte de las municipalidades que concentren grandes cantidades de residuos sólidos de varios distritos para la disposición final. Para ello se fomenta la firma de convenios o alianzas estratégicas con empresas privadas para lograr este financiamiento con mecanismos como alianzas pública-privadas y obras por impuestos,

en vista de la falta de presupuesto necesario que adolecen estas municipalidades (MINAM, 2023).

Pero la construcción de un relleno sanitario no sólo se enfrenta a temas presupuestales, sino a un problema de espacio físico (un mínimo de 1,500 m² de superficie dependiendo del tipo de relleno), terrenos disponibles y saneados, requisitos de saneamiento ambiental, estudios de impacto ambiental y las consideraciones técnicas que debe tener; problemas de este tipo se presenta en muchas ciudades del país; al respecto, Mendoza (2014) afirma que el MINAM exige cada vez mayores normativas de ubicación, extensión, de infraestructura, geológicas, culturales y ambientales que dificultan conseguir estos tipos de terrenos.

Además, es importante tomar en cuenta que de los rellenos sanitarios existentes en el país, 10 acaban su tiempo de vida útil dentro de 5 años y 10 más dentro de 10 años (MINAM, 2023), lo cual obliga a las municipalidades empiecen una nueva búsqueda de espacios físicos para reemplazarlos. “Con el aumento de la población y el consiguiente aumento de la generación de residuos sólidos, ahora nos estamos quedando sin espacios para establecer infraestructuras de disposición de residuos sólidos” (Sapuay, 2016).

Aunque el uso de los rellenos sanitarios es hoy en día la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos, las legislaciones ambientales cada vez son más exigentes con las municipalidades para la valorización energética de los mismos, dictando leyes y normas que conlleven a iniciativas públicas y privadas para la valorización de los residuos. Es por ello, la tendencia a la minimización de los residuos sólidos, pues se sustenta en la falta de terrenos disponibles, altos costos y dependencia tecnológica con países desarrollados, para la impermeabilización, tratamiento de lixiviados y aprovechamiento energético (Xiao et al, 2018).

En ese sentido, la técnica de la minería de los rellenos sanitarios es una opción válida que viene ganando gran popularidad y que se empleó por primera vez en Israel en la década de 1950, llamando la atención en los Estados Unidos a mediados de la década de 1980, y que actualmente lo practican varios países de Europa y Asia de oriente (Jain et al, 2023).

El relleno sanitario Portillo Grande se encuentra ubicado en el distrito de Lurín, a 14.5 km de esta ciudad, es de tipo mecanizado, está concesionado a la empresa Innova Ambiental S.A. Lurín, Lima y recibe entre 2,000 a 2,500 t de residuos sólidos por día (cerca de 200 vehículos aprox.) de las municipalidades de Lima Cercado, Lurín, Miraflores, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, San Borja, San Juan de Miraflores, Santa María del Mar, Villa El Salvador y Villa María del Triunfo; asimismo, desde el inicio de sus operaciones hasta el 2021 cuenta con más de 15 millones de t de residuos sólidos confinados (Innova Ambiental, 2023).

Portillo Grande es un lugar estratégico para la disposición final de los residuos sólidos provenientes de los distritos del sur de Lima, comprende un área total de 307 ha, de las cuales 184 ha están consideradas como calificadas y 123 ha como no calificadas y una altitud de 300 m.s.n.m.; la precipitación es escasa, con esporádicas lloviznas en los meses de invierno con precipitaciones inferiores a 8 mm; la temperatura media por año es 19.6° C, las mínimas se registran en los meses de mayo a noviembre y las máximas en los meses de diciembre a abril; la humedad relativa media por año es 82% y la máxima humedad se registra de agosto a setiembre y la mínima entre noviembre a abril (López, 2023).

Además, Portillo Grande recepciona los siguientes tipos de residuos sólidos: municipales, industriales no peligrosos y peligrosos, y tiene un tiempo de vida útil estimado de 25 a 30 años (López, 2023). Si bien Portillo Grande recibe de 2,000 a 2,500 t diarias de residuos sólidos, el relleno sanitario Huaycoloro recibe casi el doble como se aprecia en la Tabla 1 (Innova Ambiental, 2023).

Tabla 1

Rellenos Sanitarios en Lima Metropolitana

Relleno Sanitario	Ubicación	t/mes	t/año
Huaycoloro	Prov Huarochirí	99,000	1,188.382
Portillo Grande	Lurín	51,312.97	624,307.9

Zapallal	Carabayllo	47,400	576,318.6
Modelo Callao	Ventanilla	167.25	2,007
Totales / Promedio		274,950	100'356,750

Nota: Municipalidad Metropolitana de Lima y Callao al 2019

Fuente. López (2023)

En el manejo de lixiviados, éstos son canalizados a través de drenes longitudinales y transversales, sobre las plataformas superiores del relleno sanitario, sin embargo la cantidad de lixiviados es mínima debido a pocas precipitaciones y por el suelo bastante seco; es decir que el manejo de lixiviados está avocado a controlar el afloramiento y escurrimiento de los mismos y una vez captado este material, se procede a la recirculación con camiones cisterna que las transporta hasta las plataformas superiores, actividad que se realiza cada 3 días (Innova Ambiental, 2023).

En relación al manejo de gases, éstos se canalizan a través de drenes verticales o también llamadas chimeneas de 3 m de altura, desde la primera plataforma hasta la superficie, para luego ser quemadas manualmente con un encendedor. La separación entre chimeneas es aproximadamente de 40 m. Estas chimeneas consisten en tubos metálicos con pequeños huecos en las superficies laterales, cubiertas de madera y una malla metálica con piedras pequeñas (López, 2023).

El tratamiento de lixiviados y gases está en base a la normatividad establecida en el Programa de Adecuación Manejo Ambiental de Portillo Grande con Resolución Directoral 0175/2004/DIGESA/SA; además, dispone del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Residuos del Ámbito de Gestión No Municipal – Residuos Peligrosos con Resolución Directoral 5420/2008/DIGESA/SA (Sigersol, 2022).

2.3.2 Minería de los rellenos sanitarios

La minería de los rellenos sanitarios (LFM por sus siglas en inglés) es una técnica novedosa que consiste en la excavación y recuperación de valiosos materiales reciclables, el cual viene teniendo mucha demanda en el mundo, particularmente en EEUU, Europa y Asia del Este, dado el gran potencial de recursos almacenados para convertirlos en materiales secundarios (Goli & Singh, 2023; Jain et al, 2023), pero también para la recuperación de suelo (ya sea para usos residenciales e industriales) o para aprovechar el espacio vacío del relleno sanitario (Esguerra et al, 2021); así esta técnica surge como una actividad eficiente para eliminar y reciclar los residuos aprovechables confinados en estas estructuras cada vez con mayor aceptación por los países para generar beneficios sociales, económicos y ambientales adicionales (Calderón Márquez et al., 2019), además el LFM es un método práctico para la recuperación de recursos, la restauración de los ecosistemas y el incremento de la vida útil del relleno sanitario (ideal para países donde no hay terrenos disponibles), el cual puede estar activo o ya clausurado (Zhi et al., 2023); asimismo contribuye con la reducción y recuperación de la contaminación (CPCB, 2019).

La excavación y el procesamiento de los materiales extraídos son aspectos determinantes en el empleo de la técnica de LFM, el cual para ser exitoso, depende de la capacidad de aislar una porción importante de los residuos mineros, mediante tecnologías para excavación y para procesamiento de dichos residuos; es verdad, que el potencial y variedad de los materiales difieren entre uno y otro relleno sanitario por factores como tipo de relleno sanitario, antigüedad, ubicación, clima y condiciones meteorológicas, etc. (Jain et al, 2023).

Las fracciones extraídas de LFM se pueden dividir en cuatro grandes grupos: (1) material similar al suelo (llamado así al componente fino de los residuos excavados), (2) combustibles (incluido plástico, papel, madera, caucho y textiles), (3) inertes (piedra, residuos de construcción y demolición, vidrio, cerámica, y metal) y (4) otros (Jain et al, 2023).

Al respecto, el grupo inerte incluye muchos insumos que se pueden utilizar como material de la capa asfáltica para la construcción de carreteras con el consiguiente ahorro en la compra de nuevas materias primas.

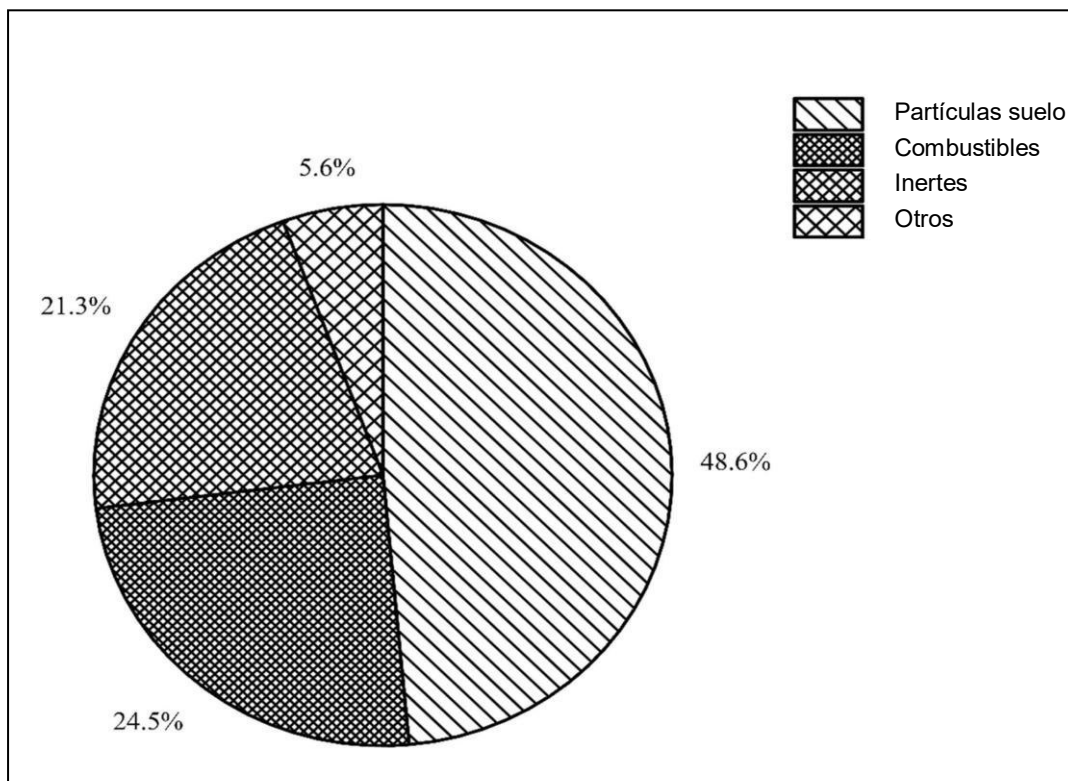


Figura 4

Valor porcentual promedio de material obtenidos en LFM

Fuente: Jain et al (2023)

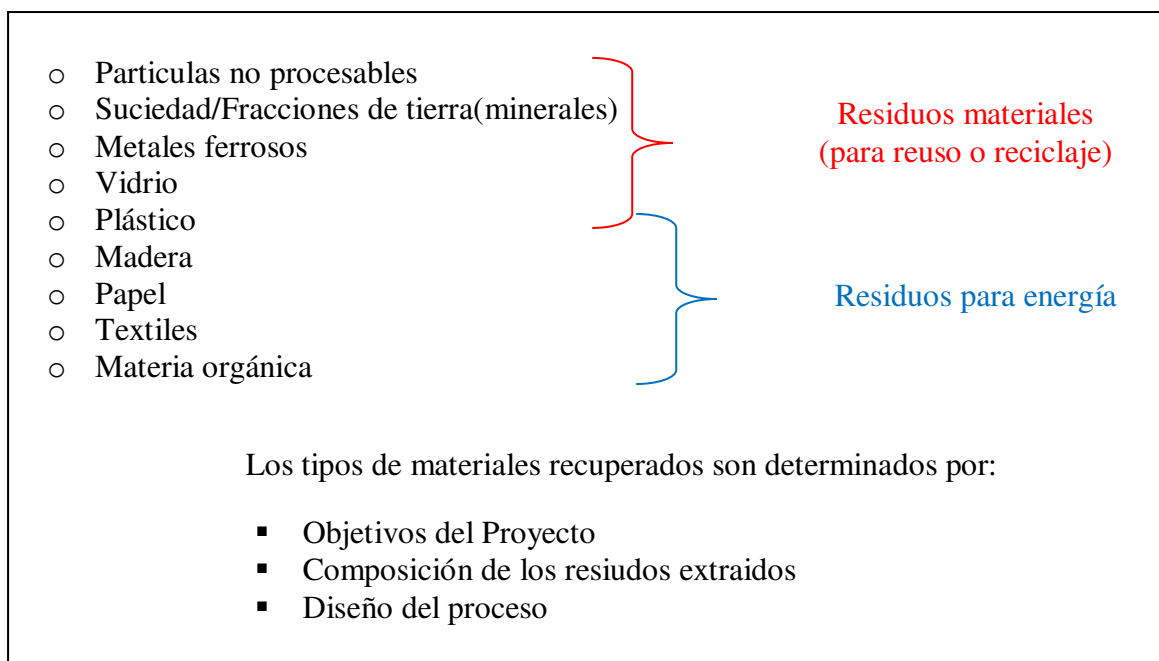


Figura 5

Composición de los residuos de minería de rellenos sanitarios

Fuente. ISWA (2016)

Para la perforación se pueden emplear equipos como barrenas/perforadoras, barrenas de cangilones y equipos de perforación, mientras que para la excavación de los materiales enterrados se pueden realizar mediante grúas de agarre de cactus, excavadoras hidráulicas y excavadoras de cangilones de excavación dentada; una vez extraído estas fracciones, pasan a la etapa de trituración para convertirlos en partículas de menor tamaño empleando cribas, trituradoras, separadores de metales ferrosos, separadores de metales no ferrosos y tecnologías de separación de aire; luego debe realizarse un proceso de secado para separar los materiales de la tierra y suciedad adherida y la materia orgánica, después se clasifican y separan para un aprovechamiento ideal de los recursos, y finalmente se evalúa la idoneidad de estos materiales para su reutilización (Jain et al, 2023).

Por otro lado, materiales como cenizas, piedra, carbón, madera, caucho y plástico contienen abundante carbono orgánico y nutrientes, que pueden ser empleados como combustible de biomasa, o bioenergía a partir de la biomasa residual (Bokhari et al., 2019; Nosheen et al., 2022).

Sin embargo, la minería de los rellenos sanitarios enfrenta el reto de las fracciones similares a suelos (Landfill Mined Soil Fractions o LFMSF), que son un conjunto de compuestos orgánicos, tierra, escombros y otros residuos finos, cuya separación de los materiales reciclables eleva los costos operativos, algo que desalienta a los inversionistas (Chandana et al, 2021). Es por ello que pesar de los beneficios potenciales, como los residuos combustibles para obtener energía (10%-50%) y la arena y grava utilizada como áridos para la construcción (20% a 80%), existen solamente cerca de cien proyectos de LFM en el mundo, cuyo mayor interés es la remediación del sitio que la recuperación de los recursos (Calderón Márquez et al, 2019), es decir que la viabilidad económica del LFM es el principal obstáculo para su implementación global (Esguerra et al, 2021).

Al respecto, los requisitos para utilizar los residuos finos como agregados para la construcción, serán más favorables en algunos Estados o regiones específicas con mercados adecuados y legislación particulares que en otros donde las condiciones serán más desafiantes (Esguerra et al, 2021; Blasenbauer et al., 2020).

La minería de los rellenos sanitarios también puede convertir dichas infraestructuras en parques y lugares de recreación y esparcimiento, contribuyendo con el ecosistema e incrementando el valor de los bienes inmuebles circundantes de estas áreas (Burlakovs et al, 2021); incluso, la LFM es un método que puede ser empleado para remediar el sitio con la finalidad que no contaminen ni el suelo a través de los lixiviados ni el aire a través de los GEI que se genera por descomposición biológica (Pehme et al, 2018, CPCB, 2019).

Aparte de lo mencionado anteriormente, con el LFM se puede aprovechar los residuos plásticos en la fabricación de mezclas asfálticas para la pavimentación de pistas y carreteras, lo que significa un gran ahorro de materias primas con cerca de 1.200

millones de t anuales (Fransqui et al, 2023; Xu et al, 2021); además, se puede aprovechar parte del material similar al suelo extraído, en la fabricación de las mismas mezclas asfálticas, evitando de esta manera su extracción de canteras con grandes consecuencias económicas y ecológicas (Fransqui et al, 2019); aun así sigue siendo importante la elección de rellenos sanitarios apropiados para la minería, el diseño de proyectos individualizados, el desarrollo de políticas de estado y de mercados favorables para su comercialización (Esguerra et al, 2021).

A pesar que muchas investigaciones vienen analizando el potencial de reciclaje y otras posibilidades en el mercado, hasta la fecha no existen los estudios suficientes para asegurar el retorno de la inversión de manera exitosa por los costos operativos (Zhi et al., 2023); además de ello, existe mucha polémica en la comunidad académica sobre preocupaciones ambientales, salud y seguridad (Jain et al, 2023) como se aprecia en la Tabla 2; sin embargo, Vengata et al (2023) afirma todo lo contrario, al decir que el LFM puede traer grandes beneficios económicos mediante la valorización de los residuos plásticos extraídos de rellenos sanitarios (LMPW por sus siglas en inglés) y las fracciones similares al suelo (LFMSF por sus siglas en inglés).

Tabla 2

Cuestiones ambientales, de salud y seguridad

Categoría	Temas	Justificación
Ambiental	Generación excesiva de lixiviados	Debido a LFM, el cambio de pendiente en el sitio resultó en la acumulación de aguas pluviales y el contacto de las aguas pluviales con los desechos sólidos produce lixiviados excesivos.
	Fuego accidental	El incendio se produce por la quema accidental de residuos sólidos; Los gases atrapados en los residuos se escapan repentinamente y pueden provocar una explosión y un incendio.
	Contaminación del aire	Emisiones al aire procedentes de equipos mineros pesados que funcionan con diésel y emisiones de GEI procedentes del transporte

Categoría	Temas	Justificación
	Transferencia del contaminante fuera del sitio	Debido a una descontaminación/lavado inadecuado del vehículo
	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas	Descarga de lodos, sólidos y líquidos contaminados (lixiviados) a aguas subterráneas o superficiales
	Ruido y vibración	Debido al trabajo en equipos mineros pesados.
	Descubrimiento de residuos peligrosos	La naturaleza y el alcance de los desechos peligrosos pueden afectar sustancialmente el costo y la eficiencia de la LFM.
	Liberación de gases, olores y polvo	El metano y otros gases generados son resultado de la descomposición de residuos.
Salud y seguridad	Inestabilidad de la pendiente	Debido a un aumento en la presión del agua de los poros como resultado de la infiltración de la lluvia.
	Problemas respiratorios de los trabajadores	Debido a una selección inadecuada del respirador, medidas de protección y no probar la calidad del aire en el intervalo de tiempo adecuado.
	Accidente en el sitio	Debido a la mala capacitación en seguridad del personal para el uso de los equipos.
	Seguridad en espacios de trabajo confinados	Atrae al culpable para confiscar los objetos de valor de LFM.

Fuente. Jain et al (2023)

La Tabla 2 muestra los cuestionamientos de muchos científicos y expertos ambientales sobre la conveniencia del uso del LFM como riegos ambientales y problemas que puedan generarse contra la salud y seguridad de los trabajadores y personas que viven en lugares cercanos.

Un caso exitoso de LFM fue el estudio de factibilidad minera para aprovechar residuos mineros para la fabricación de compost en el vertedero de Jatibarang, en Java-Indonesia, realizada por investigadores locales, en la que demostraron que el material

fino extraído puede convertirse en fertilizante orgánico granular para su empleo en la industria petroquímica, así como suelo de cobertura y relleno de construcción; adicional a ello, al mejorar la calidad del compost, se pueden emplear como un potente fertilizante para la agricultura, jardines, campos de golf y reverdecimiento de tierras en general (Syafudin et al., 2023).

La minería mejorada de rellenos sanitarios (ELFM o Enhanced landfill mining por sus siglas en inglés) es otra de las técnicas relativas a la minería de rellenos sanitarios que viene siendo estudiada en varios países del mundo y que consiste en articular una economía circular con la necesidad de emplear terrenos en forma más eficiente; esto se refiere al hecho que Europa posee más de 500 mil rellenos sanitarios y una gran mayoría de ellos por su antigüedad no son sanitariamente adecuados, es decir que tarde o temprano se requerirán de aplicar técnicas de remediación para evitar daños a la salud y al ambiente. Aplicando la técnica de enfoque integral de ELFM se realizaría remediación de suelos, excavación, procesamiento y recuperación de los residuos sólidos depositados, siendo *Closing the Circle* en Bélgica y la red de formación *New-Mine*, los proyectos más exitosos (Krook, 2021).

El proyecto *Closing the Circle* (CtC) es un diseño ambicioso e innovador que aplicará el ELFM en el relleno sanitario de Remo en el distrito de Houthalen-Helchteren en Bélgica, que almacena más de 16 millones de t de residuos para convertirlos en materiales aprovechables y en energía; un primer objetivo será implementar una instalación de demostración de plasma para luego convertirse en componentes reutilizables, materiales de construcción y otros; según el Grupo Machiel, a cargo del proyecto, Remo es un referente acerca de la idea que un relleno sanitario es, en realidad, un depósito de materias primas y una fuente de energía aprovechable (EURELCO, s/f).

El proyecto New Mine es una iniciativa de la Unión Europea que aplica esta estrategia para reducir costos de remediación y recuperación de tierras y a la vez, aprovechar recursos valiosos; pero para ello, se requiere capacitar políticos, científicos, ingenieros, economistas y otros, para desarrollar políticas y marcos legales adecuados para ELFM rentables y amigables con el ambiente; para ello, la Red de formación New

Mine viene preparando 15 investigadores jóvenes (ESR por sus siglas en inglés) en enfoques y tecnología relacionada al LFM, tanto en innovación tecnológica como evaluaciones multicriterio, de tal manera de seguir el concepto de cadena de valor, desde la perforación de rellenos sanitarios, proceso mecánico, transformación termoquímica de plasma-solar-híbrido y reciclaje, mientras que los métodos de la evaluación multicriterio posibilita comparar el método ELFM con el método *No hacer nada*, *Remediación clásica* y *Minería de relleno clásica con co-incineración* (New-Mine, s/f).

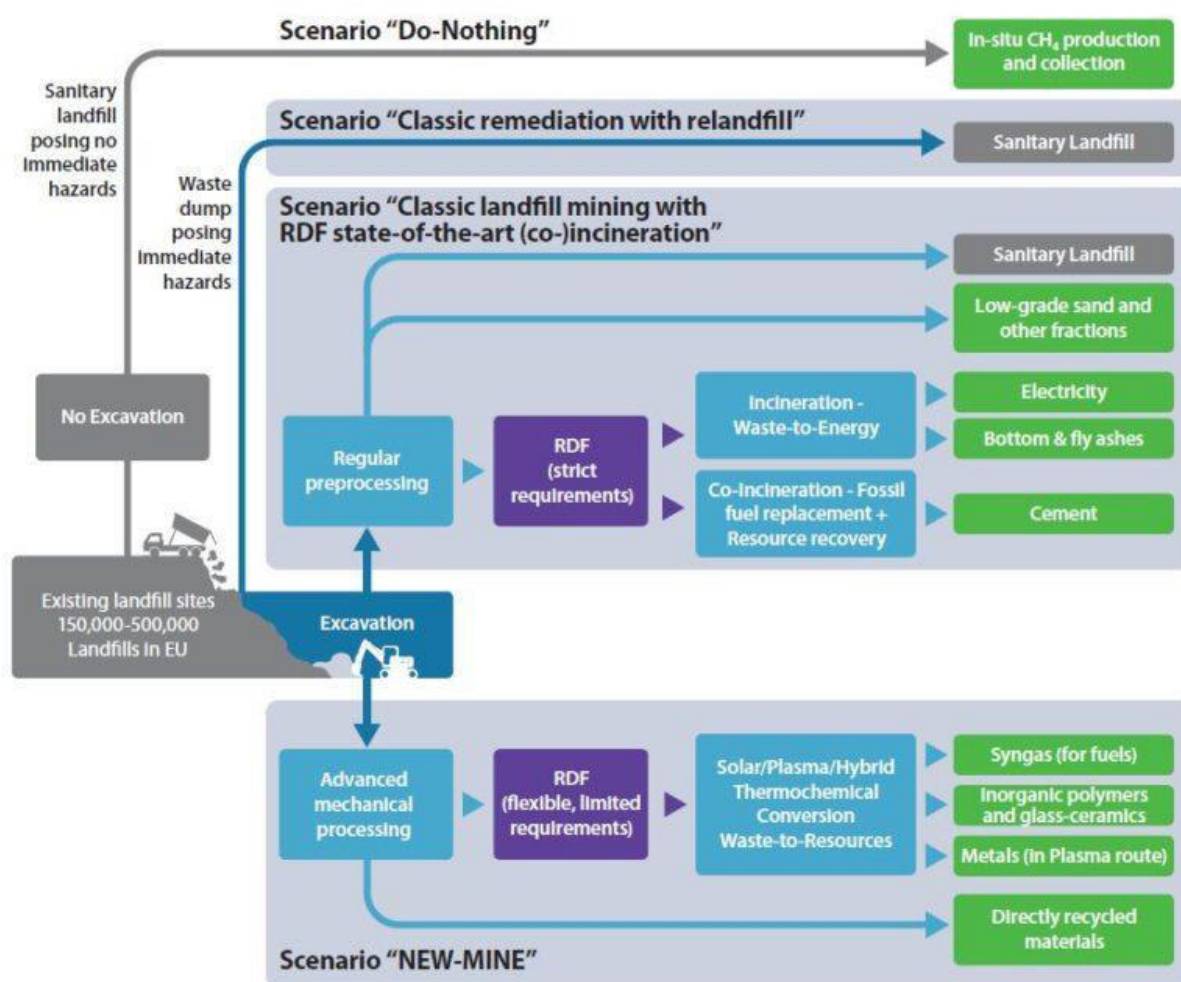


Figura 6

Proyecto New-Mine

Fuente. <https://new-mine.eu/project/>

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación se enmarca dentro del ámbito de la investigación aplicada, ya que tuvo como objetivo abordar un problema específico relacionado con la valorización de residuos sólidos en su etapa de disposición final. Según Vargas Beal (2011), la investigación aplicada se caracteriza por la implementación de acciones concretas destinadas a resolver problemas reales a través del desarrollo de estrategias específicas. En la actualidad, este tipo de investigación está orientada principalmente a abordar problemas o necesidades identificadas (p. 78).

El diseño de la investigación es no experimental, ya que se centra en identificar y cuantificar las causas de la falta de valorización de los residuos sólidos. En palabras de Hernández-Sampieri (2017), el término "diseño" se refiere al plan o estrategia establecida para obtener la información necesaria con el fin de abordar el problema de investigación planteado.

En cuanto al enfoque metodológico, se utilizará un análisis mixto que combina elementos cuantitativos y cualitativos.

3.2 Unidad de análisis

Relleno sanitario Portillo Grande del distrito de Lurín

3.3 Población de estudio

La población está definida como “conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernandez - Sampieri, 2017, p. 174), que en este caso son los residuos sólidos que son llevados al relleno sanitario Portillo Grande.

3.4 Tamaño de muestra

Hernandez - Sampieri (2017) considera a la muestra como “subgrupo de la población o subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto más grande llamado población...”, que en este caso son los mismos residuos sólidos que son destinados al relleno sanitario, ya que es de tipo no probabilística.

3.5 Selección de muestra

Para el presente trabajo de investigación se obtuvo la data obtenida de reportes y documentos oficiales formulados por las municipalidades como Estudios de caracterización de residuos sólidos, Reportes de resumen general de residuos sólidos y Planes de manejo de residuos sólidos, que son instrumentos que se remiten periódicamente al MINAM.

3.6 Técnicas de recolección de datos

Se empleó el análisis de datos y análisis documental. En cuanto a los instrumentos se hizo uso del análisis de datos y la ficha documental.

Se visitó los rellenos sanitarios Portillo Grande y Huaycoloro más sus respectivas oficinas administrativas y, tres centros de acopio y generación de compost; todo ello con la finalidad de recopilar datos y luego contrastarlos.

Se revisó abundante información literaria de tesis de investigación y artículos científicos que no superen los cinco y diez años de antigüedad respectivamente, tanto nacionales como extranjeros.

Para hallar la caracterización de los residuos sólidos confinados en el relleno sanitario Portillo Grande, se recurrió a documentos oficiales como los Estudios de caracterización y/o Plan de manejo de residuos sólidos, correspondiente al periodo 2018-2020 de las 11 municipalidades que depositan sus residuos como disposición final (Ver Tabla 4).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características de los residuos sólidos generados en los distritos de Lima Sur y dispuestos en el relleno sanitario de Portillo Grande

4.1.1. Generación.

La producción diaria de residuos sólidos en el Perú se estima en más de 23,166 mil toneladas, según datos recopilados (MINAM, 2023). Sin embargo, apenas el 1.8% de este volumen se aprovecha mediante actividades de valorización, como el compostaje para materiales orgánicos y el reciclaje para aquellos materiales aprovechables. Una fracción mínima retorna al ciclo biológico a través de donaciones de alimentos, forraje para animales y procesos bioquímicos. Lamentablemente, el 17% de los residuos generados se deposita en rellenos sanitarios, mientras que el resto se elimina de manera inapropiada, provocando riesgos para la salud humana y daños ambientales (MINAM, 2023; Fundación Ellen Macarthur, 2017).

En cuanto a la caracterización de los residuos sólidos en rellenos sanitarios, existen diversas fuentes de información. Se pueden obtener datos a partir de registros históricos, la composición promedio de los residuos en una población específica o a través de estudios in situ (Escamilla, 2019). Estos métodos permiten obtener una visión más detallada de la naturaleza de los residuos sólidos, facilitando la implementación de estrategias efectivas de gestión y reducción de residuos.

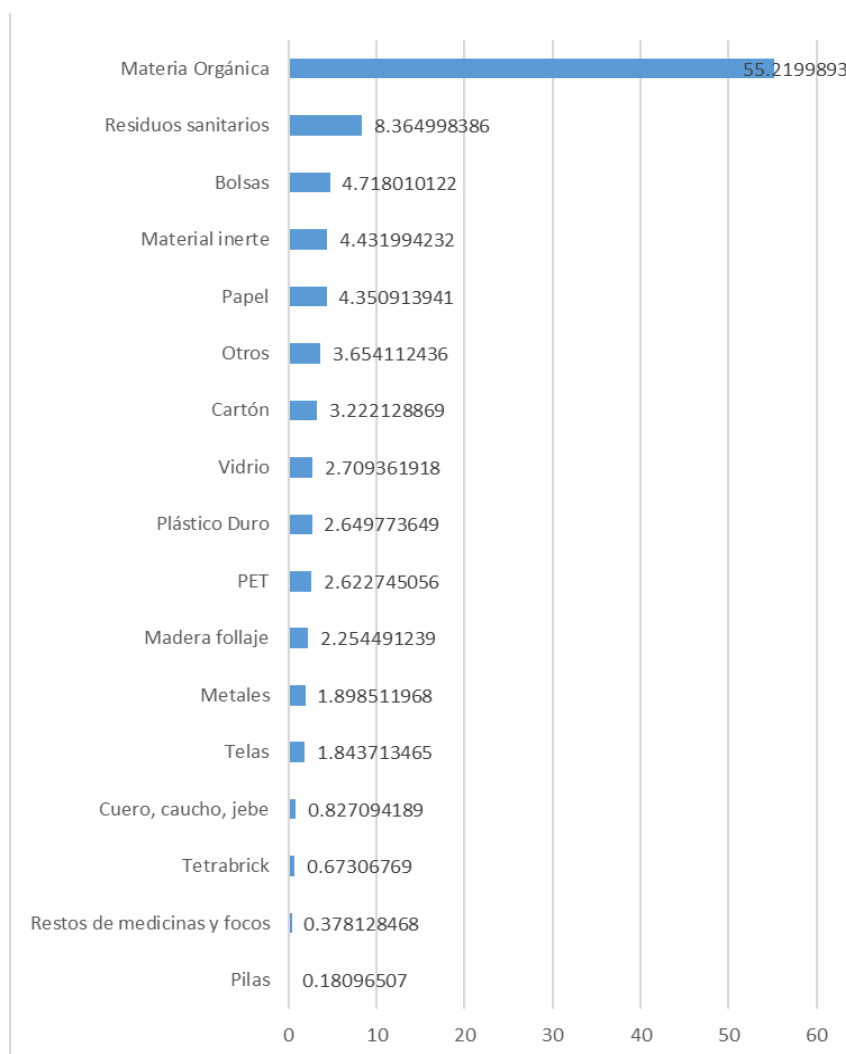


Figura 7

Caracterización de los residuos sólidos en el Perú

Fuente. MINAM (2023)

La valorización de los residuos como fuente de productos valiosos está asociada con la eficiencia de los recursos y la economía circular (Abdel-Shafy & Mansour, 2018). Además, la valorización es la alternativa de gestión que debe priorizarse ante la disposición final de los residuos sólidos (DS 014-2017-MINAM, 2017).

La valorización mecánica, principalmente el reciclaje es una actividad primordial que deben incentivar las municipalidades para disminuir sus gastos en la gestión integral de los residuos sólidos. Además, con la valorización mecánica se reduciría considerablemente el volumen y peso de los residuos sólidos recolectados, amplía considerablemente el tiempo de vida útil del relleno sanitario y se disminuyen los costos que representa el transporte y las tarifas por dejarlos en el relleno sanitario (Edwards *et al*, 2015).

Por otro lado, las actividades de reciclaje dentro de una economía circular, permite darle una segunda vida a los productos dentro de la cadena de valor, disminuir los índices de contaminación ambiental y a la vez es una fuente de generación directa de ingresos económicos para las EO-RS y las Asociaciones de recicladores e indirecta para las municipalidades.

Obviamente los costos de la compra del material reciclable está dada por la oferta-demanda que imponen las grandes empresas recicladoras y muchas veces los recicladores y asociación de recicladores le venden a intermediarios por no disponer de centros de acopio para su recepción ni disponer de ambientes para almacenar grandes cantidades.

Tabla 3

Cantidad de residuos sólidos depositados en el relleno sanitario Portillo Grande por años

Año	Cantidad en toneladas (t)
1996	129 417
1997	407 922
1998	452 070
1999	474 989
2000	386 716
2001	301 041
2002	326 903
2003	482 770
2004	433 986
2005	437 779
2006	478 367
2007	480 420

Año	Cantidad en toneladas (t)
2008	463 060
2009	507 858
2010	532 181
2011	563 940
2012	584 275
2013	757 910
2014	724 753
2015	814 130
2016	721 886
2017	733 863
2018	739 864
2019	843 419
2020	1 109 691
2021	1 085 918
2022	1 197 574

Nota: La suma total de residuos sólidos confinados desde 1996 hasta 2022 es de 16'172,702 t

Fuente. Innova Ambiental (2023)

La Tabla 3 señala las t de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Portillo Grande, desde 1996 hasta el 2022, acumulando más de 16 millones de toneladas.

El relleno sanitario Portillo Grande recepcionó 729,289.73 t de residuos sólidos como disposición final durante el periodo 2018-2020 (ver Tabla 4) y lo que se demostró es que se puede aprovechar estos recursos dándoles un segundo uso aplicando el método de LFM para aprovechar ciertos materiales como insumos para la fabricación de la capa asfáltica en la construcción de carreteras, u obteniendo un valor monetario en actividades de valoración durante la producción de los residuos sólidos municipales; en ese sentido, la valorización material mediante actividades de reciclaje y la generación de compost se puede convertir en una oportunidad para desarrollar trabajos lucrativos.

En relación a la cantidad potencial de residuos orgánicos perdidas en Portillo Grande, si bien no se tiene esa data, se podría estimar sabiendo que en el Perú el promedio de residuos sólidos orgánicos es del 57%, ésta sería 415,695.14 t aproximadamente (Sigersol, 2022). En cuanto a potencialidad de contaminación en

Portillo Grande por la quema de CH₄ y CO₂, no se tiene información disponible, ya que ni la empresa Innova Ambiental ni el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) miden esta contaminación.

Tabla 4

Resumen de la caracterización de residuos sólidos de los municipios que disponen en Portillo Grande 2018-2020

Municipalidad	Residuos sólidos confinados en Portillo Grande	Residuos orgánicos	Residuos inorgánicos								No aprovechables
			Papel	Cartón	Vidrio	Plástico	Metales	Caucho	Textiles	Total	
Cercado	205273.43	123081.94	11146.35	7903.03	3345.96	15929.22	3859.14	106.74	1476.94	43767.38	38424.11
Lurín	43451.97	24385.25	756.06	912.49	560.53	2137.84	1212.31	22.59	312.42	5914.24	13152.48
Miraflores	22500.22	12831.88	1444.51	981.01	1118.26	1361.26	452.25	137.25	186.75	5681.29	3987.05
Punta Hermosa	4368.29	2556.76	197.00	226.27	136.72	181.72	68.15	2.27	31.41	843.54	967.99
Punta Negra	2226.16	1167.40	118.43	126.45	49.64	97.28	19.59	1.15	16.01	428.55	630.21
San Bartolo	1182.56	605.59	57.71	17.38	12.18	74.26	36.66	0.61	8.50	207.3	369.67
San Borja	47573.00	12013.79	2965.84	815.61	487.25	1868.48	300.82	23.3	290.23	6751.53	28807.68
Santa María del Mar	962.36	616.58	28.97	22.13	19.54	36.67	15.30	5.00	23.58	151.19	194.59
SJM	153300.44	90523.91	32944.26	6791.21	3832.51	17077.67	2130.88	79.72	1102.23	63958.48	-1181.95
VES	121165.18	65950.21	8275.58	5791.70	3150.29	6288.47	1647.85	63.01	871.18	26088.08	29126.89
VMT	127286.12	79541.10	4289.54	3207.61	954.65	4276.81	1947.48	66.19	915.18	15657.46	32087.56
TOTAL	729289.73	413274.41	62224.25	26794.89	13667.53	49329.68	11690.43	507.83	5234.43	169449.04	146566.28
		57%	9%	4%	2%	7%	2%	0%	1%		18%

Fuente. Sigersol (2022)

La Tabla 4 es importante porque permite saber la estimación de la cantidad de los residuos sólidos que fueron dispuestos en el relleno sanitario Portillo Grande, pero también la caracterización de los residuos generados, por las 11 municipalidades de Lima Sur durante los años 2018-2020, según los Estudios de caracterización de residuos sólidos, Reportes de resumen general de residuos sólidos y Planes de manejo de residuos sólidos, reportados al Sigersol.

Tabla 5

Resumen de residuos valorizables que generaron los municipios de Lima Sur 2018-2020

Municipalidad	Residuos orgánicos valorizables	Aplicando alicuota del 1.8%	Residuos inorgánicos valorizables	Aplicando alicuota del 1.8%
Cercado	68310.48	1229.59	9672.59	174.11
Lurín	13533.81	243.61	1307.05	23.53
Miraflores	7121.69	128.19	1255.57	22.60
Punta Hermosa	1419	25.54	186.42	3.36
Punta Negra	647.91	11.66	94.71	1.70
San Bartolo	336.1	6.05	45.81	0.82
San Borja	6667.65	120.02	1492.09	26.86
Santa María del Mar	342.2	6.16	33.41	0.60
SJM	50240.77	904.33	14134.82	254.43
VES	36602.37	658.84	5765.47	103.78
VMT	44145.31	794.62	3460.3	62.29
TOTAL	229367.3	4128.61	37448.24	674.07

Fuente. Elaboración propia

La Tabla 5 indica la cantidad de residuos sólidos valorizables, que corresponden a 55.5 % los orgánicos y 22.1 % los inorgánicos, de los residuos generados totales, pero en la realidad, las municipalidades sólo han logrado valorizar un 1.8% (MINAM, 2023).

Además de ello, se puede apreciar que existe un total de 229,367.3 t de residuos orgánicos con potencial de valorización, pero las 11 municipalidades de Lima Sur sólo valorizaron 4,128.61 t; asimismo, un total de 37,448.24 t de residuos inorgánicos con potencial de valorización, pero que las 11 municipalidades solo valorizaron 674.07 t en centros de acopio y compostaje.

Una primera intención de esta investigación es crear conciencia sobre los beneficios económicos, de utilidad y ambientales que pueden darse antes de llegar a esta última etapa de su gestión, es decir en la etapa de recolección; una segunda intención es la posibilidad de aplicar la técnica de minería de rellenos sanitarios para aprovechar los residuos sólidos confinados para darles un segundo valor, proteger el ambiente y aumentar la vida útil del relleno sanitario.

Como ya se mencionó anteriormente el reciclaje es una fuente de generación de ingresos económicos, reduce el volumen y peso de los residuos sólidos, y aumenta el tiempo de vida de los rellenos sanitarios; si bien es cierto que se realizan convenios con asociaciones de recicladores y cada vez existe mayor cantidad de recicladores aislados que se formalizan, sigue siendo alto el porcentaje de material reciclable que son destinados para su disposición final, lo cual implica no solo gastos en el transporte de vehículos sino en los \$5 por cada t de residuos sólidos que paga diariamente a la administración de Portillo Grande (Cárdenas, 2021).

Con los datos obtenidos de la caracterización de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Portillo Grande (ver Tabla 4) de documentos oficiales formulados por las municipalidades como Estudios de caracterización de residuos sólidos, Reportes de resumen general de residuos sólidos y Planes de manejo de residuos sólidos, se obtiene la cantidad de residuos sólidos inorgánicos según su caracterización y la cantidad de residuos sólidos que fueron destinados al relleno sanitario Portillo Grande durante los años 2018-2020; pero además se calculó la cantidad de residuos inorgánicos que fueron valorizados por las municipalidades de Lima Sur (ver Tabla 5); por lo que se infiere según datos del MINAM, que el 98.2 % de ellos no se les dio ningún valor.

Asimismo, empleando la técnica de minería de los rellenos sanitarios, se pueden aprovechar las fracciones inertes (piedra, residuos de construcción y demolición, vidrio, cerámica, y metal) como insumos para la capa asfáltica en la construcción de carreteras, lo cual representaría un gran ahorro.

4.1.2. Valorización.

En la Tabla 5 se muestra las toneladas de material orgánico que son compostificables de las 11 municipalidades (de las cuales no se sabe con exactitud qué cantidad fueron destinados al relleno sanitario Portillo Grande como disposición final); sin embargo, se calculó un total de 229,367.3 t de residuos orgánicos con potencial de valorización, pero sólo 4,128.61 t fueron valorizadas, es decir que la diferencia de 225,238.69 t se desperdiciaron disponiéndolos en Portillo Grande o en lugares no autorizados.

Es verdad que cada vez son más las municipalidades que vienen implementando plantas de valorización para obtener compost y diferentes abonos líquidos (biol) que son aprovechados para parques y áreas verdes del distrito, así como donación para campos de cultivo; sin embargo, la gran mayoría de ellas no lo hacen por falta de recursos económicos y de gestión ambiental.

Además está la ventaja, que por cada t de residuos orgánicos que convertimos en compost se reduce la generación de metano, principal GEI que viene contaminando el planeta y produciendo el calentamiento global.

Se calculó el precio del compost que costaría en el mercado, haciendo un promedio de los costos de tres centros de acopio y generación del mismo:

- La Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) produce 5 toneladas de compost por mes, distribuyendo una parte para los cultivos y jardines de la universidad y el resto lo comercializa a S/. 360 cada tonelada; además, en su propio proceso, por cada tonelada de residuos sólidos orgánicos más desperdicios vegetales, obtienen 500 kg de compost, es decir se obtiene un 50% como aprovechable (Baldeon, 2023).

- La Municipalidad distrital de San Juan de Miraflores produce media tonelada de compost por mes y lo destina para parques y jardines de la provincia, lo demás lo dona a agricultores de la zona, y no lo comercializa por desconocimiento ya que sí le está permitido de acuerdo al DL 1278; en su Planta de Valorización, ellos obtienen un 40% de compost en la relación a la materia orgánica empleada (Peña, 2023).
- La empresa Abonos San Miguel produce una serie de productos 100% orgánicos y los comercializa a nivel nacional, obteniendo en su proceso $\frac{3}{4}$ de abono orgánico en relación a la materia prima que ingresa al proceso; en su catálogo ofrece para la venta: sacos de 50 kg por S/.10. y por tonelada a S/.180 (Abonos San Miguel, s/f).

4.2. Residuos confinados como insumo para la generación de nuevos productos de usos múltiple

El relleno sanitario Portillo Grande recibe como disposición final, los residuos sólidos de las 11 municipalidades en esta zona sur de Lima (Cercado, Lurín, Miraflores, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, San Borja, San Juan de Miraflores, Santa María del Mar, Villa El Salvador y Villa María del Triunfo); recepcionando 729,289.73 t de residuos sólidos durante el periodo 2018-2020 (ver Tabla 4) y lo que se demostró es que se puede aprovechar estos recursos dándoles un segundo uso a partir de la minería de relleno o LFM, obteniendo un valor monetario, reutilizando materiales inertes como insumos que se pueden utilizar como material de la capa asfáltica para la construcción de carreteras, y como una fuente de energía renovable; por otro lado, durante la generación de los residuos sólidos domiciliarios, la valorización material a través de actividades de reciclaje y la generación de compost se puede convertir en una oportunidad para desarrollar trabajos lucrativos; que pudieron valorizar económicamente sus residuos sólidos inorgánicos y orgánicos generados; pero en vez de ello, terminaron confinados en dicho relleno sanitario, y cuyos resultados se aprecian en la Tabla 17 y Tabla 18, respectivamente.

4.2.1 Valorización material

Valorización de los residuos sólidos inorgánicos. Para obtener el cálculo total de la valorización económica que pudo realizarse a los principales residuos sólidos inorgánicos reciclables generados, se tomó los datos de las 11 Municipalidades de Lima Sur; para ello, se aplicó la alicuota del 1.8% a los residuos con potencial de valorización, según datos de la Tabla 4.

Tabla 6

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Cercado 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	31,438.25	0.30	9,431.48
2	Papel	44,340.18	0.60	26,604.11
3	Plástico PET	63,366.43	1.10	69,703.07
4	Vidrio	13,310.22	0.20	2,662.04
5	Metales	15,351.65	0.70	10,746.16
Total				119,146.86

Fuente. Elaboración propia

Tabla 7

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Lurin 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	1,120.33	0.30	8,104.63
2	Papel	3,007.60	0.60	78,631.36
3	Plástico PET	8,504.32	1.10	74,728.47
4	Vidrio	2,229.78	0.20	3,049.14
5	Metales	4,822.56	0.70	5,933.65
Total				15,317.16

Fuente. Elaboración propia

Tabla 8

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Miraflores 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	3,902.45	0.30	1,170.74
2	Papel	5,746.26	0.60	3,447.76
3	Plástico PET	5,415.09	1.10	5,956.60
4	Vidrio	4,448.43	0.20	889.69
5	Metales	1,799.05	0.70	1,259.34
Total				12,724.11

Fuente. Elaboración propia

Tabla 9

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Punta Hermosa 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	900.10	0.30	270.03
2	Papel	783.66	0.60	470.20
3	Plástico PET	722.88	1.10	795.17
4	Vidrio	543.87	0.20	108.77
5	Metales	271.10	0.70	189.77
Total				1,833.94

Fuente. Elaboración propia

Tabla 10

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Punta Negra 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	503.01	0.30	150.90
2	Papel	471.11	0.60	282.67
3	Plástico PET	386.97	1.10	425.67
4	Vidrio	197.46	0.20	39.49
5	Metales	77.92	0.70	54.54
Total				953.27

Fuente. Elaboración propia

Tabla 11

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de San Bartolo 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	69.13	0.30	20.74
2	Papel	229.57	0.60	137.74
3	Plástico PET	295.40	1.10	324.94
4	Vidrio	48.45	0.20	9.69
5	Metales	145.83	0.70	102.08
Total				595.19

Fuente. Elaboración propia

Tabla 12

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de San Borja 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	3,244.49	0.30	973.35
2	Papel	11,798.11	0.60	7,078.87
3	Plástico PET	7,432.81	1.10	8,176.09
4	Vidrio	1,938.28	0.20	387.66
5	Metales	1,196.66	0.70	837.66
Total				17,453.62

Fuente. Elaboración propia

Tabla 13

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Santa María del Mar 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	88.03	0.30	26.41
2	Papel	115.24	0.60	69.14
3	Plástico PET	145.87	1.10	160.46
4	Vidrio	77.73	0.20	15.55
5	Metales	60.86	0.70	42.60
Total				314.16

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de San Juan de Miraflores 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	27,015.43	0.30	8,104.63
2	Papel	131,052.27	0.60	78,631.36
3	Plástico PET	67,934.97	1.10	74,728.47
4	Vidrio	15,245.72	0.20	3,049.14
5	Metales	8,476.64	0.70	5,933.65
Total				170,447.25

Fuente. Elaboración propia

Tabla 15

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Villa El Salvador 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	23,039.38	0.30	6,911.81
2	Papel	32,920.25	0.60	19,752.15
3	Plástico PET	25,015.53	1.10	27,517.08
4	Vidrio	12,531.85	0.20	2,506.37
5	Metales	6,555.14	0.70	4,588.60
Total				61,276.02

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generó la Municipalidad de Villa María del Triunfo 2018-2020

N/O	Material	Cantidad en kg	Precio unidad soles	Precio total soles
1	Cartón	12,759.87	0.30	3,827.96
2	Papel	17,063.79	0.60	10,238.27
3	Plástico PET	17,013.15	1.10	18,714.47
4	Vidrio	3,797.59	0.20	759.52
5	Metales	7,747.07	0.70	5,422.95
Total				38,963.17

Fuente. Elaboración propia

Tabla 17

Cuantificación económica de los principales materiales reciclables que generaron las 11 Municipalidades de Lima Sur 2018-2020

N/O	Municipalidad	Precio total en soles
1	Cercado	119,146.86
2	Lurín	15,317.16
3	Miraflores	12,724.11
4	Punta Hermosa	1,833.94
5	Punta Negra	953.27
6	San Bartolo	595.19
7	San Borja	17,453.62
8	Santa María del Mar	314.16
9	SJM	170,447.25
10	VES	61,276.02
11	VMT	38,963.17
TOTAL		439,024.75

Fuente. Elaboración propia

En la Tabla 17, se demuestra que las 11 Municipalidades de Lima Sur, pudieron contribuir a que las Asociaciones de recicladores de sus respectivos distritos generen ingresos económicos por un total de 439,024.75 PEN.

Además de ello, mencionar que la Municipalidad de Villa María del Triunfo durante el año 2022, recibió 24'993,399 soles como parte de los beneficios del Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal que promueve el MINAM,

luego de cumplir entre otros logros, con sus índices de valorización inorgánica (a través de sus Asociaciones de recicladores y recicladores formales) y orgánica (a través de su planta de valorización) realizadas en la Meta 3 en su aplicativo informático (DS 082-2023-EF, 2023); lo cual es un buen ejemplo para generar ingresos económicos que debería ser replicado por las demás municipalidades del país.

Valorización de los residuos sólidos orgánicos. Para obtener el cálculo total de la valorización económica que pudo realizarse a los residuos orgánicos generada, se tomó los datos de las 11 Municipalidades de Lima Sur.

Tabla 18

Cuantificación económica de la materia orgánica generadas por las 11 Municipalidades de Lima Sur 2018-2020

Municipalidad	*Cantidad de materia orgánica en kg	Cantidad de compost obtenido en kg	Cantidad de sacos de 10 kg	Precio saco de 10 kg (en soles)	Precio total soles
Cercado	1,229,588.58	922,191.44	92,219.14	2	184,438.29
Lurin	243,608.65	182,706.49	18,270.65	2	36,541.30
Miraflores	128,190.48	96,142.86	9,614.29	2	19,228.57
Punta Hermosa	25,542.03	19,156.52	1,915.65	2	3,831.30
Punta Negra	11,662.33	8,746.74	874.67	2	1,749.35
San Bartolo	6,049.84	4,537.38	453.74	2	907.48
San Borja	120,017.76	90,013.32	9,001.33	2	18,002.66
Santa María del Mar	6,159.63	4,619.73	461.97	2	923.95
SJM	904,333.86	678,250.40	67,825.04	2	135,650.08
VES	658,842.60	494,131.95	49,413.19	2	98,826.39
VMT	794,615.59	595,961.69	59,596.17	2	119,192.34
TOTAL	4,128,611.35	3,096,458.52			619,291.70

Fuente. Elaboración propia

*Nota: Este resultado se obtiene luego de haber aplicado la alícuota del 1.8% a los residuos orgánicos con potencial de valorización, según datos de la Tabla 4.

En la Tabla 18 se aprecia la cantidad de materia orgánica en kg generada por las 11 Municipalidades luego de aplicar el 55.5% como material valorizable y después la alícuota del 1.8% compostificable de dicha cantidad, de los datos obtenidos en la Tabla 4. Luego de restar el margen de error, pues sólo el 75% resultaría aprovechable como

compost, y si se embolsa en sacos de 10 kg y se comercializarían a S/.2 cada saco en promedio, entonces se obtendría ingresos económicos por un total de 619,291.70 PEN.

A continuación, se calcula los activos fijos que se necesitaría para la operación de una Planta de Compostaje (Tabla 19) así como sus costos operativos (Tabla 20).

Tabla 19

Activos fijos para operar una Planta de Compostaje

N/O	Activo	Costo en soles
1	Terreno de 2 ha	250,000
2	Instalaciones	200,000
3	Picadora	20,000
4	Cargador Frontal	90,000
	TOTAL	560,000

Fuente. Elaboración propia

Tabla 20

Costos operativos para una Planta de compostaje

N/O	Item	Costo mensual en soles
1	Trabajadores	15,000
2	Insumos (gallinaza agua)	2,000
3	Embolsado	5,000
4	Administración	5,000
	TOTAL	27, 000

Fuente. Elaboración propia

Quiere decir que si algunas Municipalidades grandes como la de VES que obtiene un valor de venta de S/.98,826, le resta los gastos de activos fijos (S/.560,000) y los costos operativos para una Planta de compostaje (S/.27,000), la inversión se recuperaría en casi 6 años y a partir de allí se obtendría ganancia neta; mientras que la de SJM con un valor de venta de S/.135,650.08, lo recuperaría en 4.3 años.

Tabla 21

Resumen de datos aplicando la Metodología ACM0001 versión 15

Información	Abreviaturas	Datos obtenidos	O B S
RS acumulados hasta el 2022	t	16'172,702	Tabla 3
Materia orgánica confinada	t	413,274.41	Tabla 4
Materia orgánica para compost	t	4,128.61	Tabla 18
CERs	tCO _{2e}	1,138	

Fuente. Software LandGEM V3.02

En la Tabla 21 aplicando el software LandGEM y la metodología ACM0001, que es la metodología de cálculo establecido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas, se obtuvo que al destinar materia orgánica para generar compost se podría ahorrar cerca de 1,138 tCO₂ e/año, validando certificados de reducción de emisiones de CO₂, argumento que coincide con lo afirmado por Nascimento et al. (2019), cumpliendo a su vez con nuestra cuota acordada en el Acuerdo de París, así demostramos que el Perú es respetuoso de los acuerdos internacionales sobre el cuidado del ambiente, y a la vez dejamos de contaminar el ambiente con los GEI.

4.3. Análisis de la técnica de minería en el relleno sanitario como capa asfáltica de carreteras

La técnica del LFM conlleva una multitud de beneficios ambientales, sociales y económicos. Estos incluyen la remediación de terrenos, la recuperación de recursos reciclables para su reutilización, y la optimización del espacio dejado en los rellenos sanitarios (Calderón Márquez et al., 2019; Esguerra et al., 2021; Zhi et al., 2023). Además, puede reducir la generación de lixiviados, prevenir deslizamientos de tierra, eliminar residuos tóxicos y utilizar materiales mineros (Syafudin et al., 2023); sin embargo, su efectividad depende de características específicas como la antigüedad, ubicación, clima y condiciones meteorológicas del relleno sanitario (Jain et al., 2023).

Por otro lado, uno de los aspectos cruciales para los inversionistas es la utilización de residuos inertes en la fabricación de la capa asfáltica para la construcción de carreteras. Esto elimina la necesidad de adquirir nuevas materias primas y fomenta la economía circular; no obstante, requiere la adecuación de regulaciones legales y la creación de facilidades de mercado por parte de los Estados (Esguerra et al., 2021; Blasenbauer et al., 2020).

Según Xu et al. (2021), los residuos de plásticos PET y llantas de caucho pueden transformarse en modificadores que mejoran el rendimiento de la capa asfáltica, lo que conlleva una doble ventaja al reducir el volumen de residuos urbanos y convertirlos en componentes duraderos para pavimentos.

Una revisión sistemática de la gestión de residuos identificó seis materiales comunes confinados en rellenos sanitarios: concreto, pavimento asfáltico, cenizas volantes, cenizas de fondo, caucho y plástico. La extracción de estos materiales podría generar beneficios ambientales y económicos significativos al prolongar la vida útil de los rellenos, reducir los costos de construcción y disminuir la carga ambiental (Zhao et al., 2020).

Investigaciones muestran que los modificadores del betún, como polímeros y caucho granulado, pueden mejorar el rendimiento de las mezclas bituminosas utilizadas en la construcción de carreteras. El proceso seco de mezcla de plástico con agregado antes de introducir el betún se considera particularmente efectivo, siendo el

polipropileno el plástico más adecuado debido a su durabilidad y resistencia (Appiah et al., 2017; Mishra & Gupta, 2020).

Delongui et al. (2018) destacan que los residuos de construcción y demolición (RCD), que representan una parte considerable de los desechos generados en Europa, pueden emplearse en la preparación de capas asfálticas para carreteras urbanas de tráfico ligero y medio. Los áridos reciclados de RCD ofrecen una alternativa rentable y resistente para aceras urbanas con tráfico moderado.

En el caso específico del Relleno Sanitario Portillo Grande, que alberga un gran volumen de residuos inertes, se estima que aproximadamente el 21.3% del total de residuos sólidos podrían ser utilizados como insumos para la fabricación de capas asfálticas, lo que representa una oportunidad significativa para la economía circular y la sostenibilidad en la construcción de carreteras.

Durante una investigación exhaustiva de revisión sistemática de la literatura científica sobre la gestión de residuos, se identificaron seis materiales comúnmente encontrados en rellenos sanitarios: material de concreto, pavimento asfáltico, cenizas volantes, cenizas de fondo, caucho y plástico. La extracción y reutilización de estos materiales no solo prometen importantes beneficios ambientales y económicos, sino que también ofrecen una solución potencial para alargar la vida útil de los rellenos, reducir costos de adquisición de nuevos materiales de construcción y mitigar la carga ambiental asociada. La selección de estos seis materiales se basó en su abundancia y en su idoneidad como insumos para la capa asfáltica en la construcción de carreteras; sin embargo, se recomienda una mayor investigación para comprender completamente su comportamiento y optimizar su aplicación (Zhao et al., 2020).

La mejora del rendimiento de las mezclas bituminosas utilizadas en la construcción de carreteras se ha demostrado posible mediante la adición de diversos modificadores del betún, como polímeros, caucho granulado y látex de caucho. Estos modificadores pueden obtenerse mediante dos métodos: mezclando plástico con agregado antes de la introducción del betún (proceso seco) o mezclando plástico y betún simultáneamente (proceso húmedo). Se ha observado que el plástico de polipropileno es particularmente adecuado para la construcción de carreteras debido a su durabilidad y resistencia a la fatiga (Appiah et al., 2017). Este enfoque ha sido respaldado por investigaciones

adicionales que destacan la efectividad del proceso seco, subrayando su simplicidad, economía, eco-amigabilidad y resultados satisfactorios tras rigurosas pruebas (Mishra & Gupta, 2020).

Delongui et al. (2018) sostienen que los residuos de construcción y demolición (RCD), que representan una parte considerable de los desechos generados en Europa, pueden emplearse en la preparación de capas asfálticas para carreteras urbanas con tráfico ligero y medio. Los áridos reciclados de RCD ofrecen una alternativa rentable y resistente, adecuada para aceras urbanas, especialmente aquellas con un tráfico vehicular moderado.

En el contexto específico del Relleno Sanitario Portillo Grande, donde los residuos inertes constituyen aproximadamente el 21.3% del total de residuos sólidos confinados, existe una oportunidad significativa para utilizar estos materiales como insumos en la fabricación de capas asfálticas para la construcción de carreteras. Según los datos recopilados desde 1996 hasta 2022, se estima que hasta 3,444,785.526 toneladas podrían ser aprovechadas de esta manera (Datos de la Tabla 3).

4.3.1 Consideraciones para aplicar la técnica de minería en el relleno sanitario de Portillo Grande como capa asfáltica de carreteras

Para hacer frente a la creciente preocupación por los residuos y la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras viales, varias naciones han adoptado enfoques innovadores y sostenibles, explorando soluciones creativas para abordar este desafío:

- **India:** En India, se ha adoptado el uso de plástico reciclado para mejorar tanto la durabilidad como la resistencia de las carreteras. Esta iniciativa no solo aborda el problema en constante aumento de los desechos plásticos, sino que también reduce la dependencia de los materiales convencionales.
- **Reino Unido:** El Reino Unido ha explorado la inclusión de neumáticos reciclados y vidrio triturado en la construcción de carreteras. Estos materiales reciclados no solo ofrecen una solución sostenible para la gestión de residuos, sino que también mejoran significativamente las propiedades de las mezclas asfálticas.

- **Estados Unidos:** Algunos estados de Estados Unidos han seguido enfoques similares. Por ejemplo, California ha implementado el uso de llantas recicladas para mejorar la durabilidad y prevenir el agrietamiento en sus carreteras, demostrando así su compromiso con la innovación y la sostenibilidad en la infraestructura vial.
- **Países Bajos:** Los Países Bajos se han destacado como pioneros en la adopción de técnicas innovadoras. Han integrado exitosamente residuos plásticos reciclados y asfalto reciclado en la construcción y mantenimiento de sus redes viales, demostrando un firme compromiso con la circularidad y la eficiencia en la gestión de recursos.
- **Australia:** En Australia, se han llevado a cabo proyectos piloto que emplean residuos de construcción y demolición (RCD) reciclados en la construcción de carreteras. Esta iniciativa contribuye significativamente a la reducción de la cantidad de desechos que ingresan a los vertederos, al tiempo que promueve prácticas más sostenibles en el sector de la construcción vial.

Para que en Perú se puedan implementar ejemplos similares a los mencionados, es necesario considerar una serie de variables que abarquen aspectos técnicos, legales, económicos y sociales:

- **Marco Legal:** Es fundamental contar con un marco legal que promueva e incentive el uso de materiales reciclados en la construcción de carreteras. Esto puede incluir regulaciones que establezcan estándares de calidad para los materiales reciclados y normativas que faciliten su adquisición y uso.
- **Políticas Públicas:** El gobierno peruano debería desarrollar políticas públicas que fomenten la adopción de prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras viales. Esto podría incluir incentivos fiscales para empresas que utilicen materiales reciclados, programas de capacitación para profesionales del sector y campañas de concientización para el público en general.
- **Alianzas Público-Privadas:** Se pueden establecer alianzas entre el gobierno, empresas privadas y organizaciones sin fines de lucro para

promover la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas de construcción sostenible.

- **Educación y Sensibilización:** Es importante educar a la población sobre la importancia de la gestión adecuada de residuos y la sostenibilidad en la construcción de carreteras. Esto puede incluir programas educativos en escuelas y universidades, así como campañas de sensibilización en medios de comunicación y redes sociales.
- **Inversión en Infraestructura:** El gobierno peruano debe invertir en infraestructura para el reciclaje y procesamiento de materiales reciclados. Esto incluye la construcción de plantas de reciclaje y centros de acopio, así como la mejora de la infraestructura de transporte para facilitar el transporte de materiales reciclados a los sitios de construcción.
- **Investigación y Desarrollo:** Se debe promover la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas de construcción sostenible. Esto incluye la investigación sobre nuevos materiales reciclados, así como el desarrollo de métodos de construcción más eficientes y respetuosos con el ambiente.

La práctica de utilizar residuos confinados en rellenos sanitarios como insumo para la construcción de carreteras es una estrategia sostenible que busca aprovechar los materiales disponibles y reducir la cantidad de residuos. Este enfoque, conocido como “geosintéticos reforzados con residuos” o “geosintéticos reciclados”, implica la combinación de materiales reciclados, como residuos confinados con geosintéticos para mejorar las propiedades mecánicas y ambientales de los materiales utilizados en la construcción de carreteras.

Para implementar con éxito esta práctica, es crucial tener en cuenta una serie de consideraciones:

- **Caracterización de los Residuos:** Es esencial realizar una caracterización exhaustiva de los residuos confinados para comprender su composición, propiedades físicas y químicas antes de utilizarlos en la construcción de carreteras.

- **Separación y Clasificación:** Los residuos confinados deben someterse a procesos de separación y clasificación para eliminar impurezas y garantizar la homogeneidad del material, lo que puede incluir la separación de residuos orgánicos, plásticos y otros materiales no deseados.
- **Estudio de Ingeniería:** Se debe realizar un estudio de ingeniería para evaluar la viabilidad técnica del uso de residuos en la construcción de carreteras, determinando sus propiedades mecánicas, capacidad de carga y durabilidad.
- **Mezcla con Geosintéticos:** La combinación de residuos confinados con geosintéticos, como geotextiles o geomallas, es fundamental para mejorar las propiedades del material resultante y reforzar su estabilidad, previniendo la erosión y otros problemas.
- **Pruebas de Laboratorio y en Sitio:** Es necesario realizar pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades del material reciclado y llevar a cabo pruebas en el sitio de construcción para garantizar su desempeño real en condiciones reales.
- **Normativas y Regulaciones:** Se deben cumplir con las normativas y regulaciones locales que rigen la construcción de carreteras y el uso de materiales reciclados, obteniendo las aprobaciones y certificaciones necesarias.
- **Implementación en la Construcción:** Una vez confirmada la viabilidad y cumplidas todas las regulaciones, se puede proceder a la implementación del material reciclado en la construcción de carreteras.

Esta práctica no solo contribuye a una gestión sostenible de residuos, sino que también puede generar beneficios económicos y ambientales al reducir la necesidad de materiales vírgenes y minimizar la cantidad de desechos enviados a vertederos. La colaboración con ingenieros, autoridades locales y expertos en gestión de residuos es fundamental para garantizar el éxito de este enfoque.

4.4 Discusión de resultados

En el ámbito del manejo de materiales inorgánicos, los resultados de esta investigación arrojan luz sobre la notable discrepancia entre la cantidad de toneladas valorizadas por la Municipalidad del Cercado de Lima y las ambiciosas proyecciones delineadas en el PIGAR para el período 2020-2024. La cifra reportada de 174.11 toneladas, valorizada a través de las actividades de reciclaje llevadas a cabo por las Asociaciones de recicladores y recicladores formales, se sitúa en marcado contraste con la visión optimista del PIGAR, que aspira a una valorización total de 1,830.93 toneladas gracias a la ejecución de su programa pionero *Recicla Lima*.

Este desajuste subraya la necesidad crítica de una evaluación profunda de las estrategias actuales de gestión de residuos inorgánicos en el Cercado de Lima. A pesar de los esfuerzos desplegados por las Asociaciones de recicladores y recicladores formales, la brecha entre los resultados alcanzados y las metas establecidas señala posibles desafíos en la efectividad de las iniciativas de reciclaje formal. Además, la falta de información precisa sobre la cantidad de material reciclable gestionado por recicladores informales añade una capa de complejidad a la evaluación integral de la gestión de residuos inorgánicos, destacando la importancia de una mayor inclusión y seguimiento de estas prácticas informales en la planificación de políticas y estrategias.

El énfasis en la innovación y sostenibilidad a través del programa Recicla Lima, aunque es un paso positivo, demanda un análisis más detallado para entender las razones detrás de la disparidad en los resultados. La implementación efectiva de este programa y su impacto real en la valorización de materiales inorgánicos requiere una revisión crítica y, posiblemente, ajustes estratégicos para alinear las prácticas municipales con las metas ambiciosas establecidas en el PIGAR.

En resumen, la evaluación de la valorización de materiales inorgánicos destaca la importancia de una revisión detallada de las estrategias implementadas en el Cercado de Lima, con énfasis en la eficacia de las iniciativas de reciclaje formal, la inclusión de prácticas informales y la adaptabilidad de los programas existentes. El camino hacia un sistema de gestión de residuos más eficiente y sostenible exige un enfoque integral que aborde las complejidades de las diferentes prácticas de valorización, tanto formales como informales.

En lo referente al tratamiento de material orgánico, los resultados de la investigación reflejan que la Municipalidad del Cercado de Lima ha logrado valorizar 1229.59 toneladas a través de actividades de compostaje. Este dato, sin embargo, muestra una significativa discrepancia con respecto a la meta establecida en el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGAR) de la MML para el período 2020-2024. La ambiciosa meta del PIGAR, fijada en 102.92 toneladas de valorización mediante la campaña “Yo compongo en casa, en la escuela y la comunidad” y la puesta en marcha de un centro de compostaje, revela un desafío evidente en la ejecución y alcance de las iniciativas de compostaje en el Cercado de Lima.

Esta disparidad sugiere la necesidad de una evaluación más profunda de las estrategias y recursos asignados a las actividades de compostaje. La efectividad de la campaña "Yo compongo en casa, en la escuela y la comunidad" y la operación del centro de compostaje pueden estar influenciadas por diversos factores, como la participación de la comunidad, la infraestructura disponible y la conciencia ambiental. Un análisis detallado de estos elementos podría arrojar una luz sobre las áreas específicas que requieren mejoras o ajustes para lograr los objetivos establecidos en el PIGAR.

Asimismo, el PIGAR de la MML plantea una meta ambiciosa para el año 2024, buscando que el 80% de las municipalidades distritales cuenten con centros de acopio de residuos inorgánicos y plantas de valorización de residuos orgánicos a nivel piloto. Este enfoque en la expansión de la infraestructura de valorización resalta la importancia de no solo maximizar la valorización de residuos orgánicos a nivel local, sino también de crear un modelo replicable que pueda ser implementado en otras municipalidades.

En resumen, la discrepancia en la valorización de material orgánico en el Cercado de Lima destaca la necesidad de una revisión estratégica de las iniciativas de compostaje existentes, asegurando que estén alineadas con las metas del PIGAR. Además, el enfoque futuro en la creación de centros de acopio y plantas de valorización a nivel piloto enfatiza la importancia de construir una infraestructura sólida para el tratamiento de residuos, impulsando así la sostenibilidad ambiental a nivel distrital y proporcionando un modelo para otras comunidades.

En cuanto a la disposición final de residuos sólidos en Portillo Grande, los resultados de la investigación revelan una disparidad significativa entre las cifras reportadas por la Municipalidad del Cercado de Lima y las proyecciones establecidas en el PIGAR de la MML para el periodo 2020-2024. La cantidad de 205,273.43 toneladas destinadas como disposición final contrasta considerablemente con la cifra de 157,941.64 toneladas indicada en el PIGAR, lo que sugiere una discrepancia sustancial en la gestión y disposición de los residuos sólidos en esta ubicación específica.

Estas discrepancias resaltan la necesidad apremiante de llevar a cabo una revisión detallada de las prácticas de gestión de residuos implementadas en Portillo Grande. Es crucial entender las razones detrás de esta diferencia significativa para identificar posibles desafíos o deficiencias en la cadena de gestión de residuos, desde la recolección hasta la disposición final. La revisión exhaustiva debe abordar aspectos como la eficiencia de la recolección de residuos, la capacidad de los sitios de disposición final y la posible falta de control en la generación de residuos.

La importancia crucial de ajustar estrategias para lograr un manejo más efectivo se convierte en una prioridad evidente ante esta disparidad. Esto podría incluir la implementación de medidas mejoradas de recolección y clasificación de residuos, el fortalecimiento de programas de reducción de residuos en la fuente y la consideración de tecnologías avanzadas para el tratamiento y la disposición final. Además, la colaboración con la comunidad local y la sensibilización pública podrían desempeñar un papel crucial en la implementación de prácticas más sostenibles y en línea con las metas establecidas en el plan integral.

En resumen, la discrepancia en la cantidad de residuos sólidos dispuestos en Portillo Grande destaca la necesidad inmediata de una revisión a fondo de las estrategias de gestión de residuos. El ajuste y la mejora de estas estrategias son esenciales para garantizar un manejo más efectivo y sostenible de los residuos sólidos, al tiempo que se trabaja en armonía con los objetivos establecidos en el PIGAR y se promueve la sostenibilidad ambiental en el Cercado de Lima.

En términos generales, los resultados de esta investigación subrayan la brecha entre las expectativas y la realidad en la gestión de residuos del Cercado de Lima. Es esencial abordar estas discrepancias mediante la implementación de ajustes estratégicos y la

mejora de la recopilación de datos, a fin de garantizar que las metas del PIGAR se alcancen de manera más efectiva y sostenible.

En un contexto más amplio, los resultados obtenidos a través de esta investigación resaltan de manera elocuente la existencia de una brecha sustancial entre las expectativas proyectadas y la realidad tangible en la gestión de residuos en el Cercado de Lima. Este contraste pone de manifiesto la necesidad inminente de emprender ajustes estratégicos y medidas específicas para abordar las disparidades identificadas y avanzar hacia un sistema de gestión de residuos más alineado con las metas y objetivos establecidos en el PIGAR.

Es esencial reconocer que la brecha identificada no solo implica cifras dispares, sino que también indica posibles desafíos subyacentes en la implementación de las políticas y estrategias destinadas a la gestión de residuos en la zona. La efectividad de las medidas existentes, como los programas de reciclaje, compostaje y disposición final, se ve cuestionada por estas diferencias, resaltando la necesidad de una evaluación más profunda de los procesos involucrados.

La implementación de ajustes estratégicos debe abordar tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos de la gestión de residuos. Esto podría incluir la optimización de la logística de recolección, la expansión de programas de concientización y educación ambiental, así como la incorporación de tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia de la clasificación y el tratamiento de residuos. Además, el fortalecimiento de la colaboración entre la Municipalidad y la comunidad local, así como la inclusión de los recicladores informales en el sistema de gestión, son componentes clave para cerrar la brecha identificada.

La mejora de la recopilación de datos también se presenta como una piedra angular para la gestión efectiva de residuos. La implementación de sistemas de monitoreo más robustos y la actualización regular de información precisa son fundamentales para evaluar de manera precisa y continua el progreso hacia las metas del PIGAR. Además, la transparencia en la divulgación de datos y resultados puede fomentar la participación de la comunidad y generar una mayor conciencia sobre la importancia de las prácticas sostenibles de gestión de residuos.

Para abordar la gestión de residuos sólidos en el Cercado de Lima de manera integral, es importante considerar también el potencial de aprovechar los residuos confinados en rellenos sanitarios para la construcción de carreteras, una práctica sostenible que puede contribuir significativamente a la reducción de la cantidad de desechos y a la mejora de la infraestructura vial. Incorporar la minería en rellenos sanitarios como parte de las estrategias de gestión de residuos puede ser una medida complementaria para cerrar la brecha entre las expectativas y la realidad en la gestión de residuos en la zona.

La utilización de residuos confinados en rellenos sanitarios como insumo para la construcción de carreteras, también conocida como "geosintéticos reforzados con residuos" o "geosintéticos reciclados", implica el aprovechamiento de materiales disponibles en los rellenos sanitarios y su combinación con geosintéticos para mejorar las propiedades de los materiales utilizados en la construcción de carreteras. Esta práctica no solo contribuiría a la gestión sostenible de residuos, sino que también podría generar beneficios económicos y ambientales al reducir la necesidad de materiales vírgenes y minimizar la cantidad de desechos que se envían a vertederos.

En el contexto del Cercado de Lima, la implementación de la minería en rellenos sanitarios para la construcción de carreteras podría ser una estrategia efectiva para cerrar la brecha entre las metas establecidas en el PIGAR y los resultados obtenidos. Al aprovechar los residuos confinados en los rellenos sanitarios, se podría aumentar la valorización de materiales inorgánicos y contribuir a la mejora de la infraestructura vial en la zona.

Para llevar a cabo esta práctica de manera efectiva, se requeriría una evaluación detallada de los residuos confinados disponibles en los rellenos sanitarios, así como la implementación de procesos de caracterización, separación y clasificación para garantizar la calidad y homogeneidad de los materiales reciclados. Además, sería necesario realizar estudios de ingeniería para evaluar la viabilidad técnica del uso de estos materiales en la construcción de carreteras, así como pruebas de laboratorio y en el sitio para garantizar su desempeño real en condiciones de construcción.

La incorporación de la minería en rellenos sanitarios en las estrategias de gestión de residuos del Cercado de Lima requeriría también el establecimiento de un marco legal y

normativo adecuado que promueva y regule esta práctica, así como la colaboración con diferentes actores, incluyendo entidades gubernamentales, empresas privadas y organizaciones de la sociedad civil, para garantizar su implementación efectiva y sostenible. En resumen, aprovechar los residuos confinados en rellenos sanitarios para la construcción de carreteras podría ser una medida clave para cerrar la brecha en la gestión de residuos en el Cercado de Lima y avanzar hacia un sistema más eficiente y sostenible.

En conclusión, la brecha identificada entre las expectativas y la realidad en la gestión de residuos del Cercado de Lima no solo exige ajustes prácticos sino también un enfoque integral que aborde los desafíos subyacentes. La implementación de estrategias mejoradas, la colaboración activa con la comunidad y la mejora continua en la recopilación y divulgación de datos son elementos cruciales para avanzar hacia un sistema de gestión de residuos más efectivo, sostenible y en sintonía con los objetivos del PIGAR.

CONCLUSIONES

1. En relación al Objetivo General, la valorización material de los residuos sólidos a través de actividades de reciclaje no solo se erige como una fuente generadora de ingresos, sino que también presenta ventajas sustanciales en términos ambientales y económicos. Este enfoque no solo reduce la cantidad de residuos destinados a rellenos sanitarios, sino que también contribuye a la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), prolonga la vida útil de los vertederos y ahorra costos de transporte y disposición final para las municipalidades. Además, la generación de ingresos a través de incentivos económicos del Ministerio del Ambiente (MINAM) añade otro beneficio financiero significativo. En el caso del compostaje, además de generar ahorros económicos y reducir los desechos, ofrece oportunidades medioambientales y se configura como una opción valiosa para el sector agrícola en una escala mayor.
2. En relación al Objetivo Específico 1, se ha demostrado que los residuos sólidos destinados al relleno sanitario Portillo Grande mediante su valorización material y la aplicación de la técnica de minería en los vertederos no solo representa una estrategia económica, sino también sostenible. Al otorgar un segundo uso a los materiales confinados, se puede obtener un valor monetario, reduciendo así la cantidad de residuos destinados a la disposición final. La técnica de minería de rellenos sanitarios también ofrece la oportunidad de rescatar materiales valiosos, especialmente las fracciones inertes como piedra, residuos de construcción y demolición, vidrio, cerámica y metal, que pueden emplearse como insumos para la construcción de carreteras, presentando un enfoque ecoeficiente y promoviendo la circularidad de los materiales.
3. En relación al Objetivo Específico 2, la valorización material de los residuos sólidos inorgánicos y orgánicos generados en las municipalidades de Lima Sur no solo tiene el potencial de generar ingresos económicos sustanciales, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. A través de actividades de reciclaje, se estima un ingreso de 439,024.75 soles, mientras que la venta de

compost podría generar ingresos adicionales por 619,291.70 soles, y otra ventaja adicional, es que se podría mitigar 1,138 tCO₂ e/año. Además, las municipalidades pueden aprovechar los beneficios del Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal del MINAM al cumplir con la Meta 3. Estos ingresos no solo contribuyen al bienestar financiero de las municipalidades, sino que también promueven prácticas más responsables y sostenibles en la gestión de residuos.

4. En relación al Objetivo Específico 3, la aplicación de la técnica de minería de rellenos sanitarios en Portillo Grande para aprovechar los residuos sólidos confinados ofrece la posibilidad de obtener materiales reciclables valiosos, especialmente en términos de residuos inertes. La oportunidad de valorizar hasta el 21.3% de estos residuos para la fabricación de la capa asfáltica en la construcción de carreteras destaca un enfoque innovador para el manejo de residuos sólidos; sin embargo, es crucial realizar más investigaciones y planificar un piloto para determinar la rentabilidad a largo plazo y abordar los desafíos potenciales asociados con esta técnica.
5. En función de los objetivos planteados, esta investigación destaca la importancia de comprender las características de los residuos sólidos en Lima Sur, evaluar el potencial de utilizar residuos confinados para generar nuevos productos y analizar la viabilidad de la técnica de minería en Portillo Grande. Estas conclusiones resaltan la necesidad de adoptar enfoques innovadores y sostenibles en la gestión de residuos, así como de continuar investigando y desarrollando prácticas que promuevan la reducción, reutilización y reciclaje de residuos sólidos en beneficio del ambiente y la economía local.

RECOMENDACIONES

1. Campañas de Concientización y Segregación en la Fuente: Se insta a las municipalidades que dirigen sus residuos sólidos hacia el relleno sanitario Portillo Grande a mantener y fortalecer campañas de concientización dirigidas a la comunidad. Estas campañas deben destacar la importancia de la segregación en la fuente, fomentando la separación de residuos inorgánicos y orgánicos. Además, se sugiere optimizar los procesos de recolección con camiones especializados, realizando dos viajes distintos para inorgánicos y orgánicos, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible.
2. Mejora en la Valorización Inorgánica y Orgánica: Para aprovechar los beneficios económicos del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal del MINAM, se recomienda a las municipalidades incrementar sus esfuerzos en la valorización tanto inorgánica como orgánica de los residuos sólidos generados en sus jurisdicciones. Esto implica la implementación de acciones específicas contempladas en las actividades 1 y 2 de la Meta 3 del programa, logrando así una reducción significativa en el peso y volumen de los residuos y generando beneficios económicos adicionales.
3. Formalización de Recicladores y Desarrollo de Plantas de Valorización: Es esencial promover la formalización de los recicladores locales y establecer una colaboración efectiva con las Asociaciones de recicladores. Además, se sugiere invertir en centros de acopio para una mejor separación de los materiales reciclados y plantas de valorización para la generación de compost. Este enfoque no solo contribuye a reducir los costos asociados a la compra de abonos, sino que también brinda la oportunidad de comercializar estos productos para generar ingresos económicos adicionales.
4. Continuación de Investigaciones sobre Minería de Rellenos Sanitarios: Se insta a continuar con la investigación y desarrollo de la técnica de minería de rellenos sanitarios, específicamente en el caso de Portillo Grande. Este enfoque permitirá extraer de manera eficiente los residuos sólidos confinados, incluyendo fracciones

inertes, para utilizarlos como insumos valiosos en la construcción de carreteras. Estas investigaciones no solo benefician la eficacia operativa, sino que también sirven como base para la formulación de futuros marcos normativos o políticas públicas en este ámbito.

5. Cumplimiento de las normas nacionales: Las municipalidades que destinan sus residuos sólidos a Portillo Grande deben asumir un papel activo en la contribución a la imagen internacional del Perú como un país respetuoso del ambiente. Esto implica cumplir con los acuerdos establecidos, como los de París y el Protocolo de Kioto, mediante la implementación de prácticas que contribuyan activamente a la mitigación de gases de efecto invernadero. La colaboración proactiva de las municipalidades será clave para mantener la reputación positiva del país en la escena internacional en temas ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdel-Shafy, H. & Mansour, M. (2018). *Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization*. Diario egipcio de petróleo, (pp. 1275-1290). <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>.
- Abonos San Miguel (s/f) <https://www.agroforum.pe/blogs/miguel-angel-munoz-lebon/abonos-organicos-abono-san-miguel-1493/> Consultado el 15 de julio del 2023
- Adeniran, A., Nubi, A. y Adelopo, A. (2017). *Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management*. En: Journal of the Air and Waste Management Association 67, 3-10. Online: <https://bit.ly/2Vw2DL1>.
- Appiah, JK, Berko-Boateng, VN, Tagbor, TA (2017) *Use of waste plastic materials for road construction in Ghana*, Case Studies in Construction Materials, Volume 6, (pp: 1-7), ISSN 2214-5095 <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.11.001>
- Arzate, J. (2015) Desarrollo de la tecnología de biogás en México, retos y beneficios. Tesis de Doctorado en Biotecnología. Universidad Técnica de Berlín. México <https://library.co/document/zp6m5m0q-desarrollo-tecnologia-biogas-mexico-retos-beneficios.html>
- Ayeleru, O., F. Okonta y Ntuli F. (2018). *Municipal solid waste generation and characterization in the City of Johannesburg: A pathway for the implementation of zero waste*. En: Waste Management 79, 87-9. Online: <https://bit.ly/2U6p09E>
- Bokhari, A.; Fatt, L.; Zi, L.; Asif, Z.; Shahbaz, M.; Majeed, M.; Inayat, A.; Jamil, F.; Raza, S. & Suzana, N. (2019) Chapter 6 - Microwave enhanced catalytic conversion of canola-based methyl ester: Optimization and parametric study, In Woodhead Publishing Series in Energy, Advanced Biofuels, Woodhead

Publishing, (pp: 153-166), ISBN 9780081027912 <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102791-2.00006-4>

Baldeon, W. (2023) Director del Centro Modelo de Tratamientos de Residuos Sólidos - CEMTRAR – Universidad Nacional Agraria La Molina. Generación de compost en la UNALM. Entrevista personal.

Blasenbauer, D.; Huber, F.; Lederer, J.; Quina, M.J.; Blanc-Biscarat, D.; Bogush, A.; Bontempi, E.; Blondeau, J.; Chimenos, J.M.; Dahlbo, H.; Fagerqvist, J.; Giro-Paloma, J.; Hjelmar, O.; Hyks, J.; Keaney, J.; Lupsea-Toader, M.; O’Caollai, C.J.; Orupöld, K.; Paják, T.; Simon, F.G.; Svecova, L.; Šyc, M.; Ulvang, R.; Vaajasaari, K.; Van Caneghem, J.; van Zomeren, A.; Vasarevičius, S.; Wégner, K. & Fellner, J. (2020) *Legal situation and current practice of waste incineration bottom ash utilisation in Europe*. Waste Manage., 102, (pp: 868-883) <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.031>

Bless, K (23 de octubre del 2018) *Minam: Morosidad y falta de pagos impide una buena gestión de residuos sólidos*. Periódico SPDA Actualidad Ambiental. Recuperado de <https://www.actualidadambiental.pe/minam-morosidad-y-falta-de-pago-de-arbitrios-impide-una-buena-gestion-de-residuos-solidos/>

Burlakovs, J.; Kriipsalu, M; Vincevica-Gaile, Z.; Grinfelde, I. & Grinberga, L. (2021) *Material Recovery And Revitalisation Of Landfills: Multitasking Approach Striving To 'Beyond The Zero Waste'* International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM Volume 21, Issue 1.1, (pp: 285 – 292), <https://doi.org/10.5593/sgem2021/1.1/s03.051>

Cabrera, J. (2018) *Evaluación Ambiental Estratégica de la disposición de residuos sólidos y propuesta de implementación de un relleno sanitario en el Municipio de Xicotepec, Puebla*. UNAM. México. DOI: <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000772570>

- Calderón Márquez, A. J.; Cassettari, P. C.; Wanda, E. & de Lima, R. (2019) *Landfill mining as a strategic tool towards global sustainable development*, Journal of Cleaner Production, Volume 226, 2019, (pp: 1102-1115), ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.057>
- Cárdenas, K. (2021). Supervisora de Gestión Ambiental de la Municipalidad San Borja. Entrevista personal.
- Cárdenas, K. y Tejada, G. (2020) Determinación de alternativa de valorización de los residuos orgánicos municipales generados por las actividades de poda de las áreas verdes del distrito de Alto Selva Alegre –2019. (Tesis de Bachiller) Universidad Católica de Santa María URI: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9792>
- Chacaltana, L. (2018) *Caracterización del sistema de gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Carabayllo con fin de mejora – 2018*. Universidad César Vallejo. (Tesis de Bachiller) Lima, Perú. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65739>
- Chandana, N.; Goli, V.; Mohammad, A & Singh, D. N. (2021) *Characterization and Utilization of Landfill-Mined-Soil-Like-Fractions (LFMSF) for Sustainable Development: A Critical Appraisal*. Waste and Biomass Valorization. Volume 12, Issue 2, (pp: 641 – 662) February 2021. ISSN 18772641 <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01052-y>
- Cheela, V.; Jhon, M. & Dubey, B. (2021) *Quantitative determination of energy potential of refuse derived fuel from the waste recovered from Indian landfill*. Sustainable Environment Research Open Access Volume 31, Issue 1 December 2021 Article number 24. <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00097-5>
- Chen, X. & Wang, H. (2018) *Life cycle assessment of asphalt pavement recycling for greenhouse gas emission with temporal aspect*. Journal of Cleaner Production, Volume 187 (pp: 148-157), ISSN 0959-6526 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.207>

- CPCB (2019) Central Pollution Control Board (Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of India) 'Parivesh Bhawan' C.B.D. Cum-Office Complex, East Arjun Nagar, Shahdara, Delhi-110032 (February, 2019) <https://cpcb.nic.in/technical-guidelines/>
- Delongui, L., Matuella, M., Núñez, W.P., Fedrigo, W., Silva Filho, L.C.P.D., Ceratti, J.A.P. (2018) *Construction and demolition waste parameters for rational pavement design*. Construction and Building Materials, 168, (pp: 105-112) <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.086>
- DL 1278 (2016) Ley de gestión integral de residuos sólidos. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>
- DS 014-2017-MINAM (2017) Reglamento de la DL 1278. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-014-2017-minam/>
- DS 082-2023-EF (2023) Decreto Supremo que autoriza Transferencia de Partidas en el Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2023 a favor de diversos gobiernos locales en el marco del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal. Anexo 1 <https://www.gob.pe/institucion/mef/normas-legales/4178126-082-2023-ef>
- Edwards, J., Othman, M. & Burn, S. (2015) *A review of policy drivers and barriers to the use of anaerobic digestion in Europe, Estados Unidos and Australia*. Renovar. Sostener. Energy Rev., 52, (pp. 815 – 828) <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.112>
- EPA (2016). Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills Background Information for Proposed Standards and Guidelines. Inf. téc. EPA-Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Online: [https : / / bit . ly / 2Tlw84S](https://bit.ly/2Tlw84S).

- Escamilla, E. (2019). *Eficiencia y confiabilidad de modelos de estimación de biogás en rellenos sanitarios*. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 29(1):32- 44. <http://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.03>
- Esguerra, J. L.; Laner, D.; Svensson, N. & Krook, J. (2021) *Landfill mining in Europe: Assessing the economic potential of value creation from generated combustibles and fines residue*, Waste Management, Volume 126, (pp: 221-230), ISSN 0956-053X <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.013>
- EURELCO (s/f) Emprendimiento Sostenible. Grupo Machiels [https://eurelco.org/group-machiels/#:~:text=The%20Closing%20the%20Circle%20\(CtC,ton%20of%20waste%20is%20stored.](https://eurelco.org/group-machiels/#:~:text=The%20Closing%20the%20Circle%20(CtC,ton%20of%20waste%20is%20stored.)
- Fransesqui, M.A.; Yepes, J. y García-González, C. (2019) *Improvement of moisture damage resistance and permanent deformation performance of asphalt mixtures with marginal porous volcanic aggregates using crumb rubber modified bitumen*. Construction and Building Materials, Volume 201, (pp: 328-339), ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.181> Miguel A. Fransesqui, Jorge Yepes, Cándida García-González,
- Fransesqui, M.A.; Rodríguez-Alloza, A. M. y García-González, C. (2023) *Reuse of plastic waste in asphalt mixtures with residual porous aggregates*, Case Studies in Construction Materials, Volume 19, e02361, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02361>
- Fudala-Ksiazek, S., Pierpaoli, M., Kulbat, E., Luczkiewicz, A. (2016) *A modern solid waste management strategy: the generation of new by-products*. Revista Gestión de Residuos sólidos Vol 49 (pp. 516 – 529). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.022>
- Fundación Ellen Macarthur (2017) Economía Circular. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/recursos/gobiernos-y-politicas-publicas/vision-general>

- Goli, V.S.N.S. & Singh, D. N. (2023) *Valorization of landfill mined plastic waste and soil-like fractions in polymer composites* – A comprehensive solution for sustainable landfill mining, Journal of Cleaner Production, Volume 420, 138349, ISSN 0959-6526 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138349>
- Hernández, M., Aguilar, Q., Taboada, P., Lima, R., Eljaiek, M., Márquez, L. y Buenrostro, O. (2016) *Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en América Latina y El Caribe*. Revista Internacional de contaminación ambiental. 2016, vol. 32 (pp. 11 – 22). <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.02>
- Hernández-Sampieri, R. (2017) *Metodología de la investigación*. 6ta edición. México. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- Innova Ambiental (2023) Relleno sanitario Portillo Grande. Información proporcionada en el 2022 por el Ing Néstor Mancilla, Gerente de Operaciones
- IPCC (2014) Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático. Cambio Climático 2014. Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Ginebra: IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- ISWA (s/f) International Solid Waste Association. Denton Texas, EEUU
- Jain, M.; Kumar, A. & Kumar, A. (2023) *Landfill mining: A review on material recovery and its utilization challenges*, Process Safety and Environmental Protection, Volume 169, 2023, (pp: 948-958), ISSN 0957-5820, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.049>
- Krook, J. (2021) Enhanced landfill mining, concept and challenges. Special Issue 23 Industry and Waste: Toward the Circular Economy <https://journals.openedition.org/factsreports/6549>
- López, L. (2023) Diagnóstico de las condiciones de operación del sistema de disposición final de residuos sólidos -Relleno Sanitario Portillo Grande.

Universidad Nacional Federico Villarreal, Tesis de suficiencia profesional
<https://hdl.handle.net/20.500.13084/7860>

Macías, L., Paez, M. y Torres, G. (2018) *La Gestión Integral de Residuos sólidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios* (tesis de maestría). Ciudad de México.
<http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/281>

Mendoza, L. (2014) *Estudio comparativo del manejo de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Portillo Grande, con y sin planta de tratamiento para el reciclaje, Lurín, Lima 2012*. Tesis de postgrado. Universidad César Vallejo. Perú.
 URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/10606>

MINAM (2023) Dirección general de residuos sólidos del MINAM. Entrevista con el Ing Chata <https://www.gob.pe/institucion/minam/tema/contacto-con-minam>

Mishra, B. & Gupta, MK (2020) *Use of plastic waste in bituminous mixes by wet and dry methods*. Proc. Inst. Civ. Eng. Munic. Eng., 173 (2) (pp: 87-97)
<https://doi.org/10.1680/jmuen.18.00014>

Nascimento, M. C. B., Freire, E. P., Dantas, F. de A. S., & Giansante, M. B. (2019). Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 24(1), 143–155. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019171125>

Nava, J.; Carapia, A. y Vidal-García, F. (s/f). Las tres R: Una opción para cuidar nuestro planeta. Instituto de Ecología. INECOL. México
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/413-las-tres-r-una-opcion-para-cuidar-nuestro-planeta>

New-Mine (s/f) EU Training Network for Resources Recovery Through Enhanced Landfill Mining <https://new-mine.eu/project/>

Nosheen, F.; Malik, N.; Mehmood, Z.; Jabeen, F.; Mahmood, A.; Ibrahim, M.; Bokhari, A.; Mubashir, M.; Fatt, L. & Loke, P. (2022) *Biomedical waste management*

associated with infectious diseases among health care professionals in apex hospitals of a typical south asian city, Environmental Research, Volume 215, Part 2, 114240, ISSN 0013-9351 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114240>

O'Donnell, S.; Caldwell, M.; et al.; Barlaz, M. & Morris, J.(2018) *Case study comparison of functional vs. organic stability approaches for assessing threat potential at closed landfills in the USA*, Journal Waste Management, Volume 75 (pp: 415-426) ISSN 0956-053X <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.001>

Oldenhage, F. (2016) *Propuesta de un programa de gestión para mejorar el manejo de los residuos sólidos en el distrito de San Juan de Miraflores*. Artículo de revista Vol 19 N° 2. UNMSM <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5049>

Osinergrmin (2022) *Fichas técnicas Proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación. CT Huaycoloro II, La Gringa y Huaycoloro I.* (pp 203-206) (Archivo PDF). https://www.osinergrmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/generacion/1.Fichas_Tecnicas_Centrales_Operacion.pdf

Pehme, K. M., Jäärats, A., Orupõld, K., Kriipsalu, M., & Tamm, T. (2018). Community forestry on remediated landfill site. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 18(5.2), (pp: 203-210).

Pelaez, M. y Hernández, S. (2019). Accionando las 3R. Propuesta de educación ambiental. Buenos Aires, Argentina. ISSN: 2250-8473

Peña, D. (2023) Sub Gerente de Limpieza Pública y Gestión de Residuos Sólidos de la Municipalidad San Juan de Miraflores. Generación de compost en la MSJM. Entrevista personal

Ranilla, C. (2019) Determinación de las características para la valorización de residuos sólidos municipales en el distrito de Sachaca, Arequipa 2019. Tesis doctoral Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa URI: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9783>

- Rojas, N. y Revilla, A. (2021) Propuesta del diseño técnico de segregación y valorización de residuos sólidos del Centro de abastos Virgen de Chapi de Jose Luis Bustamante y Rivero – Arequipa. 2020. Tesis de Bachiller. Universidad Católica de Santa María. URI: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10743>
- Sapuay, G. (2016) *Resource recovery through RDF: Current trends in solid waste management in the Philippines*. Diario Procedia Ciencias Ambientales Vol 35. (pp. 464-473). Filipinas. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.030>
- Sigersol (2022) Sistema de Información de Gestión de Residuos Sólidos. Resumen de Reportes Anuales <https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/accesoLibre/resumenes>
- Syafrudin; Hadiwidodo, M.; Sutrisno, E.; Hartini, S.; Budihardjo, M. A.; Ramadan, B.; Puspita, A.; Rachmawati, F. & Efriani, F. (2023) *Feasibility Study for Mining Waste Materials as Sustainable Compost Raw Material Toward Enhanced Landfill Mining*. Polish Journal of Environmental Studies. Volume 32, Issue 3 (pp: 2323 – 2335) <https://doi.org/10.15244/pjoes/158780>
- Thanh, H., Yabar, H. & Higano, Y. (2015) *Analysis of the environmental benefits of the introduction of municipal organic waste recovery in Hanoi, Vietnam*. Diario Procedia Ciencias Ambientales Vol 28. (pp. 185-194) Hanoi, Vietnam. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.025>
- Tsiamis, D.; Torres, M. & Castaldi, M. (2018) *Role of plastics in decoupling municipal solid waste and economic growth in the U.S.*, Waste Management, Volume 77, (pp: 147-155), ISSN 0956-053X <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.003>
- Vargas Beal, X. (2011). *¿Cómo hacer investigación cualitativa? Una guía práctica para saber qué es la investigación en general y cómo hacerla, con énfasis en las etapas de la investigación cualitativa*. <https://redinfor.com.pe/portal/2019/08/08/como-hacer-investigacion-cualitativa-vargas-2007/>

- Xiao, S.; Dong, H.; Geng, J. & Brander, M. (2018) *An overview of China's recyclable waste recycling and recommendations for integrated solutions*. Journal Resources, Conservation and Recycling Volume 134, (pp: 112 – 120) <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.032>
- Xu, X.; Leng, Z.; Lan, J.; Wang, W.; Yu, J.; Bai, Y.; Sreeram, A. & Hu, J. (2021) *Sustainable Practice in Pavement Engineering through Value-Added Collective Recycling of Waste Plastic and Waste Tyre Rubber*. Journal Engineering Volume 7, Issue 6, (pp: 857 – 867) <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.08.020>
- Zhao, Z.; Xiao, F. & Amirkhanian, S. (2020) Recent applications of waste solid materials in pavement engineering. Journal Waste Management Volume 108, (pp: 78 – 105), ISSN 0956-053X <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.024>
- Zhi, Y.; Ma, S.; Qin, J.; Zhao, Z. & Zhou, C. (2023) Assessing the city-level material stocks in landfills and the landfill mining potential of China, Environmental Research, Volume 236, Part 1, 2023, 116737, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116737>

ANEXOS

1. Matriz de consistencia
2. Plano del relleno sanitario Portillo Grande de Lurín Esc 1/100,000

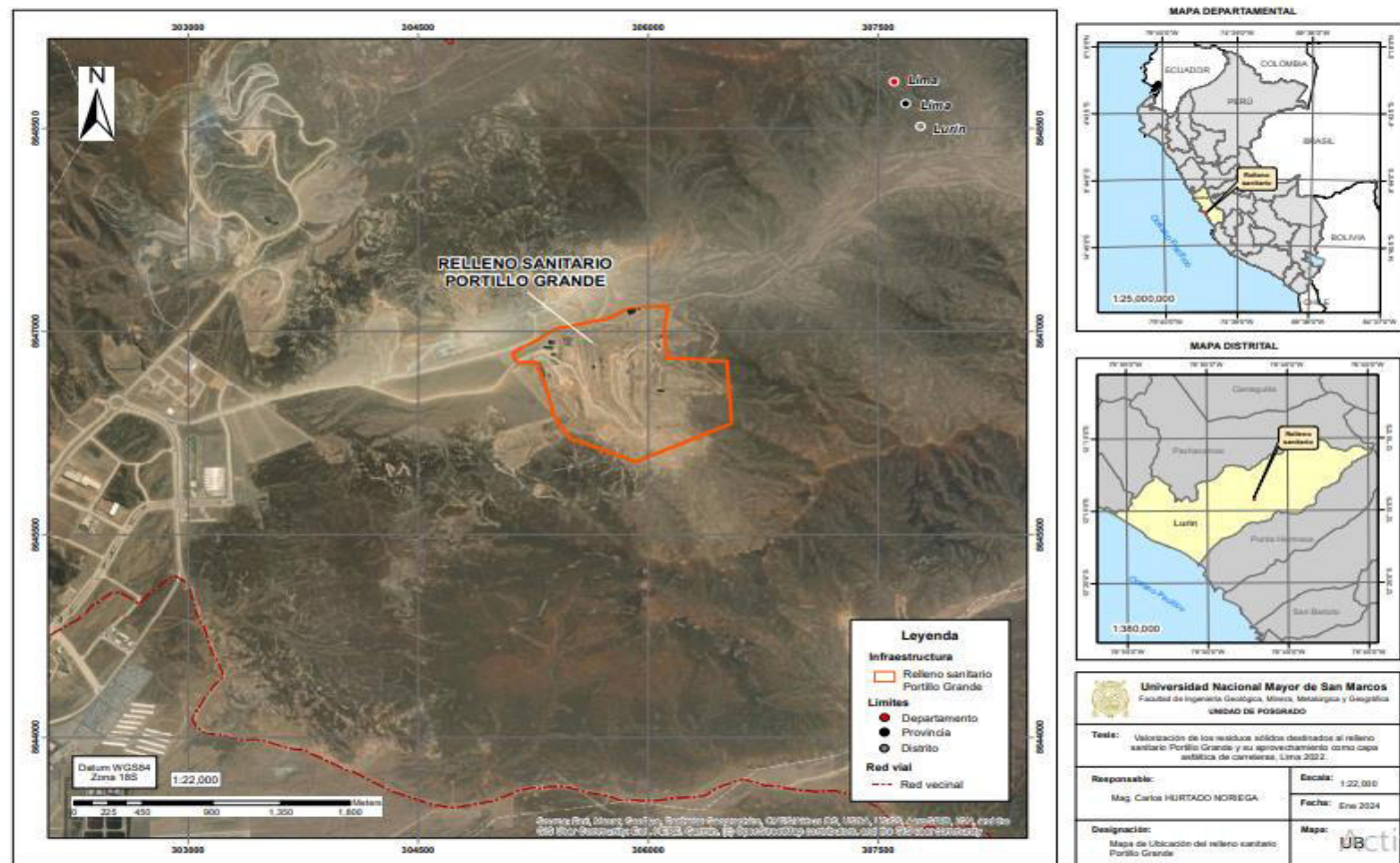
Anexo 1: Matriz de consistencia

Titulo: Valorización de los residuos sólidos destinados al relleno sanitario Portillo Grande y su aprovechamiento como capa asfáltica de carreteras, Lima 2022

Problema	Objetivo	Sistema de variables	Instrumentos
¿Es posible valorizar los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Portillo Grande ?	Valorizar mecánicamente los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Portillo Grande procedentes de los distritos de Lima Sur.	VI: Valorización de los residuos sólidos	• Analisis de datos • Ficha de análisis documental
1. ¿Qué características en volumen y composición física presentan los residuos sólidos generados en los distritos de Lima Sur y dispuestos en el relleno sanitario de Portillo Grande? 2. ¿En qué medida los residuos confinados pueden servir como insumo para la generación de nuevos productos de usos múltiple? 3. ¿Cómo aplicar la técnica de minería en el relleno sanitario Portillo Grande para aprovechar los residuos sólidos confinados como capa asfáltica de carreteras?	1. Determinar las características que presentan los residuos sólidos generados en los distritos de Lima Sur y dispuestos en el relleno sanitario de Portillo Grande. 2. Evaluar la posibilidad de utilizar los residuos confinados que pueden servir como insumo para la generación de nuevos productos de usos múltiple. 3. Analizar la técnica de minería en el relleno sanitario Portillo Grande para aprovechar los residuos sólidos confinados como capa asfáltica de carreteras.	VD: Aprovechamiento de los residuos sólidos como capa asfáltica de carreteras	

Anexo 2 Mapa del relleno sanitario Portillo Grande

Esc 1/22,000



Nota: Coordenadas UTM 18 L 305297.09 m E 8646202.66 m S elev 335 m alt ojo 5 km

