



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE
DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN SANTIAGO DE
PILLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA, 2025”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniera Ambiental

Autora:
Santana Salazar Viviana Elizabeth

Tutor:
Clavijo Cevallos Patricio

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Santana Salazar Viviana Elizabeth, con cédula de ciudadanía No. 1805664156, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN SANTIAGO DE PILLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA, 2025”** siendo el Licenciado Ph.D. Patricio Clavijo Cevallos, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 5 de febrero del 2026

Viviana Elizabeth Santana Salazar
C.C: 1805664156
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **SANTANA SALAZAR VIVIANA ELIZABETH**, identificada con cédula de ciudadanía **1805664156** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN SANTIAGO DE PILLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA, 2025**” la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2021-Agosto 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Lic. Patricio Clavijo Cevallos Ph. D.

Tema: “**PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN SANTIAGO DE PILLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA, 2025**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a. La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b. La publicación del trabajo de grado.
- c. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 5 días del mes de febrero del 2026.

Viviana Elizabeth Santana Salazar

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN SANTIAGO DE PILLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA, 2025”, de Santana Salazar Viviana Elizabeth, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 5 de febrero del 2026

Lic. Patricio Clavijo Cevallos Ph.D.
C.C: 0501444582
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Santana Salazar Viviana Elizabeth, con el título de Proyecto de Investigación: **“PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN SANTIAGO DE PILLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA, 2025”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 5 de febrero del 2026

Ing. Vladimir Ortiz Bustamante, Mgtr.
C.C: 0502188451
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
C.C: 0502205164
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Juan Pio Salazar Arias, Mg.
C.C: 0501389530
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por concederme salud, vida, fortaleza y, sobre todo, sabiduría para enfrentar cada uno de los obstáculos que se han presentado a lo largo de este camino. a mis padres, Juan y Flor, por su apoyo incondicional, por brindarme siempre la fuerza y la confianza necesarias para no rendirme durante todo este proceso. Gracias por su ejemplo de humildad y sacrificio, y por enseñarme que, por más difíciles que sean las circunstancias, siempre es posible salir adelante con esfuerzo y perseverancia.

A mis abuelitos, por encomendarme cada noche en sus oraciones y por no dejarme salir de casa sin su bendición, lo cual ha sido una fuente constante de protección y motivación.

A mis hermanos, por su apoyo, sus palabras de aliento y sus llamadas infaltables, que fueron un impulso constante para continuar y no desfallecer.

A mi familia en general, por ser un pilar fundamental en cada etapa de este proceso académico y personal.

De manera especial agradezco al Doctor. Patricio Clavijo Cevallos por brindarme su guía y conocimientos durante este proceso.

Finalmente, agradezco a las personas que conocí durante esta etapa universitaria, quienes pasaron de ser desconocidos a convertirse en parte importante de este capítulo tan significativo de mi vida.

Viviana Elizabeth Santana Salazar

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, por dame la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para alcanzar esta meta.

A mis madres Juan y Flor, por su amor incondicional, su sacrificio y por ser mi ejemplo de perseverancia y humildad. Este triunfo no es mío, es de ustedes.

A mis abuelitos y hermanos y a toda mi familia, por su apoyo constante, sus oraciones y palabras de aliento que me impulsaron a no rendir y seguir adelante.

Y con cariño dedico este trabajo a quien formaron y forman parte de importante de este capítulo de mi vida.

Viviana Elizabeth Santana Salazar

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA, 2025”.

Autora:
Santana Salazar Viviana Elizabeth

RESUMEN

La gestión de residuos sólidos urbanos representa un desafío crítico para los gobiernos locales en el marco del desarrollo sostenible, especialmente en cantones donde la disposición final no cumple con estándares técnicos rigurosos. La presente investigación tuvo como objetivo proponer estrategias para un manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro, provincia de Tungurahua, durante el periodo 2025. El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque cualitativo con alcance descriptivo y un diseño no experimental de tipo transversal, utilizando técnicas como la observación directa, revisión bibliográfica y la aplicación de encuestas validadas a través de la plataforma KoboToolbox. La población de estudio se delimitó en la parroquia Presidente Urbina, la cual cuenta con 3166 habitantes. Los resultados relevaron que, aunque se reciben aproximadamente 20 toneladas diarias de residuos, solo el 13.5% es recolectado de manera diferenciada a nivel nacional, mientras que dentro del cantón Santiago de Píllaro la clasificación se limita a categorías ordinarias y sanitarias. El diagnóstico social evidenció una gestión de comunicación deficiente, donde el 53.80% de ellos encuestados manifestó que nunca se realizan reuniones informativas y un 37.13% considera que la municipalidad nunca atiende sus quejas. Además, se identificaron impactos como la generación de malos olores y riesgos de contaminación hídrica por lixiviados debido a la falta de sistemas de captación de biogás y tratamiento integral. Ante esto, la propuesta se alinea a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde la primera estrategia es plantea un sistema de capacitación comunitaria sobre la separación en la fuente, la segunda la instalación de una planta de reciclaje, como tercera estrategia un sistema de pretratamiento de lixiviados y por último un sistema de captación, control y almacenamiento temporal de biogás. Se concluye que el relleno sanitario requiera la implementación de estrategias integrales divididas en ejes técnico-operativo, ambientales, sociales e institucionales.

Palabras Claves: económica circular, gestión territorial, gobernanza ambiental, impacto socioambiental, planificación local.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

TITLE: “STRATEGIES FOR SUSTAINABLE LANDFILL MANAGEMENT IN THE CANTON OF SANTIAGO DE PÍLLARO, TUNGURAHUA PROVINCE, 2025”

Author:

Santana Salazar Viviana Elizabeth

ABSTRACT

Urban solid waste management represents a critical challenge for local governments within the framework of sustainable development, especially in cantons where final disposal does not meet rigorous technical standards. The objective of this research was to propose strategies for the sustainable management of the landfill in the canton of Santiago de Píllaro, Tungurahua Province, for the year 2025. The study followed qualitative approach with a descriptive scope and a non-experimental cross-sectional design. Data collection techniques included direct observation, literature review, and validated surveys administered through the KoboToolbox platform. The study population was limited to the Presidente Urbina parish, which has 3,166 inhabitants. Results showed that although approximately 20 tons of waste are received daily, only 13.5% is collected separately at the national level, while within sorting is limited to ordinary and sanitary categories. The social diagnosis revealed deficient communication management, with 53.80% of respondents stating that informational meetings are never held and 37.13% reporting that the municipality does not respond to their complaints. Critical impacts were identified, including unpleasant odors and risks of water contamination from leachate due to the lack of biogas capture and comprehensive treatment systems. In view of this, the proposal is aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), where the first strategy is to establish a community training system on separation at source, the second is to install a recycling plant, the third is a leachate pre-treatment system, and finally a system for the collection, control, and temporary storage of biogas. It is concluded that the landfill requires the implementation of comprehensive strategies structured around these four pillars.

Keywords: circular economy, land management, environmental governance, socio-environmental impact, local planning.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORIA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CONTENIDO	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
1. FORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
5. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
6. OBJETIVOS.....	6
6.1. Objetivo General.....	6
6.2. Objetivos Específicos	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	8
8.1. Manejo sostenible	8
8.1.1. Sostenibilidad	8
8.2. Estrategias sostenibles	9
8.2.1. Tipos de estrategia en rellenos sanitarios	10
8.2.2. Modelos de estrategias.....	10
8.2.3. Indicadores de estrategias en rellenos sanitarios	11
8.3. Rellenos sanitarios.....	12
8.3.1. Tipos de Rellenos Sanitarios	12
8.4. Impactos causados por Relleno Sanitarios	14

8.4.1.	Impacto a la salud.....	14
8.4.2.	Impacto al Ambiente	14
8.5.	Ventajas y desventajas de un Relleno Sanitario	14
8.5.1.	Ventajas	14
8.5.2.	Desventajas.....	15
9.	MARCO LEGAL	15
9.1.	Constitución de la República del Ecuador.....	15
9.2.	Código Orgánico del Ambiente (COA).....	16
9.3.	Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).	18
9.4.	Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	19
9.4.1.	ODS 6: Agua limpia y saneamiento	19
9.4.2.	ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles	19
9.4.3.	ODS 12: Producción y Consumo Responsable	19
9.4.4.	ODS 13: Acción por el Clima	20
9.4.5.	ODS 16: Paz, justicia e instituciones sólidas.....	20
10.	PREGUNTA CIENTÍFICA.....	20
11.	MARCO METODOLÓGICO	20
11.1.	Ubicación del área de estudio.....	20
11.1.1.	Ubicación Geográfica	20
11.2.	Metodología.....	21
11.2.1.	Tipo y enfoque de investigación.....	21
11.2.2.	Diseño de investigación.....	22
11.2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
11.2.3.2.1.	Cuestionario.....	23
11.3.	Población y Muestra	24
11.3.1.	Población	24
11.3.2.	Muestra	24
12.	RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA	25
13.	RESULTADOS	26
13.1.	Línea Base del Manejo del Relleno Sanitario del Cantón Santiago de Píllaro.....	27
13.2.	Resultados de la encuesta	31
13.2.1.	Encuestas a operarios y técnico responsable	31

13.2.2.	Encuestas a la población aledaña al relleno sanitario.....	43
14.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
15.	PROPUESTA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.....	62
15.1.	Fundamentación de la Propuesta.....	62
15.2.	Objetivo de la propuesta.....	62
15.2.1.	Objetivo General.....	62
15.3.	Matriz de estrategias alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	63
15.4.	Estrategia 1: Programa de capacitación a la comunidad sobre separación en la fuente de residuos sólidos.....	64
15.5.	Estrategia 2: Implementación de una Planta Municipal de Clasificación y Valorización de residuos reciclables.....	65
15.6.	Estrategia 3: Sistema integral de pretratamiento de lixiviados previo a la descarga a PTAR municipal.....	66
15.7.	Estrategia 4: Sistema de captación, conducción y almacenamiento temporal de biogás generado en el relleno sanitario.....	67
16.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
16.1.	Conclusiones.....	68
16.2.	Recomendaciones.....	68
17.	BIBLIOGRAFÍA.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del Proyecto	4
Tabla 2. Sistematización de los objetivos específicos	7
Tabla 3. Línea base con indicadores y nivel de cumplimiento del manejo del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.	28
Tabla 4. Identificación y análisis de impactos ambientales generados por el relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.	56
Tabla 5. Matriz de estrategias para el manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro alineadas a los ODS	63
Tabla 6. Estrategia de Gestión Integral de Residuos: Separación en la fuente	64
Tabla 7. Estrategia para la implementación de una planta municipal de clasificación y valorización de residuos reciclables en el cantón Santiago de Píllaro	65
Tabla 8. Estrategia para la implementación del sistema integral de pretratamiento de lixiviados	66
Tabla 9. Estrategia técnica de captación, manejo y almacenamiento de Biogás	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación del cantón Santiago de Píllaro	21
Figura 3. Estado de vigencia de la licencia ambiental del relleno sanitario.....	31
Figura 4. Procedencia de los residuos dispuestos en el relleno sanitario.	32
Figura 5. Registro y pesaje diario del ingreso de los residuos sólidos al relleno sanitario.	33
Figura 6. Existencia de actividades de aprovechamiento en el relleno sanitario.	34
Figura 7. Tipo de control aplicado a la generación de lixiviados.....	35
Figura 8. Frecuencia de monitoreo ambiental de agua, aire y suelo en el área del relleno sanitario.	36
Figura 9. Recepción de residuos peligros en el relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.	37
Figura 10. Frecuencia de compactación de residuos sólidos en el relleno sanitario.	38
Figura 11. Tipo de maquinaria utilizada para la compactación.....	39
Figura 12. Espesor promedio de las capas de residuos aplicadas antes de la compactación ..	40
Figura 13. Tipo de material utilizado para la cobertura de residuos en el proceso de compactación.....	41
Figura 14. Necesidad de implementar estrategias para mejorar la sostenibilidad del relleno sanitario.	42
Figura 15. Conocimiento de la ubicación del relleno sanitario por parte de la población aledaña.....	43
Figura 16. Percepción ciudadana sobre la información proporcionada por las autoridades municipales acerca del funcionamiento del relleno sanitario.....	44
Figura 17. Percepción de la población sobre el manejo técnico y ambiental del relleno sanitario.	45
Figura 18. Presencia de malos olores percibidos por la población aledaña al relleno sanitario.	46
Figura 19. Afectación del relleno sanitario a la calidad del aire.	47
Figura 20. Presencia de animales cerca del relleno sanitario.	48
Figura 21. Posible contaminación de cuerpos hídricos cercanos al relleno sanitario.	49
Figura 22. Frecuencia de visitas o reuniones informativas realizadas por las autoridades locales con la comunidad.....	50
Figura 23. Atención municipal a las quejas y preocupaciones de la comunidad sobre el relleno sanitario.	51

Figura 24. Nivel de satisfacción de la población con la gestión ambiental del relleno sanitario por parte del Municipio.	52
Figura 25. Percepción de la población sobre los riesgos a la salud.....	53
Figura 26. Aspectos prioritarios de mejora identificados por la comunidad.....	54

1. FORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

“Propuesta de estrategias para un manejo sostenible del relleno sanitario en el cantón Santiago de Píllaro, provincia de Tungurahua, 2025”

Fecha de inicio: octubre 2025

Fecha de finalización: marzo 2026

Lugar de ejecución:

Provincia de Tungurahua, cantón Santiago de Píllaro, parroquia Presidente Urbina, relleno sanitario.

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Carrera que auspicia:

Carrera de Ingeniería Ambiental.

Proyecto de investigación vinculado:

Equipo de trabajo:

Tutor: Patricio Clavijo Cevallos Ph.D.

Estudiantes: Santana Salazar Viviana Elizabeth

LECTOR 1: Ortiz Bustamante Vladimir Marconi

LECTOR 2: Cajas Cayo Issac Eduardo

LECTOR 3: Salazar Arias Juan Pío

Área de conocimiento:

Medio Ambiente, Ciencias Naturales.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la carrera:

Sostenibilidad Ambiental.

Línea de vinculación:

Gestión de Recursos Naturales, Impactos, Análisis metodológico sobre sostenibilidad ambiental para el desarrollo humano social.

2. INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos sólidos urbanos constituye uno de los desafíos más relevantes de los gobiernos locales en el marco del desarrollo sostenible. El incremento de la generación de desechos, sumado a las prácticas de disposición final que en muchos de los casos no cumplen con estándares técnicos y ambientales, ha derivado en impactos sobre los recursos naturales. En Ecuador, la problemática se evidencia en diferentes cantones, donde los rellenos sanitarios presentan limitaciones en cuanto a su gestión, operación y control (Ubillús-Farfán *et al.*, 2024). En este sentido, las estrategias de gestión sostenible que abarcan desde la recolección hasta la disposición final y valorización de residuos, se han convertido en pilares para mitigar los impactos negativos asociados a la gestión inadecuada de los mismos.

Los sistemas de disposición final basados en rellenos sanitarios constituyen la principal alternativa para los RSU en la mayoría de países latinoamericanos, siendo instrumentos técnicos destinados a confinar residuos reduciendo su potencial contaminante. Sin embargo, la literatura especializada recomienda que la gestión tradicional de estos sitios requiere transformarse hacia modelos más sostenibles que integren principios de economía circular, eficiencia operativa, protección ambiental y participación ciudadana (Correal *et al.*, 2023). En el cantón Santiago de Pillaro, provincia de Tungurahua, el relleno sanitario enfrenta dificultades relacionadas con la gestión integral de los residuos sólidos, incluyendo aspectos técnicos, administrativos y ambientales.

Esta investigación se fundamenta en la pregunta científica sobre qué estrategias pueden implementarse para lograr un manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro provincia de Tungurahua, que permita minimizar sus impactos ambientales. Para responder a este interrogante, se plantea como objetivo general proponer estrategias de gestión sostenible para dicho establecimiento; esto se desglosa en objetivos específicos orientados a diagnosticar la situación actual de la disposición final de residuos, identificar los principales impactos ambientales derivados de su operación y establecer propuestas que mitiguen dichas afectaciones. De esta manera, el trabajo busca aportar tanto al conocimiento académico como a la gestión pública, enfatizando la necesidad de implementar prácticas responsables en la disposición final de residuos sólidos que contribuyan a la preservación del entorno y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El manejo inadecuado de los residuos sólidos en el cantón Santiago de Pillaro contribuye una problemática ambiental que afecta directamente a las comunidades aledañas al relleno sanitario. Actualmente, la gestión de residuos sólidos representa uno de los desafíos ambientales más preocupantes, debido al incremento en la generación de desechos, impulsado por el crecimiento poblacional y los hábitos de consumo.

Los procesos tradicionales de gestión, incluidos los sistemas de recolección y disposición final en rellenos sanitarios, presentan deficiencias que resultan en impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública. Especialmente cuando no existen estrategias claras para su mejora continua. En este contexto, la sostenibilidad de los rellenos sanitarios se convierte no solo en un objetivo técnico, sino también en una necesidad para fortalecer la gestión ambiental municipal y cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular aquellos relacionados con ciudades sostenibles y la producción y consumos responsable (Heredia-García *et al.*, 2022).

La actividad humana en cualquiera de sus ámbitos, conlleva inevitablemente a la generación de residuos sólidos, estudios recientes han confirmado que una gestión integral y sostenible de los residuos se correlaciona positivamente con mejoras en la sostenibilidad ambiental, social y económica de las localidades. En Ecuador existe una relación significativa entre la calidad de manejo de residuos sólidos y los indicadores de desarrollo sostenible (Cervantes Mamani, 2025).

Asimismo, la revisión de la literatura demuestra que las experiencias exitosas de gestión sostenible de residuos en Latinoamérica se sustentan en la combinación de estrategias integrales tales como la separación en la fuente, valorización de materiales, educación ambiental, evolución continua de mecanismos y gobernanza ambiental. Estos elementos han sido identificados como claves para incrementar la eficiencia de los procesos, reducir impactos ambientales y promover una cultura ambiental responsable compartida entre autoridades, empresas y ciudadanía (Sánchez-Romero & Recalde-Gracey, 2024).

La investigación se realizó ante la problemática identificada en el manejo actual del relleno sanitario, ya que se evidencian posibles deficiencias en aspectos como la separación en la fuente, el aprovechamiento de residuos valorizables, el tratamiento de lixiviados, el control de gases y el seguimiento técnico-operativo. Estas limitaciones pueden generar un mal manejo del sistema

de disposición final, incremento de costos a largo plazo, conflictos con la comunidad y mayor presión sobre los recursos naturales. Si bien existen normativas y políticas generales sobre la gestión integral de residuos sólidos en el país, su aplicación efectiva requiera propuestas contextualizadas que consideren la realidad institucional, económica y territorial del municipio. Desde el punto de vista ambiental, la investigación procura contribuir a la reducción de impactos asociados al manejo del relleno sanitario, tales como la emisión de gases de efecto invernadero y la degradación inadecuada de lixiviados.

El aporte que tuvo la investigación radica en la formulación de una propuesta de estrategias sostenibles orientadas a la gestión adecuada del relleno sanitario. Esta propuesta servirá como instrumento de apoyo para la administración municipal, facilitando la implementación de mejoras progresivas y promoviendo un modelo de gestión alineado con los principios de desarrollo sostenible. Por ello esta investigación no solo responde a una necesidad técnica del cantón, sino busca generar soluciones concretas y sostenibles que contribuyan a mejorar la calidad ambiental y el bienestar de la población, promoviendo un manejo responsable y eficiente de los residuos sólidos en el territorio.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la tabla 1 se presenta el número de beneficiarios directos e indirectos correspondiente al proyecto de investigación que se realizara en la parroquia presidente Urbina del cantón Santiago de Píllaro.

Tabla 1. Beneficiarios del Proyecto

Beneficiarios directos	Beneficiarios Indirectos
Población de la parroquia Presidente Urbina	Población del cantón Santiago de Píllaro
Hombres: 1.542	Hombres: 20.289
Mujeres: 1.624	Mujeres: 22.208
Total: 3.166 habitantes	Total: 42.497 habitantes

Nota: En la presente tabla se presentan los beneficiarios del proyecto. **Fuente:** PDOT 2023-2037 GAD Municipal del cantón Santiago de Píllaro y GAD parroquial Presidente Urbina (Elaboración propia, 2025)

5. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos y, en particular, de los rellenos sanitarios, constituye uno de los desafíos ambientales más críticos a nivel global, con repercusiones negativas en la salud pública, los ecosistemas y el desarrollo sostenible. Si bien la Unión Europea (UE) ha transitado hacia modelos de economía circular que priorizan la valorización y el reciclaje, en regiones como América Latina y el Caribe persiste una dependencia alarmante de los vertederos. Estudios regionales indican que hasta un 40% de los residuos se depositan en sitios no controlados, evidenciando deficiencias estructurales en el manejo técnico, institucional y financiero (Correal *et al.*, 2023). Además estudios globales destacan que la mala gestión de rellenos sanitarios no sólo incrementa los impactos ambientales como la contaminación del suelo y aguas subterráneas, sino también afectan los indicadores de salud pública debido a la generación de vectores de enfermedad, emisiones de olores y gases nocivos (Kaza *et al.*, 2018).

A nivel nacional, la gestión de residuos sólidos y la operación de los rellenos sanitarios representan un desafío estructural que afecta la sostenibilidad ambiental y la eficiencia de los servicios municipales. Según datos oficiales del Registro de la Gestión de Residuos Sólidos del Ecuador, el 54,5% de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) disponen sus residuos en rellenos sanitarios, mientras que el resto se dirige a celdas emergentes y botaderos, evidenciando que no todos los sitios cumplen con estándares de manejo adecuado o sostenibilidad técnica (Villa-Achupallas *et al.*, 2024). Cabe mencionar que en el país se recolectan aproximadamente 14.421 Tn/día de residuos, donde el 84,2% es recolectado de manera no diferenciada, reduciendo las posibilidades de separación en la fuente y reciclaje efectivo. Solo el 31,7% de los municipios ha iniciado procesos de valorización de materiales lo que aumenta la presión sobre los rellenos sanitarios, que reciben residuos mezclados sin tratamiento previo (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023).

En el cantón Santiago de Pillaro, provincia de Tungurahua, la problemática se centra en la inadecuada gestión del relleno sanitario, manifestada en deficiencias operativas, limitaciones en el monitoreo ambiental y falta de estrategias sostenibles. Diversos estudios han evidenciado que el cantón presenta un problema significativo debido al elevado volumen de residuos sólidos, así como a las limitaciones en los procesos de recolección, almacenamiento y disposición final, lo que genera impactos ambientales y riesgos en la salud pública (Moya Alvarez, 2013). Investigaciones recientes han analizado el desempeño de las infraestructuras relacionadas con el relleno sanitario, subrayando la necesidad de establecer un control técnico permanente y el

cumplimiento de parámetros ambientales que permitan prevenir la contaminación del suelo y de los cuerpos hídricos por lixiviados y descargas residuales. Se estima que el cantón genera aproximadamente 20 Tn/día de residuos sólidos, lo que representan una carga considerable para el sistema de disposición final (Rengel Jiménez, 2023). En este contexto, se hace evidente la necesidad de proponer estrategias orientadas al manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro, con el propósito de mitigar los impactos ambientales y optimizar la eficiencia del sistema de gestión de residuos sólidos.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Proponer estrategias para un manejo sostenible del relleno sanitario en el cantón Santiago de Pillaro, provincia de Tungurahua 2025.

6.2. Objetivos Específicos

Diagnosticar la situación actual del manejo de la disposición final de los residuos sólidos en el relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro.

Identificar los principales impactos ambientales generados por las operaciones del relleno sanitario.

Establecer estrategias de manejo sostenible en el relleno sanitario, para minimizar los impactos ambientales.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Sistematización de los objetivos específicos

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Diagnosticar la situación actual del manejo de la disposición final de los residuos sólidos en el relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.	Revisión bibliográfica de estudios nacionales e internacionales sobre gestión de residuos sólidos. Visita de campo al relleno sanitario para observar condiciones operarias y de infraestructuras. Aplicación de encuestas al personal, técnico responsable del relleno sanitario y a la población aledaña para conocer su percepción sobre el funcionamiento del relleno.	Enfoque descriptivo y transversal. Técnicas: observación directa, revisión bibliográfica y aplicación de encuestas Instrumento: cuestionario de 12 preguntas aplicado a operarios, técnico responsable y población aledaña.	Línea base del diagnóstico de la situación actual del manejo del relleno sanitario.
Identificar los principales impactos ambientales generados por las operaciones del relleno sanitario.	Revisión de literatura sobre impactos comunes en rellenos sanitarios similares. Sistematización de la información obtenida en las encuestas a la población y personal técnica.	Análisis de contenido de las respuestas obtenidas en las encuestas	Listado de impactos ambientales identificados, según la percepción comunitaria.
Establecer estrategias de manejo sostenible en el relleno sanitario, para minimizar los impactos ambientales.	Elaboración de propuesta técnica basada en los hallazgos del diagnóstico y los impactos identificados	Revisión documental de experiencias exitosas en manejo sostenible de rellenos sanitarios.	Propuesta de estrategias para el manejo sostenible del relleno sanitario que incluya acciones de reciclaje y compostaje.

Nota: Sistematización de los objetivos con su respectiva actividad, metodología y resultados. **Fuente:** Elaboración propia

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1. Manejo sostenible

Se define con la gestión racional de los recursos naturales y sistemas ambientales. Es decir, es la aplicación de prácticas que garantizan la protección ambiental, la eficiencia económica y la aceptación social durante la operación del relleno sanitario. La sostenibilidad en rellenos sanitarios se relaciona con la minimización de impactos ambientales, la gestión adecuada de lixiviados y gases, y la prolongación de la vida útil del sitio de disposición final (Cañarte-Sarango & Castillo-Ortega, 2023).

En la investigación de Cedeño & García (2022), destacan que un manejo sostenible del relleno sanitario requiere planificación, monitor continuo y evaluación ambiental para prevenir la contaminación del suelo y cuerpo de agua, así como riesgos a la salud pública.

8.1.1. Sostenibilidad

Es la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las futuras generaciones. En el contexto actual, este término trasciende la simple conservación ambiental para incluir dimensiones sociales, económicas y ecológicas, lo que da lugar al concepto integral de desarrollo sostenible (Castro & Rivera, 2022). En el ámbito local, la sostenibilidad implica promover prácticas de gestión ambiental responsable, fortaleciendo las capacidades institucionales y la participación ciudadana. En Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) impulsa políticas que promueven la reducción de residuos, la reutilización y el reciclaje, como pilares de la sostenibilidad ambiental.

La sostenibilidad se caracteriza por ser un ciclo cambiante en la naturaleza que se mantiene en el tiempo y se refiere al consumo responsable de los recursos actuales y pueden verse afectados por la degradación ambiental (Jiménez Molina, 2023). En otras palabras, el concepto de sostenibilidad implica que el planeta tiene un modelo de desarrollo basado en recursos naturales, acompañado de un incremento poblacional y una dinámica económica que no se detiene y continúa produciendo mayores niveles de contaminación.

8.1.1.1. Dimensiones de la Sostenibilidad

La sostenibilidad, aplicada a la planificación de servicios públicos, se desarrolla a través de diversas fases o etapas, Murillo & Cano (2021) señalan que, la sostenibilidad se sustenta en tres fases fundamentales: el ambiental, el social y el económico. Cada fase cumple un papel esencial

en la búsqueda de un desarrollo equilibrado que responda a las necesidades actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras.

8.1.1.1.1. *Sostenibilidad Ambiental*

La sostenibilidad ambiental se refiere a la gestión responsable de los recursos naturales, esta se puede lograr siempre que la extracción de recursos naturales se mantenga dentro de los límites del crecimiento natural y su regeneración. Su propósito esencial consiste en mantener el equilibrio ecológico del planeta mediante la adopción de prácticas sostenibles que minimicen los impactos negativos de las actividades humanas (Murillo & Cano, 2021).

8.1.1.1.2. *Sostenibilidad Social*

Sostenibilidad social significa crear una nueva forma de desarrollo que garantice la utilización de los recursos naturales y preservar la biodiversidad. Este componente de desarrollo sostenible reconoce a las personas como el centro del progreso y fomenta la inclusión, el acceso equitativo a los recursos y la mejora de la calidad de vida en todas las comunidades. Además, impulsa la educación ambiental, la cooperación y la participación ciudadana como medios para consolidar una cultura de responsabilidad. La sostenibilidad social no solo se centra en mejorar la diversidad cultural humana sino también promover la igualdad de acceso a las oportunidades educativas (Murillo & Cano, 2021).

8.1.1.1.3. *Sostenibilidad Económica*

La sostenibilidad económica se define como el uso de recursos económicos rentables, social y ambientalmente responsables. En este contexto, las estadísticas económicas e industriales son importantes al momento de tomar decisiones. Este componente promueve la creación de economías sostenibles capaces de generar bienestar material sin comprometer la integridad ambiental ni profundizar las brechas sociales (Murillo & Cano, 2021).

8.2. Estrategias sostenibles

Las estrategias constituyen un conjunto de acciones planificadas y sistemáticas orientadas a alcanzar objetivos específicos, en este caso mejorar la gestión ambiental y operativa de los rellenos sanitarios. En el ámbito de los residuos sólidos, las estrategias incluyen medidas técnicas, administrativas, normativas y educativas.

En los rellenos sanitarios, las estrategias pueden orientarse a la minimización de residuos, el control de lixiviados, la captura de biogás, la segregación en la fuente y el fortalecimiento

institucional de los gobiernos locales. La planificación estratégica permite integrar aspectos técnicos y sociales (Cañarte-Sarango & Castillo-Ortega, 2023).

8.2.1. Tipos de estrategia en rellenos sanitarios

Las estrategias aplicadas a los rellenos sanitarios se pueden clasificar en:

- ❖ **Estrategias técnicas:** diseño de celdas, impermeabilización, tratamiento de lixiviados y captura de biogás.
- ❖ **Estrategias administrativas:** planificación operativa, monitoreo ambiental, mantenimiento y control de vida útil.
- ❖ **Estrategias normativas:** cumplimiento de regulaciones ambientales y licencias ambientales.
- ❖ **Estrategias sociales:** educación ambiental, segregación en la fuente y participación ciudadana. (Cedeño & García, 2022)

8.2.2. Modelos de estrategias

Las estrategias se sustentan en modelos de gestión integral que articulan la planificación, operación, control ambiental y participación institucional.

8.2.2.1. Modelo de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)

Este modelo propone estructurar estrategias orientadas a optimizar la eficiencia operativa del relleno sanitario. Abarca todas las etapas, desde la generación de residuos hasta su disposición final, integrando acciones técnicas, administrativas y educativas. De esta manera, se asegura el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y se promueve una gestión sostenible (Sánchez-Romero & Recalde-Gracey, 2024).

8.2.2.2. Modelo de economía circular aplicado a la gestión de residuos

Este enfoque pone énfasis en la reutilización de materiales y en la reducción de la generación de residuos como parte de una estrategia integral de gestión, plantea acciones orientadas a disminuir la cantidad de desechos destinados al relleno sanitario mediante procesos de reciclaje, compostaje y valorización. Con ello, se contribuye a extender la vida útil del sitio de disposición final y a mitigar los impactos ambientales asociados (Sandoval, 2025).

8.2.2.3. Modelo de planificación estratégica municipal

Estos modelos se fundamentan en indicadores de desempeño y en metas ambientales que orienten la aplicación de estrategias sostenibles, incorporan el diseño de planes operativos, el

monitoreo ambiental permanente y la evaluación de riesgos asociados a los rellenos sanitarios. Todo ello contribuye a fortalecer la toma de decisiones y a optimizar la gestión del sistema de disposición final (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023).

Estudios recientes sobre rellenos sanitarios en Ecuador evidencian que la aplicación de estrategias técnicas y sociales, como la participación comunitaria, el control de lixiviados y la gestión de biogás, son fundamentales para reducir los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida de la población aledaña al sitio (Cañarte-Sarango & Castillo-Ortega, 2023).

8.2.3. Indicadores de estrategias en rellenos sanitarios

Los indicadores permiten evaluar la eficiencia de las estrategias implementadas en la gestión de rellenos sanitarios, considerando aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos.

8.2.3.1. Indicador de generación per cápita de residuos (kg/hab. día)

Este indicador mide la cantidad de residuos sólidos generados por habitante, lo que permite diseñar estrategias de planificación para el relleno sanitario y proyectar su vida útil. En Ecuador, la generación per cápita promedio oscila entre 0,5 y 0,9 kg/hab. día (Solís Chichande & Salvatierra Pilo, 2024). Estas estimaciones varían según el nivel socioeconómico y la condición urbano-rural.

8.2.3.2. Indicador de tasa de disposición en relleno sanitario

Evalúa el porcentaje de residuos que son dispuestos en rellenos sanitarios frente a otras alternativas como botaderos a cielo abierto o celdas emergentes. En Ecuador poco más de la mitad de los municipios utilizan rellenos sanitarios para la disposición final de sus residuos, mientras que el resto recurre a métodos considerados inadecuados (Solís Chichande & Salvatierra Pilo, 2024).

8.2.3.3. Indicador de control de lixiviados

Mide la eficiencia del sistema de recolección y tratamiento de lixiviados, que son líquidos contaminantes generados por la descomposición de residuos (Lozano Orna, 2022). La falta de tratamiento de estos líquidos es una de las principales causas de contaminación del suelo y cuerpos de agua cercanos a rellenos sanitarios.

8.2.3.4. Indicador de captura y aprovechamiento de biogás

Este indicador evalúa la cantidad de biogás capturado en los rellenos sanitarios y su utilización, ya sea para la generación de energía o mediante la quema controlada, con el fin de reducir las

emisiones de gases de efecto invernadero. Para Lozano Orna (2022), el metano producido en los sitios de disposición final puede transformarse en una fuente de energía renovable, lo que fortalece la sostenibilidad del sistema de gestión de residuos.

8.2.3.5. Indicador de percepción social y participación ciudadana

Se centra en medir la percepción ciudadana sobre la importancia de los rellenos sanitarios y la disposición a participar en programas comunitarios, campañas educativas y proyectos de reciclaje. Una baja participación social y escasa conciencia ambiental pueden limitar la eficiencia de los sistemas de gestión de residuos, mientras que una comunidad informada y comprometida fortalece su sostenibilidad (Molina-Cárdenas, 2025).

8.3. Rellenos sanitarios

Un relleno sanitario es una técnica de disposición de residuos sólidos muy utilizada, que consiste en la disposición de capas de basura compactadas sobre un suelo previamente impermeabilizado para evitar la contaminación del acuífero y recubiertas por capas de suelo. Una ventaja del relleno sanitario sobre otros métodos de tratamiento de residuos es la posibilidad de recuperación de áreas ambientalmente degradadas por la minería o explotación de canteras, así como de terrenos considerados improductivos o marginales (Bedoya, 2023). Entonces los rellenos sanitarios son considerados herramientas útiles que ayudan a reacondicionar y manejar los residuos generados bajo criterios ambientales.

A su vez, Cruz Proaño (2020) explica que los rellenos sanitarios comprenden “una forma de disposición de la basura de manera ordenada, cubriéndola a diario con capas de tierra y tomando las medidas necesarias para que la compactación de tierra no afecte el ecosistema”.

8.3.1. Tipos de Rellenos Sanitarios

Los tipos de rellenos sanitarios se clasifican, de acuerdo a su método de operación, en semimecanizados, mecanizados y manuales (Viera Mejía, 2024).

8.3.1.1. Relleno Sanitario Mecanizado

Este tipo de relleno sanitario está diseñado para ejecutarse en países, regiones, ciudades, en las cuales su población genere más de 40 t/día de residuos. Para su operación se requiere movimientos de tierra que implica el uso de maquinaria especializada, como retroexcavadora, tractor oruga, cargadores y volquetes; además para el manejo adecuado de los desechos sólidos se precisa un compactador (Viera Mejía, 2024). Es importante señalar que para la construcción,

operación, gestión y clausura de este tipo de relleno sanitario es necesario los conocimientos de ingeniería civil y sanitaria.

8.3.1.2. Relleno Sanitario Semimecanizado

Este tipo de relleno sanitario está diseñado para ciudades que su población no pase de los 100000 habitantes, los cuales generen entre 20 y 40 t/día. Para su debido funcionamiento se debe acoplar el sitio para su operación (Viera Mejía, 2024).

8.3.1.3. Relleno Sanitario Manual

Este relleno sanitario es diseñado para aquellos municipios que no tienen las condiciones económicas para adquirir el equipo adecuado para ejecutar un relleno sanitario mecanizado (Viera Mejía, 2024).

8.3.1.4. Relleno Sanitario Municipal o Urbano

Se trata de un vertedero que, tras evaluaciones de carácter económico, social y ambiental es asignado por las administraciones municipales para la disposición de residuos, este tipo de infraestructura también recibe la denominación de relleno sanitario controlado o simplemente relleno sanitario (Bermeo Collaguazo, 2024).

8.3.1.5. Botaderos a cielo abierto

A nivel global y local, los vertederos al aire libre representan importantes desafíos ambientales ya que, a nivel mundial, son la principal fuente dentro del sector de residuos sólidos que generan emisiones de gases de efecto invernadero por el contenido de materia orgánica que en estos son depositados. Esta materia orgánica genera gas metano, este tipo de gas es 24 veces más contaminante que el CO_2 (Bermeo Collaguazo, 2024).

8.3.1.6. Botadero a cielo abierto Clandestino

Se define como un relleno sanitario clandestino, al lugar que sin ningún tipo de directrices medioambientales es elegido por algún grupo humano para depositar sus desechos sólidos. Este tipo de práctica constituye una fuente significativa de contaminación, propagación de enfermedades y diversos problemas. Por lo general, dichos botaderos se ubican, en lotes baldíos, quebradas o áreas de sumideros (Bermeo Collaguazo, 2024).

8.4. Impactos causados por Relleno Sanitarios

8.4.1. Impacto a la salud

La forma de disposición final de los residuos sólidos es un relleno sanitario puede constituir un riesgo para la salud pública, debido a que, favorece a la proliferación de vectores y plagas. También es frecuente la presencia de animales que buscan alimento entre los desechos acumulados, lo cual puede llegar a convertirse en una amenaza para la seguridad de la población. Los residuos sólidos pueden contener tanto materia orgánica como inorgánica que resultan perjudiciales tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Diferentes enfermedades de origen tanto biológico como químico tienen una estrecha relación con estos desechos, estas enfermedades pueden transmitirse a personas y animales mediante el contacto directo con ellos o de manera indirecta a través de vectores (Ambuludi-Paredes et al., 2022).

El polvo transportado por el viento desde un vertedero a cielo abierto puede contener patógenos y sustancias peligrosas. Durante el proceso de quema de la materia orgánica, se liberan compuestos orgánicos volátiles, algunos de ellos pueden ser tóxicos e incluso cancerígenos. Así mismo se generan subproductos a partir de la descomposición, entre los que se incluyen metano, dióxido de carbono.

8.4.2. Impacto al Ambiente

El impacto que tiene los residuos sólidos sobre el medio ambiente depende de las características del sitio donde son depositados como también de la naturaleza de los residuos descartados. Es decir, su gestión puede afectar al agua, al aire, al suelo, así como a la flora, la fauna y los ecosistemas en conjunto. La contaminación de aguas superficiales puede producirse de manera directa, siempre y cuando los desechos entren en contacto con ella, o de forma indirecta, a través de la escorrentía y los lixiviados provenientes de los lugares de disposición final sin tratamiento, estos introducen elevadas concentraciones de materia orgánica y compuestos tóxicos a ríos, lagos y lagunas (Cruz Proaño, 2020).

8.5. Ventajas y desventajas de un Relleno Sanitario

8.5.1. Ventajas

Para Cruz Proaño (2020), el relleno sanitario, considerado uno de los principales métodos de disposición final de los residuos sólidos, no obstante, requiere la asignación adecuada de recursos financieros y técnicos para su planificación, diseño, construcción y operación. Entre sus ventajas más relevantes se destacan:

- ❖ Al contar con material disponible en el mismo sitio para cubrir los residuos sólidos, esta opción es la más económica frente a otras alternativas de disposición final (Cruz Proaño, 2020).
- ❖ Permite la recuperación de terrenos previamente catalogados como marginales, transformándolos en espacios útiles (Cruz Proaño, 2020).
- ❖ El metano generado por la descomposición de la materia orgánica puede ser aprovechado como fuente de energía no convencional, dependiendo de las condiciones específicas del lugar (Cruz Proaño, 2020).

8.5.2. *Desventajas*

La construcción de rellenos sanitarios generalmente suele enfrentar oposición social por dos razones: el desconocimiento acerca del método de disposición final y la desconfianza hacia las autoridades locales acerca de su gestión. (Cruz Proaño, 2020), manifiesta las siguientes desventajas:

- ❖ Para su construcción se requiere una gran cantidad de terreno.
- ❖ Existe un alto riesgo, sobre todo en países tercer mundistas, debido a la carencia económica para su operación y mantenimiento, provocando que le relleno sanitario se convierta en tiradero a cielo abierto.
- ❖ La falta de monitoreo puede convertirse eventualmente en la contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, así como la generación de olores desagradables.

9. MARCO LEGAL

9.1. Constitución de la República del Ecuador

Registro Oficial 449 de 20-oct-2008 Última modificación: 13-jul-2011, ***Título II: DERECHOS, Capítulo segundo: Derechos del buen vivir, Sección segunda ambiente sano***, haciendo referencia:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La

soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

9.2. Código Orgánico del Ambiente (COA)

Se enfoca en el Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017. Libro Tercero, de la Calidad Ambiental, **Título V Gestión Integral de Residuos y desechos:** Capítulo I, Disposiciones generales:

Art. 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. - Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas.

Art. 226.- Principio de jerarquización. - La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:

1. Prevención;
2. Minimización de la generación en la fuente;
3. Aprovechamiento o valorización;
4. Eliminación; y,
5. Disposición final.

La disposición final se limitará a aquellos desechos que no se puedan aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambientalmente adecuadas y tecnológicamente factibles. La Autoridad Ambiental Nacional, así como los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos, promoverán y fomentarán en la ciudadanía, en el marco de sus competencias, la clasificación, reciclaje, y en general la gestión de residuos y desechos bajo este principio.

Capítulo II: Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos no Peligrosos

Art. 228.- De la política para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos. - La gestión de los residuos sólidos no peligrosos, en todos los niveles y formas de gobierno, estará alineada

a la política nacional dictada por la Autoridad Ambiental Nacional y demás instrumentos técnicos y de gestión que se definan para el efecto.

Art. 229.- Alcance y fases de la gestión. - La gestión apropiada de estos residuos contribuirá a la prevención de los impactos y daños ambientales, así como a la prevención de los riesgos a la salud humana asociados a cada una de las fases. Las fases de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos serán determinadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 230.- De la infraestructura. - Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos proveerán de la infraestructura técnica de acuerdo a la implementación de modelos de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, de conformidad con los lineamientos y normas técnicas que se dicten para el efecto.

Art. 231.- Obligaciones y responsabilidades. - Serán responsables de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos a nivel nacional, los siguientes actores públicos y privados:

1. La Autoridad Ambiental Nacional como ente rector que dictará políticas y lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos en el país y elaborará el respectivo plan nacional. Asimismo, se encargará de la regulación y control.
2. (Sustituido por el Art. 23 de la Ley s/n, R.O. 602-2S, 21-XII-2021).- Los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales o metropolitanos serán los responsables del manejo y procesamiento integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios generados en el área de su jurisdicción; por lo tanto, están obligados a fomentar en los generadores alternativas de gestión e incentivos de permanencia en cada uno de los cantones, de acuerdo con el principio de jerarquización, así como la investigación y desarrollo de tecnologías. Estos deberán establecer los procedimientos adecuados para barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y transferencia, con enfoques de inclusión económica y social de sectores vulnerables.

Deberán dar tratamiento y correcta disposición final de los desechos sólidos no peligrosos que no pueden ingresar nuevamente en un ciclo de vida productivo, con implementación de los mecanismos que permitan la trazabilidad de estos, para lo cual podrán conformar mancomunidades y consorcios y ejercer esta responsabilidad de conformidad con la Ley. Asimismo, serán responsables por el desempeño de las personas contratadas por ellos, para efectuar la gestión de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios, en cualquiera de sus fases.

9.3. Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

Libro VI, Anexo 6; Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos no Peligrosos

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Esta Norma establece los criterios para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta su disposición final.

La presente Norma Técnica no regula a los desechos sólidos peligrosos. La presente norma técnica determina o establece:

- ❖ De las responsabilidades en el manejo de desechos sólidos
- ❖ De las prohibiciones en el manejo de desechos sólidos.
- ❖ Normas generales para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos.
- ❖ Normas generales para el almacenamiento de desechos sólidos no peligrosos.
- ❖ Normas generales para la entrega de desechos sólidos no peligrosos.
- ❖ Normas generales para el barrido y limpieza de vías y áreas públicas.
- ❖ Normas generales para la recolección y transporte de los desechos sólidos no peligrosos.
- ❖ Normas generales para la transferencia de los desechos sólidos no peligrosos.
- ❖ Normas generales para el tratamiento de los desechos sólidos no peligrosos.
- ❖ Normas generales para el saneamiento de los botaderos de desechos sólidos.
- ❖ Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica de relleno manual.
- ❖ Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica de relleno mecanizado.
- ❖ Normas generales para la recuperación de desechos sólidos no peligrosos.

4.1 De las responsabilidades en el manejo de los desechos sólidos

4.1.1 El Manejo de los desechos sólidos en todo el país será responsabilidad de las municipalidades, de acuerdo a la Ley de Régimen Municipal y el Código de Salud.

4.1.3. Los propietarios de las obras tienen la responsabilidad de almacenar las tierras y escombros de manera adecuada y por un tiempo limitado debiendo señalizar de forma adecuada

el área utilizada para prevenir cualquier tipo de accidente, evitando de esta manera causar problemas a los peatones o impedir la libre circulación de los vehículos. El propietario de las obras será el responsable por la acumulación de desechos sólidos que se ocasionare en la vía pública, estando obligado a dejar limpio el espacio afectado.

4.1.5. Es de responsabilidad de los municipios la realización de trabajos de limpieza y mantenimiento de terrenos baldíos, en casos en que el propietario del terreno no realice la limpieza del mismo, con cargo de los gastos al propietario del terreno.

4.1.6. Previa a la celebración de fiestas tradicionales, ferias u otros eventos de carácter público, se requerirá la autorización de la entidad de aseo, la cual expedirá la reglamentación correspondiente.

4.1.8. Los organizadores de actos o espectáculos públicos en las vías, plazoletas, parques u otros locales destinados para este fin, serán responsables por la acumulación de desechos sólidos que se deriven de la celebración de tal evento. Para efectos de la limpieza de la Ciudad, los organizadores están obligados a obtener una autorización de la entidad de aseo, previa solicitud en la cual se detalle el lugar, el recorrido y el horario del acto público.

4.1.10 Los municipios determinarán el área de influencia inmediata de toda actividad que genere desechos, siendo los generadores los responsables de mantener limpias dichas áreas.

9.4. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

9.4.1. ODS 6: Agua limpia y saneamiento

Con este objetivo se promueve la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento. Los rellenos sanitarios generan lixiviados que, si no son adecuadamente controlados y tratados, pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas.

9.4.2. ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

Este objetivo busca lograr que las ciudades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Dentro de sus metas, se establece la reducción del impacto ambiental generado por el aumento per cápita, prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales.

9.4.3. ODS 12: Producción y Consumo Responsable

El manejo sostenible del relleno sanitario debe integrarse a un sistema de gestión integral de residuos sólidos, este objetivo impulsa la gestión ambientalmente responsable de los desechos a lo largo de su ciclo de vida, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje.

9.4.4. ODS 13: Acción por el Clima

Este objetivo insta a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Los rellenos sanitarios son fuentes significativas de emisiones de metano, un gas de efecto invernadero.

9.4.5. ODS 16: Paz, justicia e instituciones sólidas

El ODS 16 promueve instituciones eficaces, responsables y transparentes, al proponer estrategias para mejorar el relleno sanitario, lo cual implica:

- ❖ Mejorar la planificación y control por parte del GAD Municipal.
- ❖ Fortalecer la supervisión ambiental.
- ❖ Garantizar cumplimiento de normativa ambiental vigente.

Esto contribuye a una gestión pública sólida y organizada la cual se alinea con la meta 16.6; crear instituciones eficaces y transparentes.

10. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Qué estrategias pueden implementarse para lograr un manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro, provincia de Tungurahua, permitiendo minimizar los impactos ambientales?

11. MARCO METODOLÓGICO

11.1. Ubicación del área de estudio

11.1.1. Ubicación Geográfica

El cantón Santiago de Pillaro, perteneciente a la provincia de Tungurahua y situado en la región central del Ecuador, dentro de la zona interandina, se caracteriza por una ubicación estratégica que lo conecta con diversas provincias y constituye uno de los núcleos urbanos más relevantes de Tungurahua, tanto por su extensión como por su densidad poblacional. Limita al norte con Cotopaxi, al sur con Chimborazo, al este con Pastaza y Napo, y al oeste con Cotopaxi y Bolívar. Se encuentra a una altitud de 2803 msnm y presenta un clima andino de 15°C, condiciones que influyen en sus dinámicas sociales, económicas y ambientales (Nieto Cañarte et al., 2024)

El cantón Santiago de Pillaro se encuentra delimitado de la siguiente manera:

- ❖ **Norte:** Parroquia Presidente Urbina, San Andrés, San José de Poaló.
- ❖ **Sur:** Parroquia Emilio María Terán, Parroquia Baquerizo Moreno.
- ❖ **Este:** Ciudad de Ambato.

la realidad. La investigación descriptiva se enfoca en la observación directa y análisis de los fenómenos tal como ocurren.

Asimismo, es propositiva porque, a partir del diagnóstico y de la identificación de impactos ambientales, se plantean estrategias orientadas a la mejora del sistema de disposición final. Este tipo de investigación no se limita a describir la situación, sino que propone soluciones basadas en los hallazgos obtenidos durante el proceso metodológico.

11.2.1.2. Enfoque de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, lo cual permitió analizar de manera profunda e integral la situación actual del manejo de los residuos sólidos en el relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.

El enfoque cualitativo se caracteriza por la recolección de datos descriptivos, incorporando percepciones de actores clave a través de técnicas como encuestas y observación directa, que posibilitan comprender fenómenos sociales y ambientales complejos (Pozo Cruz & Rengifo Garcia, 2023). El estudio se orientó a identificar problemáticas relacionadas con la gestión del relleno sanitario y, a partir de dicho diagnóstico, formular estrategias para un manejo sostenible.

11.2.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental y transversal, debido a que los datos se recolectaron en un solo periodo de tiempo, sin manipulación de las variables de estudio, observándose los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural.

Los diseños no experimentales resultan especialmente pertinentes en estudios ambientales, ya que permiten analizar condiciones reales sin intervención directa sobre las variables, lo que permite describir el estado actual de una situación, manteniendo la objetividad del análisis y garantizando que los resultados reflejen la realidad observada (Caiza Suárez, 2024).

11.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

11.2.3.1. Técnicas

11.2.3.1.1. Visita de campo

Se realizaron visitas de campo al relleno sanitario con el fin de observar directamente las condiciones operativas, el manejo de los residuos sólidos y el cumplimiento de prácticas

ambientales básicas. Esta técnica permitió identificar de manera preliminar posibles alteraciones ambientales generados por las actividades del relleno sanitario.

11.2.3.1.2. Encuestas

Las encuestas permitieron conocer la percepción ciudadana sobre la gestión del relleno sanitario. Investigaciones recientes como la de (Teixeira & Guerra, 2024) en gestión sostenible de residuos establece que la sostenibilidad de los sistemas municipales depende no solo de la infraestructura técnica, sino también del componente social y la aceptación comunitaria. Por ello los cuestionarios fueron dirigidos a tres grupos de interés: los operarios encargados de las actividades dentro del relleno sanitario, el técnico responsable de la gestión del relleno sanitario y la población aledaña. La aplicación de las encuestas se realizó de forma presencial, con el fin de garantizar la correcta interpretación de las preguntas y la confiabilidad de las respuestas obtenidas.

11.2.3.1.3. Procesamiento de datos

Los resultados obtenidos fueron tabulados, analizados e interpretados con el propósito de identificar las principales problemáticas y las oportunidades de mejora en la gestión de residuos sólidos. A partir de este análisis, se elaboraron estrategias de manejo sostenible orientadas a contribuir tanto a la protección del medio ambiente como al bienestar de la población pillareña.

11.2.3.2. Instrumentos

11.2.3.2.1. Cuestionario

Cada cuestionario estuvo conformado por un total de 12 preguntas, combinando preguntas cerradas y abiertas diseñadas para obtener información clara sobre; prácticas del manejo de residuos sólidos, las alteraciones en la calidad del aire, del agua y en la salud de la población, así como la percepción comunitaria frente a los efectos derivados del funcionamiento del relleno sanitario.

Previo a su aplicación, los cuestionarios fueron sometidos a un proceso de validación de contenido, con el fin de garantizar la coherencia con los objetivos de la investigación. Este proceso incluyó la revisión por parte de expertos, conformada por profesionales con experiencia en gestión ambiental y manejo de residuos sólidos quienes evaluaron la redacción de las preguntas, la adecuación del lenguaje al grupo objetivo.

11.2.3.2.2. *KoboToolbox*

Para la recolección de información se empleó como instrumento la plataforma digital KoboToolbox para el diseño y aplicación de encuestas, con el propósito de optimizar el proceso de levantamiento, almacenamiento y sistematización de la información. Esta es una herramienta tecnológica utilizada en investigaciones académicas y proyectos de gestión ambiental, ya que permite la creación de formularios digitales, la aplicación de encuestas en dispositivos móviles y la recopilación de datos.

11.3. Población y Muestra

11.3.1. Población

En el ámbito estadístico, se denomina población o universo a todo grupo de personas u objetos que poseen alguna característica común o bien al conjunto de datos obtenidos en una investigación (Cortés Medina, 2011).

La población objeto de estudio se delimitó en la parroquia Presidente Urbina del cantón Santiago de Píllaro. Tomando como base los registros del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Parroquial, se ha identificado un universo de 3166 habitantes. Esta delimitación demográfica asegura que los resultados obtenidos posean una representatividad técnica acorde al contexto local analizado.

11.3.2. Muestra

La muestra se entiende como una serie de operaciones destinadas a seleccionar una parte del universo o población que será objeto de estudio, con el fin de facilitar la investigación (Cortés Medina, 2011). Este procedimiento se justifica dado que, en la mayoría de los casos, resulta imposible abarcar la totalidad de los elementos que conforman dicho universo. Por ello, la muestra se convierte en una herramienta metodológica que permite simplificar la investigación sin perder el enfoque científico. Para determinar el tamaño de la muestra se emplea la fórmula de muestro probabilístico para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

(Ecuación 1)

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = población total

Z = valor Z según el nivel de confianza

- ❖ 90% → 1,645
- ❖ 95% → 1,96
- ❖ 99% → 2,576

p = probabilidad de éxito (0.5 si nose conoce)

q = 1

e = margen de error (entre 5% 0,05 o 7% = 0,07)

Datos:

N = 3166 habitantes

Z = 95% → 1,96

p = 0,5

q = 1

e = 0,05

$$n = \frac{3166 * (1,96)^2 * 0,5 * 1}{(0,05)^2(3166 - 1) + (1,96)^2 * 0,5 * 1}$$

$$n = \frac{3166 * 3,8416 * 0,25}{0,0025 * 3165 + 0,9604}$$

$$n = \frac{3035,9}{8,8729}$$

$$n = 342$$

12. RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA

El manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro requiere la implementación de estrategias integrales que aborden de manera simultánea los componentes técnicos, ambientales, sociales e institucionales de la gestión de residuos sólidos. En concordancia con los lineamientos establecidos por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica y la normativa ambiental vigente, es fundamental reducir la presión sobre el sitio de disposición final mediante acciones que minimicen los impactos negativos sobre el suelo, el agua, el aire y la salud pública.

Una de las estrategias prioritarias consiste en la implementación de un programa integral de separación en la fuente y valorización de residuos sólidos. Esta medida permitiría disminuir significativamente el volumen de desechos que ingresan al relleno sanitario, fomentando la recuperación de materiales reciclables y el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante

compostaje. La reducción del volumen dispuesto no solo prolonga la vida útil del relleno sanitario, sino que también disminuye la generación de lixiviados y gases contaminantes, contribuyendo a un sistema más eficiente y ambientalmente responsable.

Asimismo, es indispensable optimizar el sistema de manejo y tratamiento de lixiviados para prevenir la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Esto implica fortalecer la impermeabilización de las celdas, mejorar los sistemas de drenaje y almacenamiento, e implementar procesos de pretratamiento que garanticen que las descargas cumplan con los parámetros establecidos en la normativa ambiental. El monitoreo periódico de la calidad del agua y del suelo en el área de influencia del relleno sanitario permitirá detectar oportunamente posibles afectaciones y aplicar medidas correctivas.

Otra estrategia clave es la implementación de un sistema adecuado de captación y control del biogás generado por la descomposición de los residuos orgánicos. La instalación de chimeneas de venteo controlado o sistemas de aprovechamiento energético contribuiría a reducir las emisiones de metano, uno de los principales gases de efecto invernadero, además de minimizar la presencia de malos olores y riesgos asociados a la acumulación de gases. Esta acción se alinea con los compromisos nacionales de mitigación del cambio climático y fortalece la sostenibilidad ambiental del proyecto.

Finalmente, resulta necesario fortalecer el plan de manejo ambiental y los mecanismos de seguimiento y control, asegurando una adecuada capacitación del personal operativo, la actualización constante de los instrumentos de gestión ambiental y la participación activa de la comunidad. La educación ambiental, la transparencia en la gestión y el cumplimiento estricto de la normativa constituyen pilares fundamentales para garantizar un manejo sostenible del relleno sanitario y reducir progresivamente sus impactos ambientales en el cantón Santiago de Pillaro, provincia de Tungurahua.

13. RESULTADOS

En el presente apartado se expone los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las técnicas e instrumentos de recolección de datos definidos en el marco metodológico, especialmente las visitas de campo y las encuestas dirigidas a operarios del relleno sanitario, al técnico responsable de su gestión y a la población aledaña. Estos insumos permitieron

diagnosticar la gestión actual del relleno sanitario, identificar los impactos generados por su operación y, en consecuencia, proponer estrategias orientadas hacia un manejo sostenible del mismo.

13.1. Línea Base del Manejo del Relleno Sanitario del Cantón Santiago de Pillaro.

De acuerdo con el objetivo específico 1, que plantea diagnosticar la situación actual del manejo de la disposición final de los residuos sólidos, se elaboró una línea base sustentada en la información obtenida a través de las encuestas aplicadas. Dichas encuestas permitieron recopilar datos relevantes sobre prácticas, percepciones y condiciones existentes en el sistema de disposición final.

Escala de evaluación utilizada

- ❖ **Alto:** cumple con el criterio técnico y normativo
- ❖ **Medio:** cumplimiento parcial
- ❖ **Bajo:** no cumple o presenta deficiencias

Tabla 3. Línea base con indicadores y nivel de cumplimiento del manejo del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.

Dimensión	Indicador	Situación actual identificada	Criterio técnico de referencia	Nivel de cumplimiento
Técnica y operativa	Licencia ambiental	Cuenta con licencia ambiental	Toda actividad de disposición final debe contar con regularización ambiental vigente y actualizada. Código Orgánico del Ambiente.	Alto
Técnica y operativa	Registro y pesaje diario	El control de ingreso se realiza de manera manual y sin sistematización digital	Registro diario y cuantificación precisa de residuos ingresados. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente	Alto
Técnica y operativa	Aprovechamiento de residuos	No existe un programa formal de valorización estructurada	Aplicación de la jerarquía de gestión: reducción, reutilización y reciclaje antes de disposición final. Código Orgánico del Ambiente	Bajo
Técnica-operativa	Compactación y conformación de capas	Las capas superan en algunos casos los 50 cm.	Compactación en capas de 30- cm con cobertura diaria. TULSMA	Medio
Técnica-operativa	Maquinaria operativa	Se dispone de maquinaria básica con limitaciones técnicas para compactación óptima	Uso de maquinaria especializada que garantice densidad adecuada. Organización Panamericana de la Salud.	Bajo

Ambiental	Monitorio Ambiental	El monitoreo ambiental no se realiza con periodicidad definida	Monitoreo periódico conforme instrumento ambiental aprobado. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.	Medio
Ambiental	Control de gases	Olores ocasionales y recurrente percibidos	Cobertura eficiente y control de gases conforme a lineamientos técnicos del TULSMA	Bajo
Ambiental	Riesgo de contaminación hídrica	Percepción comunitaria de posible contaminación	Sistema técnico de tratamiento de lixiviados exigido por el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.	Bajo
Ambiental	Control de vectores	Presencia de aves, perros y roedores	Control permanente y cobertura eficiente conforme disposiciones sanitarias del TULSMA	Bajo
Social	Calificación sobre el manejo técnico del relleno sanitario	La mayoría de los encuestados la califican como “regular”	Gestión con aceptación social en concordancia con el derecho a un ambiente sano reconocido en la Constitución de la Republica del Ecuador.	Medio
Social	Satisfacción ciudadana	Bajo nivel de satisfacción	Nivel alto de aceptación comunitaria conforme principios de participación ambiental establecidos en la Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización	Bajo

Social	Percepción de riesgo a la salud	Los encuestados consideran que si existe riesgos para la salud	Gestión que minimice riesgos sanitarios conforme derecho a la salud reconocido en la Constitución de la República del Ecuador.	Bajo
Institucional	Atención a quejas	Existe una atención ocasional y deficiente	Sistema formal de gestión de reclamos conforme a los principios de gobernanza ambiental del Código Orgánico del Ambiente	Bajo
Institucional	Necesidad de implementar estrategias	La mayoría de los encuestados consideran necesario mejorar la sostenibilidad	Cultura de mejora continua conforme principios de gestión ambiental establecidos en el Código Orgánico del Ambiente.	Bajo

Nota. La tabla 3 presenta el diagnóstico del estado actual del relleno sanitario, considerando dimensiones técnico-operativas, ambientales, sociales e institucionales. El nivel de cumplimiento fue determinado con base en los resultados de las encuestas aplicadas al personal operativo y técnico responsable, a la población aledaña (n = 342), visitas de campo y revisión documental. **Fuente:** Elaboración propia

13.2. Resultados de la encuesta

Como parte del proceso de recolección de información en la parroquia Presidente Urbina, se aplicaron encuestas a una muestra previamente definida. La aplicación de los cuestionarios se realizó con el propósito de obtener información directa y relevante. En una primera etapa, la encuesta fue aplicada al personal operativo y al técnico responsable del relleno sanitario, con el objetivo de obtener datos directos sobre las prácticas de disposición final y la existencia de mecanismos de aprovechamiento de residuos. Esta fase permitió diagnosticar el funcionamiento interno del sitio desde una perspectiva técnica y operativa.

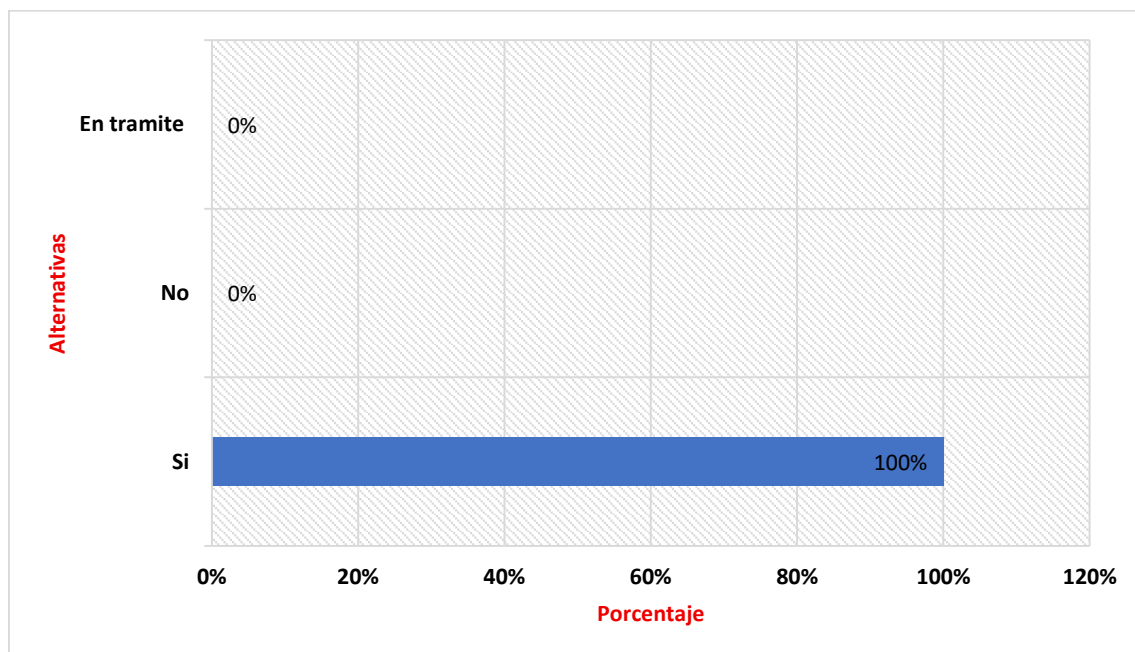
En una segunda etapa, las encuestas se aplicaron a la población residente en el área de influencia del relleno sanitario. Se trabajó con una muestra representativa que incluyó un total de 342 encuestas, lo que permitió recopilar información relevante sobre la percepción ciudadana y los impactos ambientales y sociales asociados al sitio de disposición. Estos resultados fueron fundamentales para comprender el nivel de afectación comunitaria y completar el diagnóstico integral del sistema de gestión de residuos en el cantón.

13.2.1. Encuestas a operarios y técnico responsable

Pregunta N.- 1

¿El relleno sanitario cuenta con licencia ambiental vigente?

Figura 2. Estado de vigencia de la licencia ambiental del relleno sanitario.



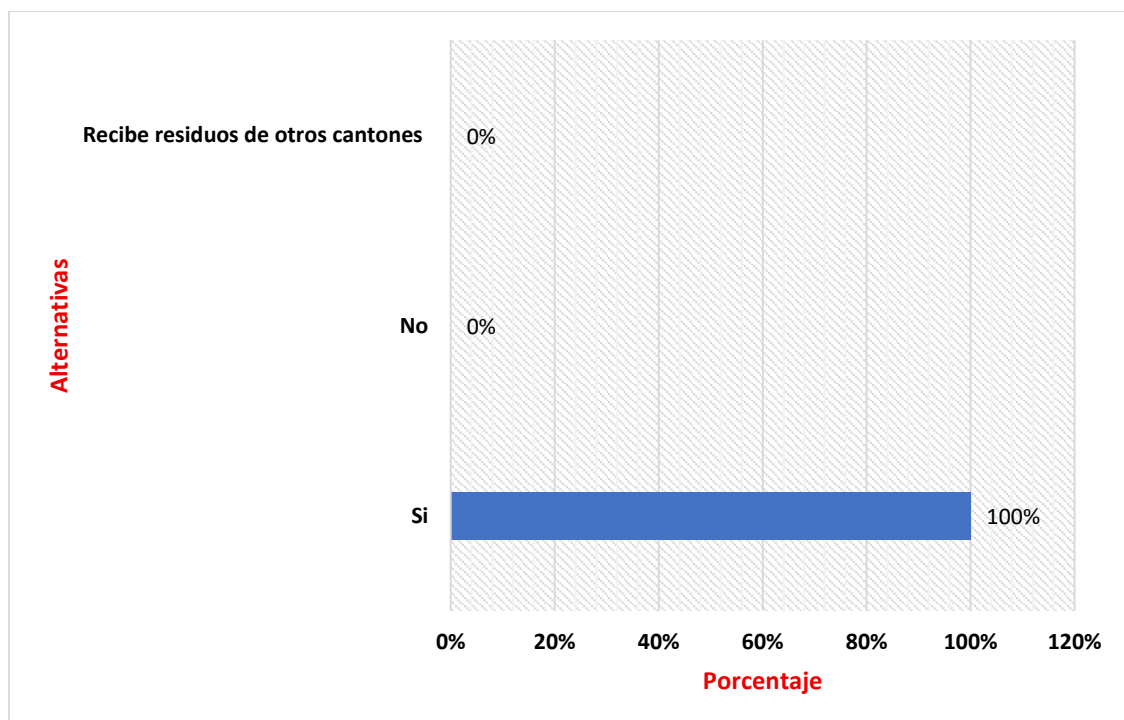
Fuente: Elaboración propia

En relación a la normativa ambiental ecuatoriana, la Figura 3 da a conocer que el relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro cuenta con la licencia ambiental vigente, lo cual indicó el cumplimiento formal establecido en el Código Orgánico del Ambiente y su reglamento, respecto a la obligatoriedad de regularizar las actividades de disposición final de residuos sólidos. Este resultado indicó que la infraestructura opera bajo un marco legal establecido; sin embargo, la sola existencia del instrumento ambiental no garantiza una gestión integral ni sostenible, ya que su efectividad depende del cumplimiento de las medidas y programas establecidos en dicho instrumento.

Pregunta N.- 2

¿El relleno sanitario recibe residuos únicamente del cantón Pillaro?

Figura 3. Procedencia de los residuos dispuestos en el relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

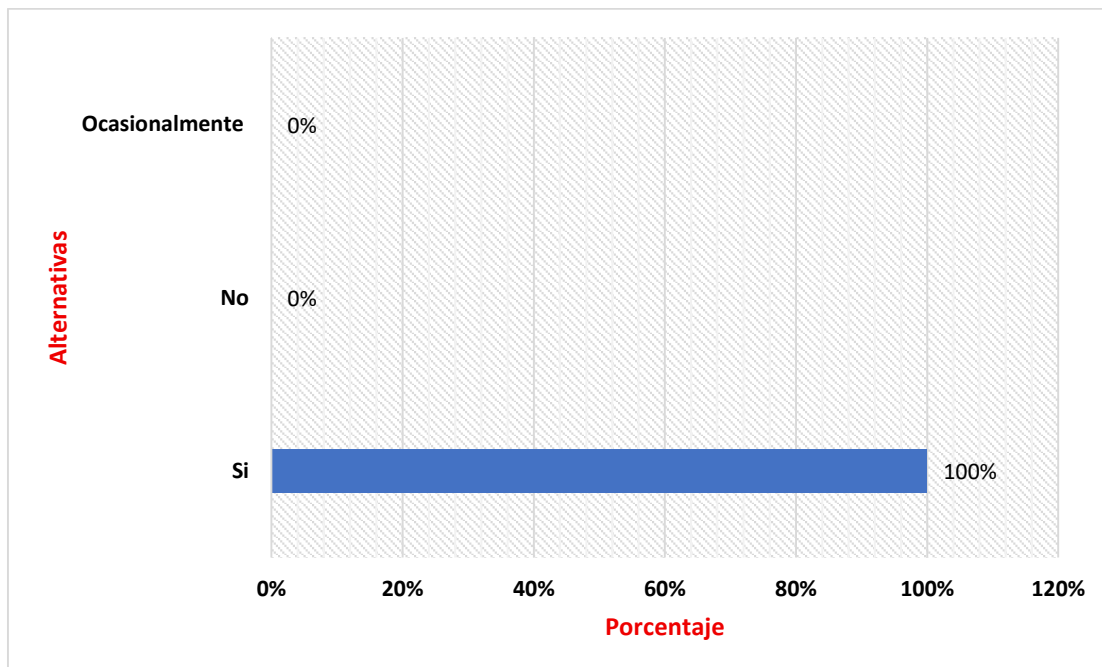
La procedencia de los residuos sólidos son exclusivamente del cantón Santiago de Pillaro, según lo manifestado de forma unánime por el personal técnico y operativo, situación que se alinea con los principios de planificación territorial y gestión descentralizada establecidos en la normativa ambiental y municipal vigente. En este contexto, el Código Orgánico del Ambiente y el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

dispusieron que los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales son responsables de la gestión integral de los residuos sólidos. Asimismo, este resultado se ajustó a los principios de territorialidad y descentralización, ya que la disposición final respondió a las condiciones poblacionales, sociales y ambientales del cantón Santiago de Píllaro. La gestión exclusiva de residuos cantonales, conforme a lo establecido en el COOTAD.

Pregunta N.- 3

¿Se pesa y se registra el ingreso de residuos diariamente?

Figura 4. Registro y pesaje diario del ingreso de los residuos sólidos al relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

Con base a las respuestas proporcionadas por los operarios y el técnico responsable, se determinó que el ingreso de residuos al relleno sanitario es objeto de pesaje y registro de manera diaria. Este procedimiento permite no solo cumplir con la normativa ambiental vigente, sino también mantener un control técnico sobre el volumen de residuos ingresados, si bien no se disponen datos públicos específicos sobre la generación diaria de residuos en el cantón, según el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), la generación promedio de residuos sólidos urbanos en Ecuador es de 0,63 por habitante por día. Considerando que la

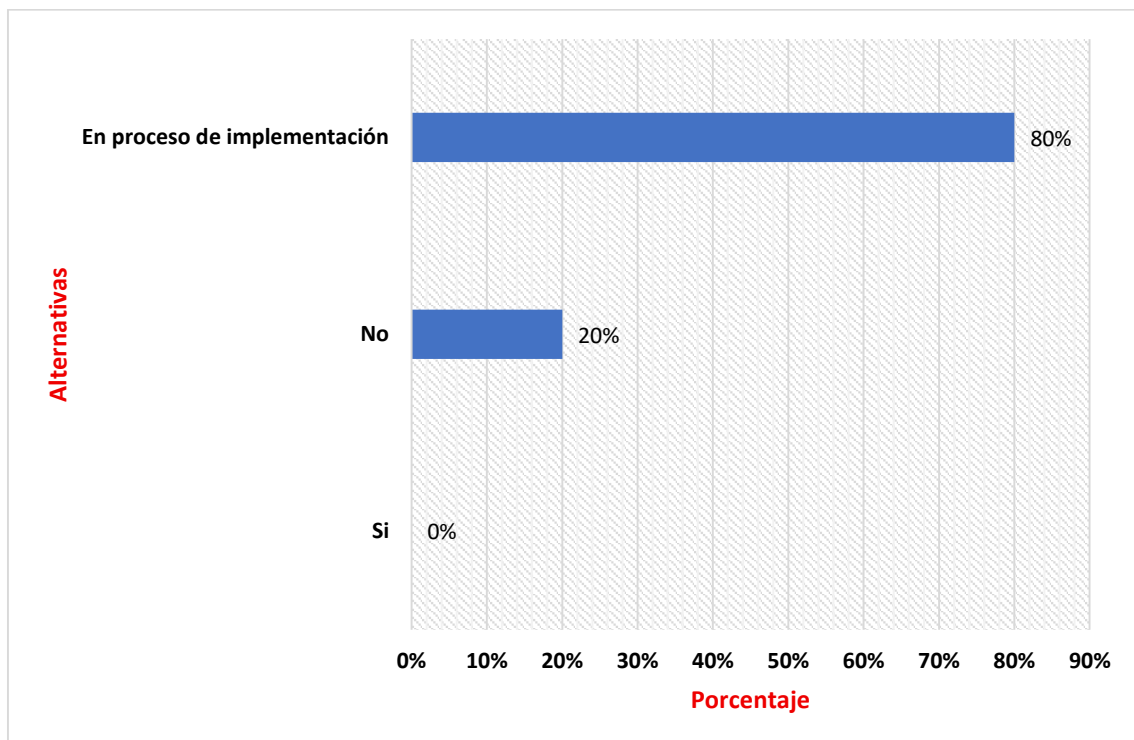
población actual asciende a 42.497 habitantes, y tomando como referencia el indicador nacional, se estima que la producción diaria alcanza aproximadamente 26,77 Toneladas.

Los residuos son recibidos diariamente en el relleno sanitario mediante vehículos recolectores municipales, que descargan su contenido en el área de pesaje y posteriormente dirigidos al frente de trabajo, los residuos ingresados corresponden principalmente a residuos sólidos no peligrosos de origen domiciliarios y comerciales, predominando la fracción orgánica seguida de la inorgánica como papel, cartón, plásticos y otros materiales.

Pregunta N.-4

¿Se realiza algún tipo de aprovechamiento de residuos (reciclaje, compostaje, etc.)?

Figura 5. Existencia de actividades de aprovechamiento en el relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

La ausencia de actividades de aprovechamiento, tales como reciclaje o el compostaje, fue señalada como una característica de gestión actual. Este hallazgo da a entender que el total de los residuos recolectados son destinados a la disposición final directa, sin respetar la normativa ambiental ya que esta, prioriza la jerarquía de gestión de los residuos mediante la reducción, reutilización y el reciclaje, lo que representa un impacto significativo hacia la vida útil del sitio,

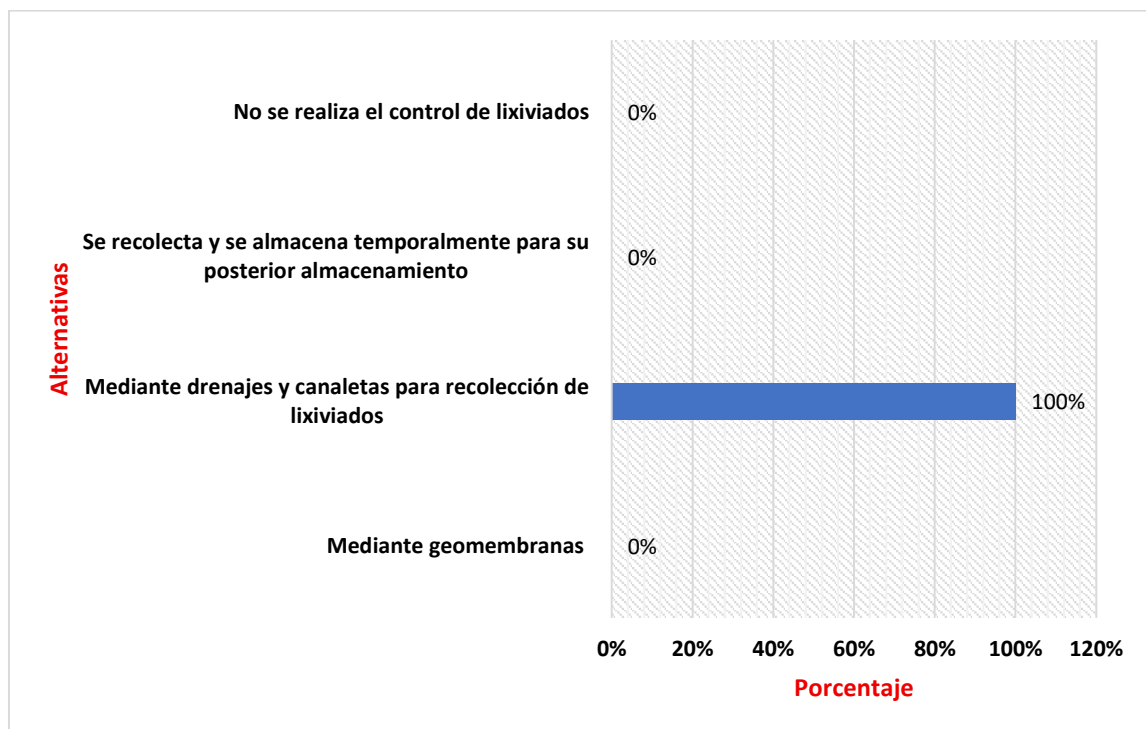
debido a que puede existir un incremento en el volumen de residuos dispuestos, generando una presión adicional sobre la infraestructura.

De acuerdo con la información técnica disponible de la municipalidad del cantón, no se cuenta con datos cuantitativos registrados sobre volúmenes o porcentaje de residuos destinados a procesos de aprovechamiento, debido a que estas actividades no se encuentran en operación ni formalmente implementadas. En consecuencia, no existen registros de cantidades recicladas o compostadas, lo que limita el análisis del potencial de valorización de los residuos y evidencia la necesidad de implementar sistemas de separación y aprovechamiento.

Pregunta N.-5

¿Cuál es el control de la generación de lixiviados en el relleno sanitario?

Figura 6. Tipo de control aplicado a la generación de lixiviados.



Fuente: Elaboración propia

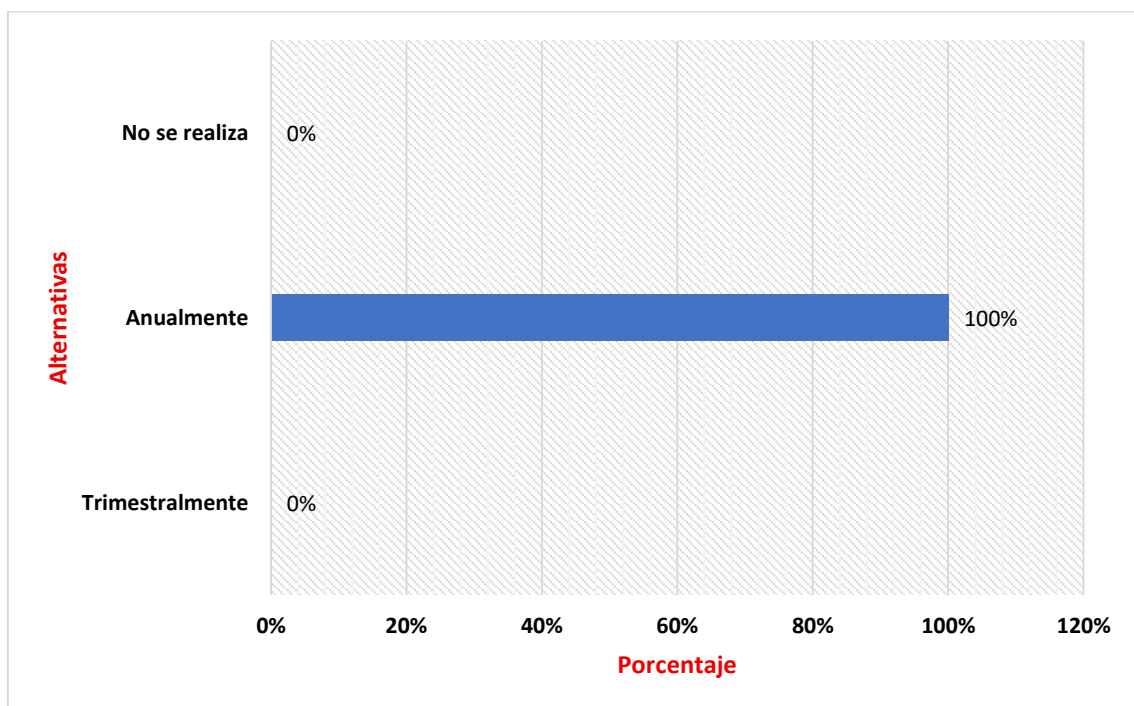
Con base a la información proporcionada por el técnico y los operarios durante la aplicación de las encuestas, se determinó que el control de lixiviados es una prioridad en el manejo del relleno sanitario; sin embargo, dicho control se limita a acciones básicas como el uso de drenajes y canaletas para la recolección. Esta falta de procedimientos integrales, tecnologías específicas o esquemas formales evidencia un cumplimiento parcial de la normativa vigente. Al respecto, el

Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA) detalla las obligaciones técnicas para la gestión de residuos no peligrosos, estableciendo que los rellenos sanitarios deben contar obligatoriamente con un sistema de impermeabilización y recolección de lixiviados para evitar la contaminación de acuíferos y la filtración al suelo. Complementariamente, el Acuerdo Ministerial 061 (Reforma al Libro VI del TULSMA), como normativa técnica estipula en su Anexo 1 los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes, obligando a que cualquier lixiviado, previo a su disposición o vertido, cumpla con parámetro físico-químicos estrictos mediante un tratamiento adecuado.

Pregunta N.- 6

¿Con que frecuencia se realiza monitoreo ambiental (agua, aire, suelo) en el área del relleno?

Figura 7. Frecuencia de monitoreo ambiental de agua, aire y suelo en el área del relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

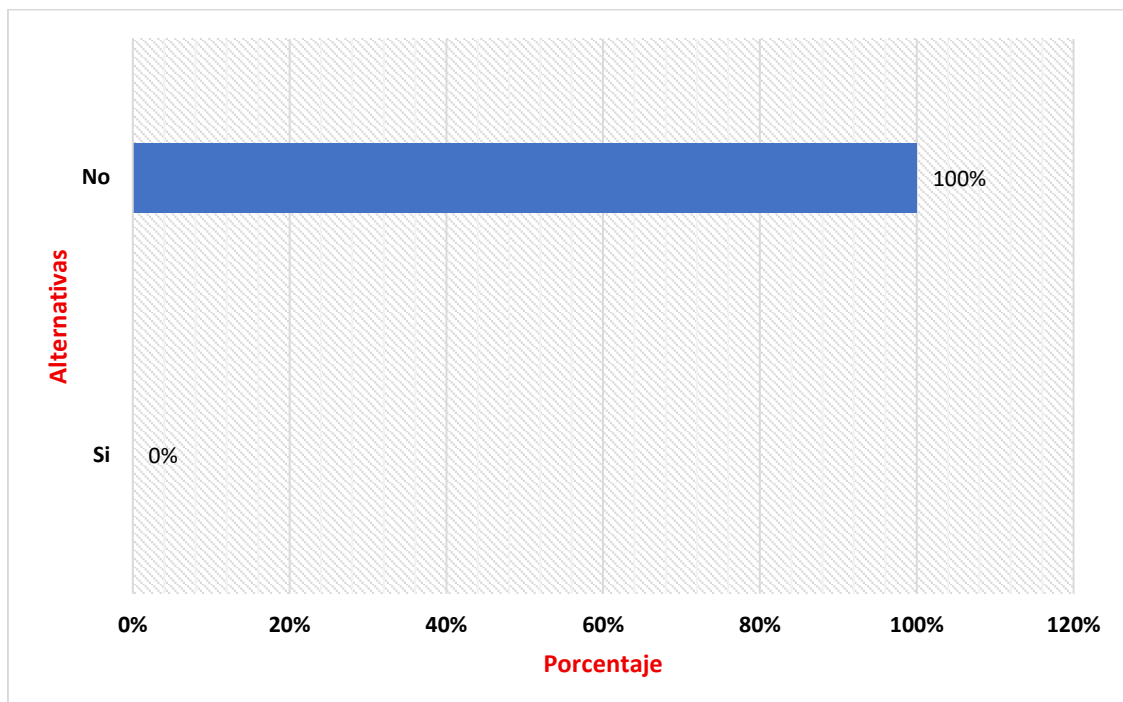
Con base en la información proporcionada por el personal encuestado, se determinó que el monitoreo ambiental de los componentes aire, agua y suelo se realiza con una frecuencia anual, conforme lo indicó el 100% de los participantes. Si bien esta práctica permite obtener una visión general del estado ambiental del sitio, la ejecución de esta vigilancia resulta limitada para evaluar de forma continua el comportamiento de dichos elementos y la evolución de los posibles impactos derivados de las actividades de disposición final. Desde un enfoque técnico sustentado

en la literatura científica, se establece que durante la fase de operación de los rellenos sanitarios los parámetros relacionados con la composición de aguas superficiales y subterráneas deben ser controlados con una regularidad trimestral, mientras que otros parámetros como lixiviados y gases pueden requerir muestreos mensuales o continuos (Janas & Zawadzka, 2019).

Pregunta N.-7

¿El relleno sanitario recibe residuos peligrosos?

Figura 8. Recepción de residuos peligrosos en el relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro.



Fuente: Elaboración propia

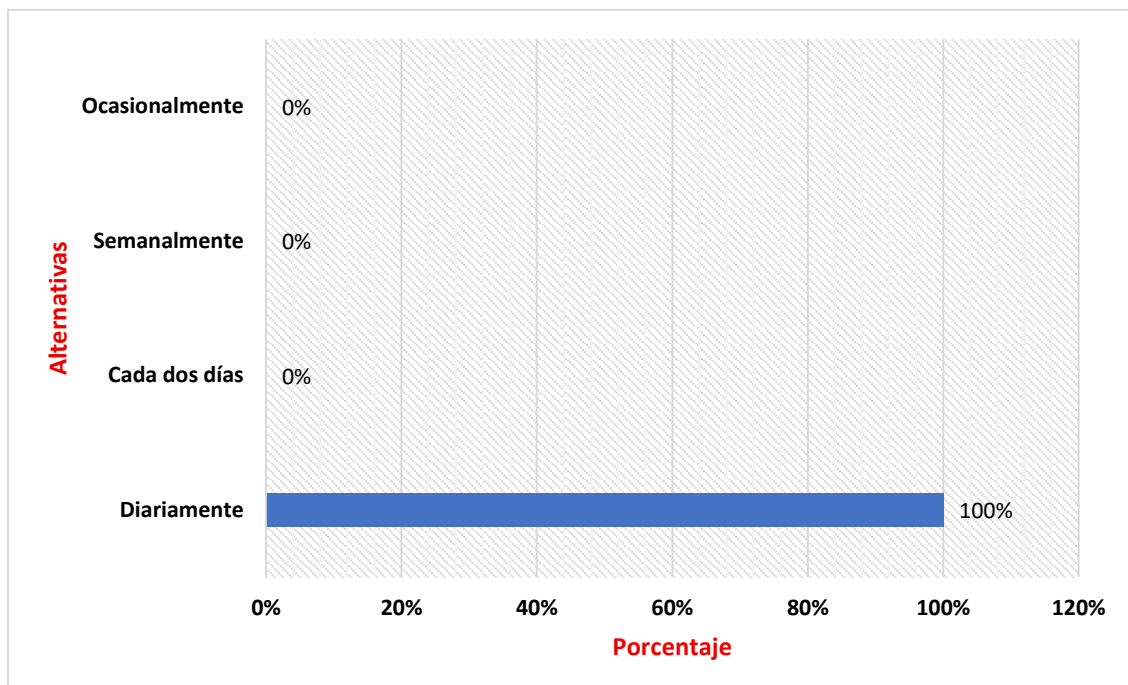
Con base a la información proporcionada por los trabajadores encuestados, se determinó que el relleno sanitario del cantón no está destinado a la recepción de residuos peligrosos, lo cual es coherente con su diseño y operación. Sin embargo, el hecho que no se dispongan este tipo de residuos no elimina el riesgo que exista a una posible disposición ocasional, situación que podría generar impactos ambientales y sanitarios significativos debido a la falta de infraestructura y tratamientos adecuados. Por otra parte, si bien el relleno sanitario no admite residuos peligrosos, este tipo de desechos se generan dentro del cantón como resultado de diversas actividades, tales como el funcionamiento de establecimientos de salud, farmacias y talleres mecánicos, entre otros.

De acuerdo con la Ordenanza que Regula el Manejo y Disposición de Desechos Sólidos en el cantón Santiago de Píllaro, la gestión de estos residuos se lleva a cabo de manera diferenciada. Según lo estipulado en el artículo 11 de dicha normativa, el proceso se realiza a través de gestores ambientales externos debidamente autorizados, quienes asumen la responsabilidad de su recolección, transporte, tratamiento y disposición final en instalaciones especializadas.

Pregunta N.- 8

¿Con qué frecuencia se realiza la compactación de residuos en el relleno sanitario?

Figura 9. Frecuencia de compactación de residuos sólidos en el relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

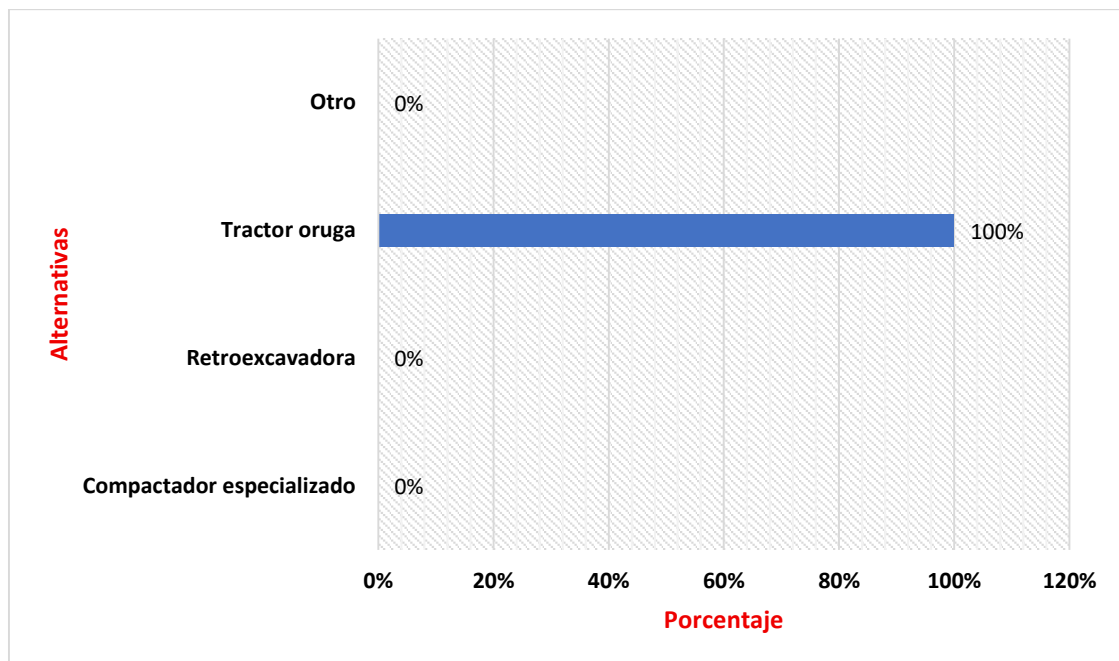
Con respecto a la compactación de los residuos, la Figura 10 evidencia que esta se realiza diariamente. Esta actividad fue identificada como esencial para optimizar el volumen de la celda de disposición final, ya que permite alcanzar una densidad adecuada de los desechos, mejorar el aprovechamiento de espacio disponible y contribuir a la estabilidad de la estructura física. Además, al efectuarse de manera constante favorece directamente a la disminución de impactos ambientales, evitando la proliferación de vectores, la emisión de olores desagradables, lo que refuerza la gestión operativa del relleno.

La normativa ambiental vigente en Ecuador, específicamente el Acuerdo Ministerial N.º 061, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), establece que durante la operación de los rellenos sanitarios se debe realizar la compactación diaria de los residuos sólidos, como parte de las buenas prácticas operativas. Así mismo, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) indica que esta actividad, combinada con la cobertura diaria, constituye una medida clave para el control sanitario, prevención de malos olores y la reducción de efectos negativos sobre el entorno y la salud pública.

Pregunta N.- 9

¿Qué tipo de maquinaria se utiliza principalmente para la compactación?

Figura 10. Tipo de maquinaria utilizada para la compactación.



Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 fue elaborada a partir de las respuestas obtenidas por parte de los operarios y del técnico responsable, con el objetivo de identificar el tipo de maquinaria utilizada en el proceso de compactación, los resultados indican que el 100% de los encuestados señaló el uso exclusivo del tractor oruga. En efecto, diversos autores y normas técnicas coinciden que la tractor oruga, aunque cumple funciones generales de empuje y cobertura, no está diseñado para alcanzar los niveles óptimos de presión requeridos para una compactación técnica. En Ecuador, estudios recientes confirman esta limitación, (Camacho Muncha, 2019), en su tesis de la Escuela

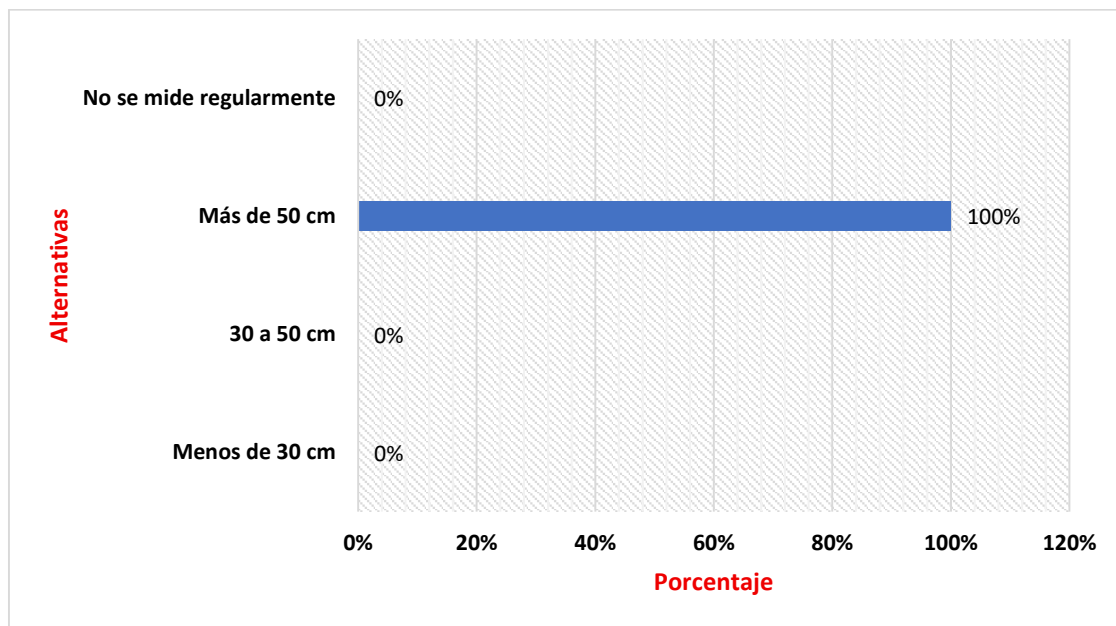
Politécnica Nacional, diseñó una máquina compactadora de residuos sólidos argumentando que el tractor oruga no logra la presión necesaria para densidades técnicas.

Este hallazgo revela una dependencia total de maquinaria básica, lo cual confirma las limitaciones en términos de eficiencia operativa, la ausencia de equipos especializados, como compactadores de cubierta o rodillos vibratorios, limita la capacidad de alcanzar un manejo adecuado de las celdas de disposición, lo que puede derivar en una menor estabilidad estructural, incremento de lixiviados e incluso emisiones de biogás.

Pregunta N.- 10

¿Con qué espesor promedio se aplica la capa de residuos antes de ser compactada?

Figura 11. Espesor promedio de las capas de residuos aplicadas antes de la compactación



Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido en la pregunta 10 muestra que la totalidad de los encuestados indicó la aplicación de capas de residuos con espesores superiores a 50 cm antes de la compactación. Este patrón operativo refleja una práctica uniforme en el sitio, pero alejada de los parámetros técnicos recomendados para garantizar una eficiencia operativa.

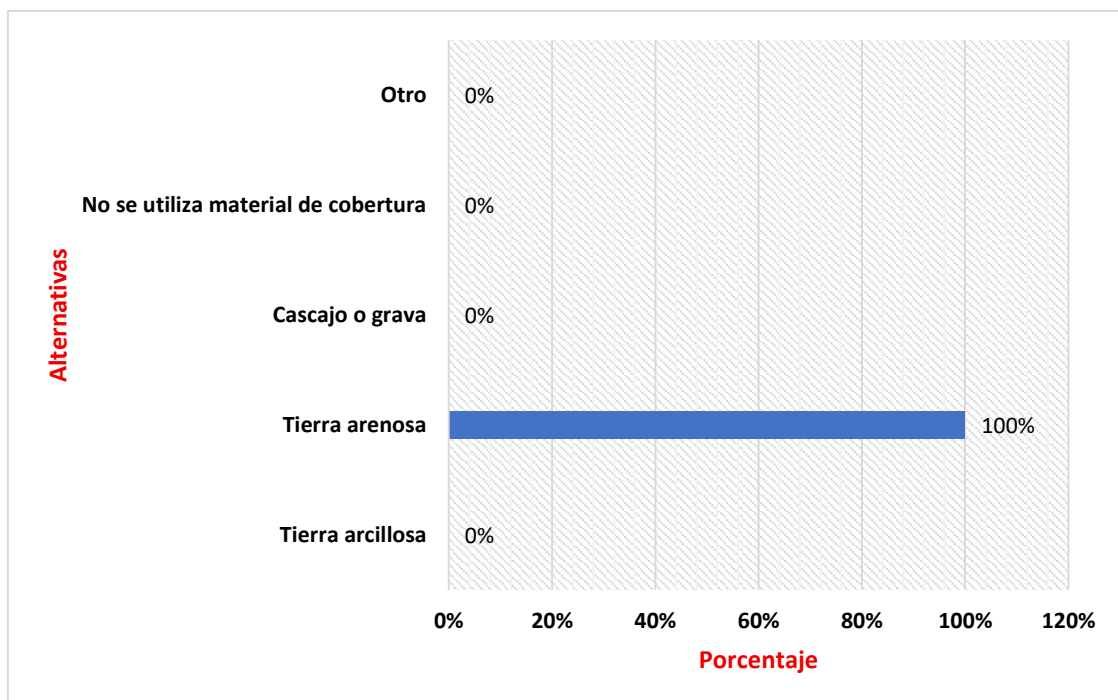
El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), en su Libro VI, Anexo 6, establece que el espesor de capas debe estar dentro del rango de 30 y 50 cm.

Dicho intervalo busca asegurar una densidad adecuada, prevenir asentamientos irregulares y facilitar el control de lixiviados y gases. Al superar los límites establecidos en la normativa ambiental evidencia una desviación hacia un manejo sostenible, lo que puede llegar a comprometer la estabilidad estructural del relleno y reducir su vida útil.

Pregunta N.- 11

¿Qué tipo de material se utiliza para la cobertura o apoyo en el proceso de compactación?

Figura 12. Tipo de material utilizado para la cobertura de residuos en el proceso de compactación.



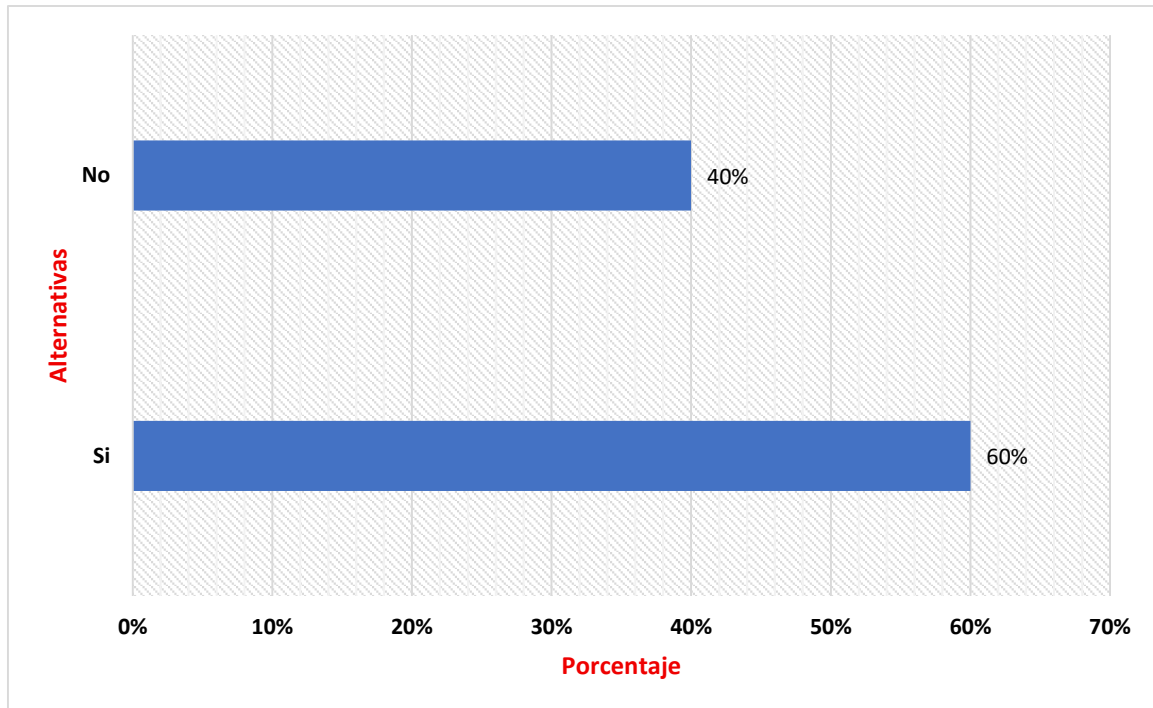
Fuente: Elaboración propia

El 100% de ellos encuestados indicó que se utiliza tierra de arenosa como material de cobertura en el proceso de compactación, esta preferencia sugiere una alta disponibilidad local del recurso y su facilidad de manipulación en campo. Desde el punto de vista técnico, la tierra arenosa ofrece ventajas con ligereza y facilidad de aplicación. Sin embargo autores como (Pineda, 2020) y (Yoelvincas, 2025) advierten que su baja cohesión y la alta permeabilidad pueden dificultar el sellado superficial, favorecer a la filtración de agua y reducir la capacidad de control de vectores y gases. También dan a conocer que otros materiales como la tierra arcillosa o el cascajo ofrecen mejores propiedades de impermeabilización y estabilidad, aunque se requiere un mayor esfuerzo en su aplicación.

Pregunta N.- 12

¿Cree usted que es necesario implementar estrategias para mejorar la sostenibilidad del relleno sanitario?

Figura 13. Necesidad de implementar estrategias para mejorar la sostenibilidad del relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

La mayoría de los encuestados manifestó que es necesario implementar estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad del relleno sanitario, mientras que un porcentaje reducido de muestra no lo considera necesario. Esta diferencia en las percepciones revela una tendencia favorable hacia el fortalecimiento de la gestión, desde el punto de vista técnico, este resultado permite identificar oportunidades para realizar mejoras en el manejo del sitio, tales como el control eficiente de lixiviados y biogás, la optimización de cobertura diaria, la adquisición de maquinaria adecuada.

La presencia de opiniones divergentes sugiere la necesidad de reforzar la realización de capacitaciones y sensibilización del personal, promoviendo una cultura institucional orientada a la mejora continua del manejo y operación del relleno sanitario.

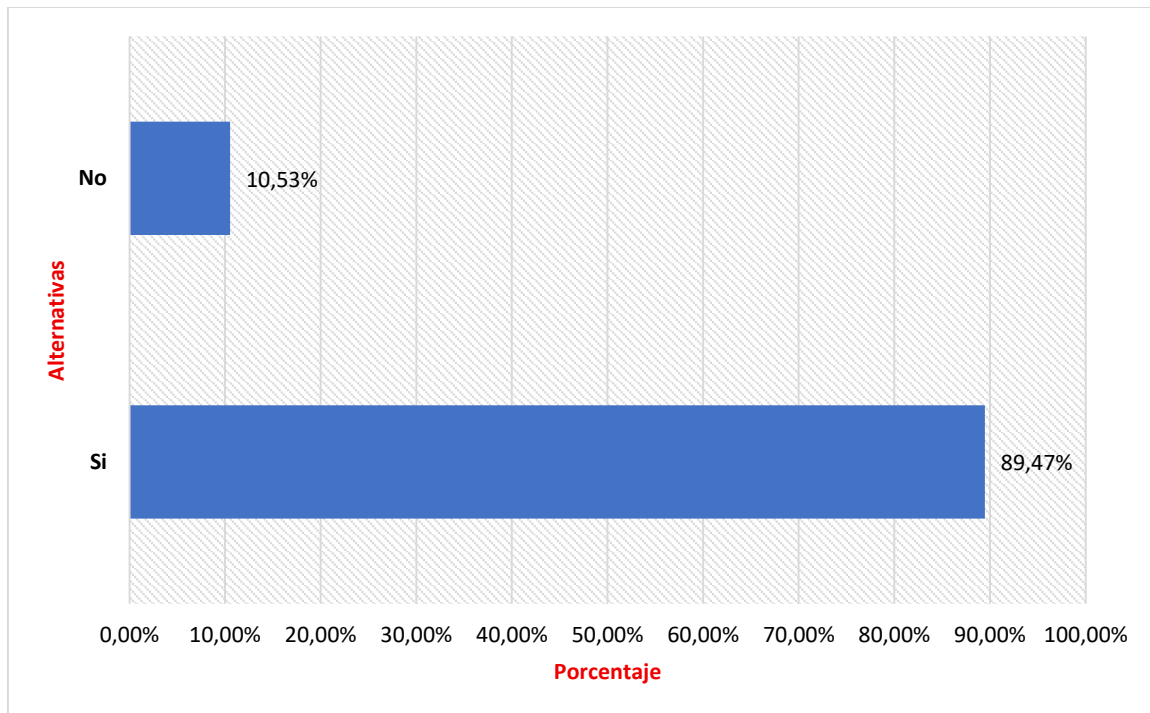
13.2.2. Encuestas a la población aledaña al relleno sanitario

Las encuestas realizadas a la población que habita en las zonas cercanas al relleno sanitario permitieron conocer de manera directa sus percepciones y experiencias frente a la gestión y manejo del sitio. Los resultados muestran la opinión de los habitantes respecto a los impactos ambientales, sociales, de salud y de posibles mejoras que debe tener en cuenta la municipalidad.

Pregunta N.-1

¿Conoce usted la ubicación del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro?

Figura 14. Conocimiento de la ubicación del relleno sanitario por parte de la población aledaña.



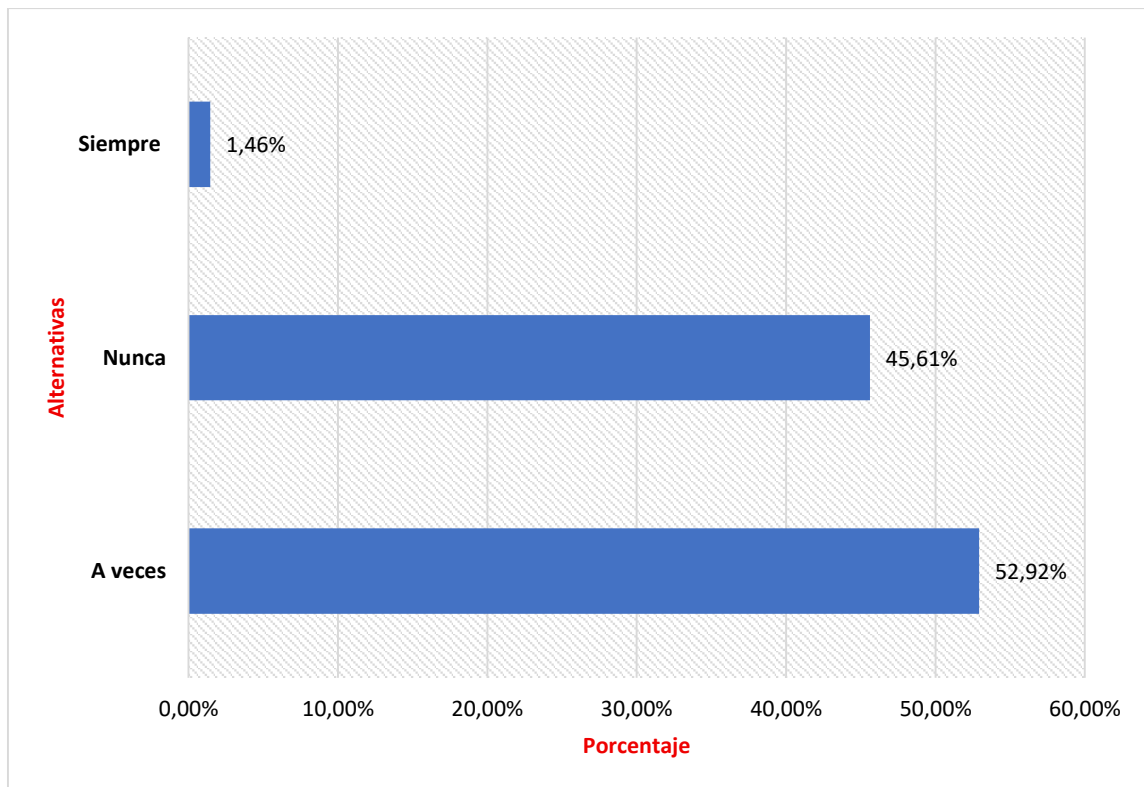
Fuente: Elaboración propia

La población conocía la ubicación del relleno sanitario, lo que demostró un nivel de familiaridad con el sitio, este conocimiento permitió que los habitantes relacionaran directamente los impactos ambientales y sociales con la operación del relleno. El hecho de que la comunidad identificará con precisión el lugar refleja que el relleno formaba parte de su cotidianidad y que sus efectos eran percibidos por parte de la comunidad. Estos resultados fortalecieron la validez de las respuestas posteriores, ya que los encuestados no respondieron desde la suposición sino desde la experiencia vivida.

Pregunta N.- 2

¿Considera que las autoridades municipales informan adecuadamente sobre el funcionamiento del relleno sanitario?

Figura 15. Percepción ciudadana sobre la información proporcionada por las autoridades municipales acerca del funcionamiento del relleno sanitario.



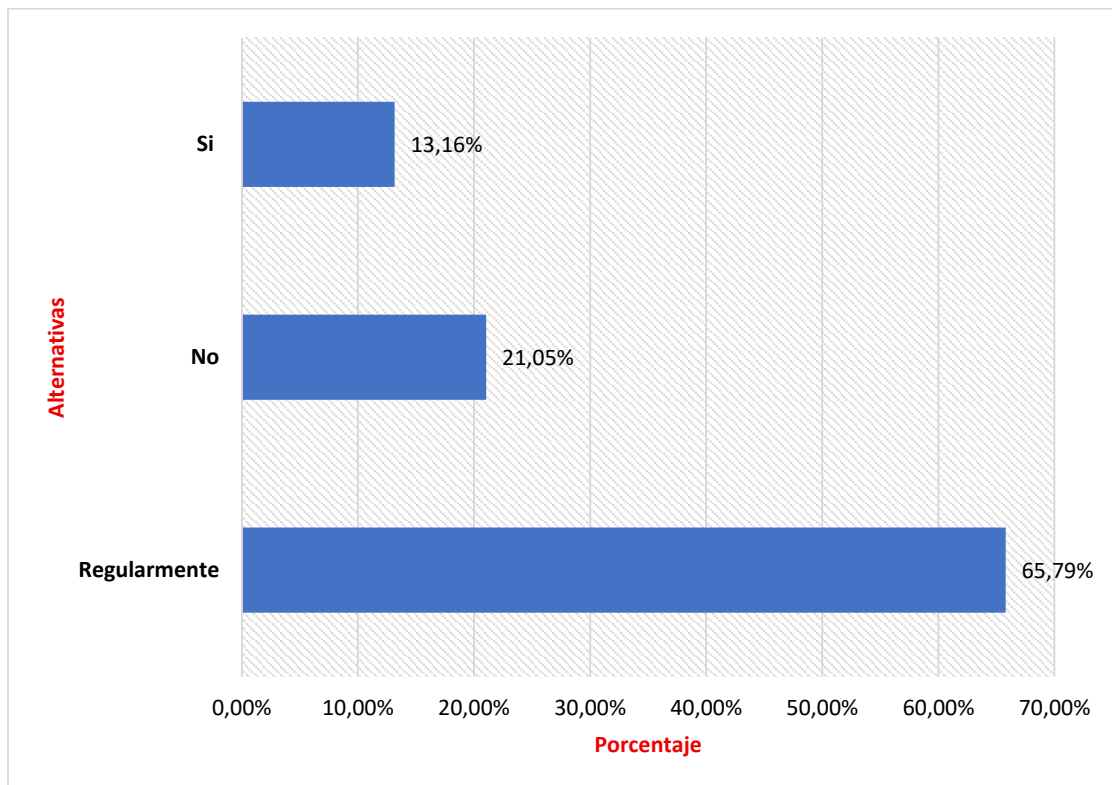
Fuente: Elaboración propia

La comunicación institucional fue considerada insuficiente. Predominando las respuestas que señalaron información parcial o inexistente, lo que evidenció una desventaja en la transparencia y en la socialización de las actividades relaciones con el manejo del sitio. Esta falta de información generó desconfianza y limitó la participación comunitaria en la gestión ambiental, este hallazgo permitió identificar la debilidad en la gobernanza ambiental, ya que la falta de procesos informativos impide a la población exigir mejoras o colaborar con la sostenibilidad del relleno.

Pregunta N.-3

¿Cree que el relleno sanitario se maneja de manera técnica y ambientalmente adecuada?

Figura 16. Percepción de la población sobre el manejo técnico y ambiental del relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

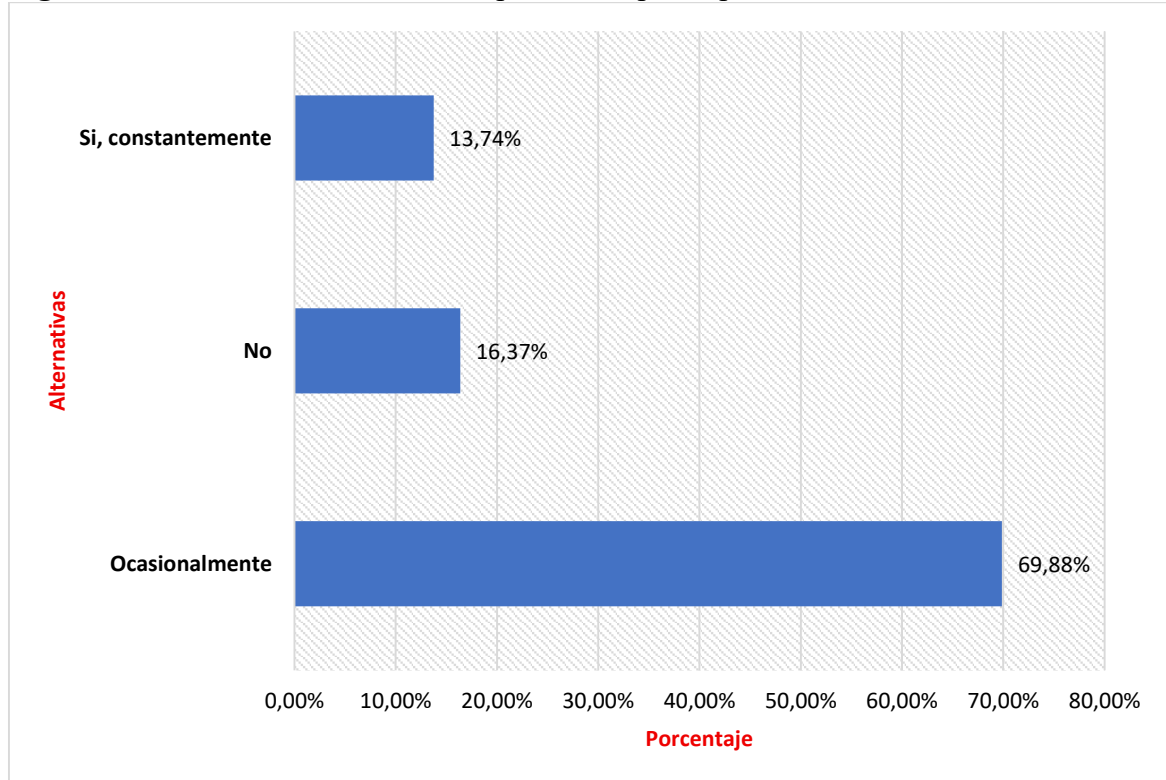
El manejo técnico y ambiental del relleno sanitario fue valorado mayoritariamente como regular, lo que evidencia la existencia de deficiencias operativas en su funcionamiento. Esta percepción comunitaria sugiere que las prácticas de disposición final no se ejecutan de manera óptima, generando dudas sobre el cumplimiento de criterios técnicos y ambientales básicos, lo cual afecta directamente la confianza de la población en la gestión municipal. Este resultado es relevante para el diagnóstico, ya que demuestra que los habitantes no solo identifican los impactos visibles del relleno sanitario, sino también reconocen falencias estructurales en su manejo, asociadas a la falta del control ambiental y estrategias orientadas a la sostenibilidad.

La literatura científica respalda esta relación entre percepción social y deficiencias operativas en sitios de disposición final de residuos. En un estudio de caso realizado en México, se encontró que las percepciones de los habitantes cercanos al relleno identificaron problemas ambientales como señales de un manejo inadecuado de residuos sólidos (Sánchez-Arias et al., 2019). Este estudio demuestra que la visión comunitaria no es simplemente subjetiva, sino que puede reflejar con precisión fallas reales en la gestión técnica y ambiental de rellenos sanitarios.

Pregunta N.-4

¿Ha notado presencia de malos olores provenientes del relleno sanitario?

Figura 17. Presencia de malos olores percibidos por la población aledaña al relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

Los malos olores fueron reportados como un impacto recurrente, principalmente de manera ocasional, aunque también se mencionaron casos constantes. Este hallazgo confirmó la existencia de emisiones de gases, por ende, se entiende que existen deficiencias en la cobertura diaria de residuos.

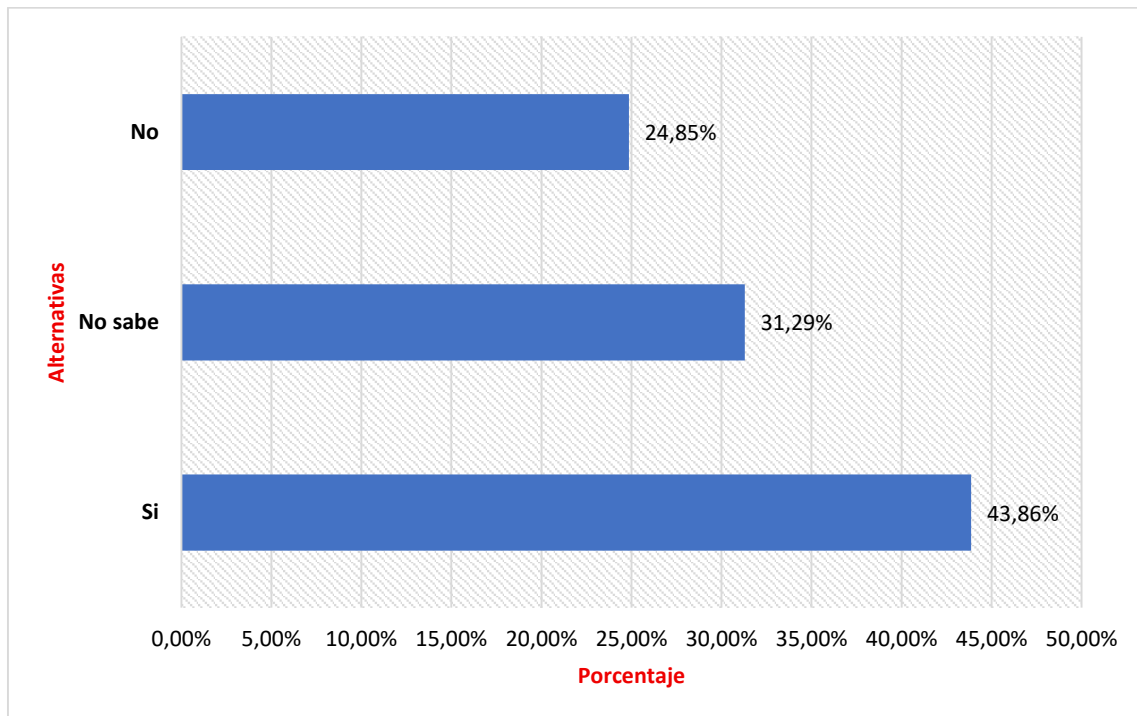
Técnicamente, los olores provenientes de rellenos sanitarios están asociados a la descomposición anaerobia de residuos orgánicos, generando gases como sulfuro de hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles, especialmente cuando la cobertura diaria y el manejo de residuos no son óptimos, estos compuestos se liberan en momentos particulares, por ejemplo, cuando se remueve o expone la celda de disposición. En el estudio realizado en Neiva (Huila, Colombia), los habitantes reconocieron los malos olores como una de las problemáticas ambientales más significativas en las zonas cercanas al relleno sanitario, asociándolos con la contaminación del aire y otros efectos percibidos en su entorno (Valdes-López et al., 2023). Lo que explica que la percepción sea ocasional pero recurrente, este fenómeno impacta

directamente la calidad de vida de la población cercana, generando molestias, estrés ambiental y una sensación constante de incomodidad.

Pregunta N.-5

¿Considera que el relleno sanitario afecta la calidad del aire en su comunidad?

Figura 18. Afectación del relleno sanitario a la calidad del aire.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos evidencian que un porcentaje significativo de la población considera que el relleno sanitario afecta la calidad del aire en su comunidad, mientras que otro grupo manifiesta desconocimiento o niega dicha afectación. La percepción de afectación al aire está directamente vinculada a la emisión de gases producto de la descomposición de residuos orgánicos, así como a las actividades operativas que implican reposición y exposición de residuos. Estas emisiones no se distribuyen de manera uniforme, ya que factores como la distancia de las viviendas al relleno, la dirección y velocidad del viento, las condiciones climáticas y los horarios de operación influyen en la intensidad con la que el impacto se percibe.

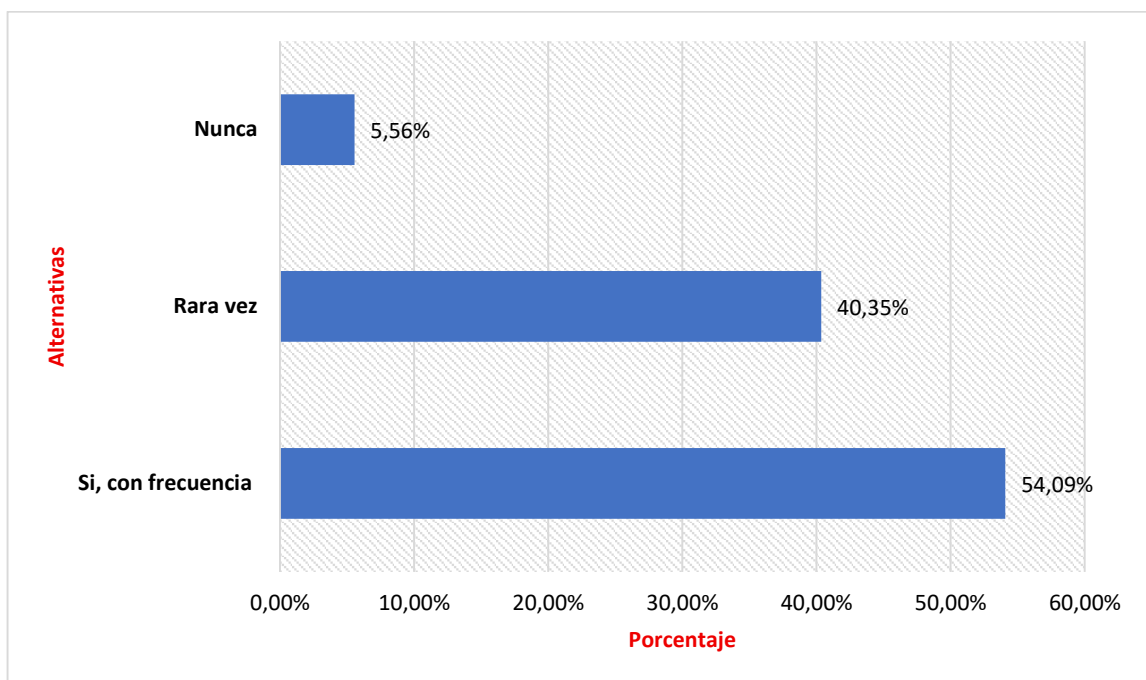
Por otra parte, el porcentaje de habitantes que manifiesta desconocimiento pone en evidencia una limitada información ambiental y ausencia de datos técnicos accesibles, lo que dificulta que

la población identifique con claridad la magnitud real del impacto. Esta situación resalta la necesidad de implementar programas de monitoreo de calidad del aire, que permitan obtener información objetiva y continua, fortaleciendo tanto la gestión ambiental como la comunicación con la comunidad.

Pregunta N.-6

¿Ha observado presencia de animales (aves, perros, roedores, etc.) cerca del relleno sanitario?

Figura 19. Presencia de animales cerca del relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

La presencia constante de aves, perros y roedores están estrechamente relacionada a la exposición de residuos orgánicos, la cobertura diaria insuficiente y la falta de control de accesos. Estas condiciones favorecen la disponibilidad de alimento, lo que convierte al relleno sanitario en un punto de atracción para la fauna oportunista. Desde una perspectiva ambiental, este fenómeno evidencia limitaciones en el manejo de disposición final de los residuos.

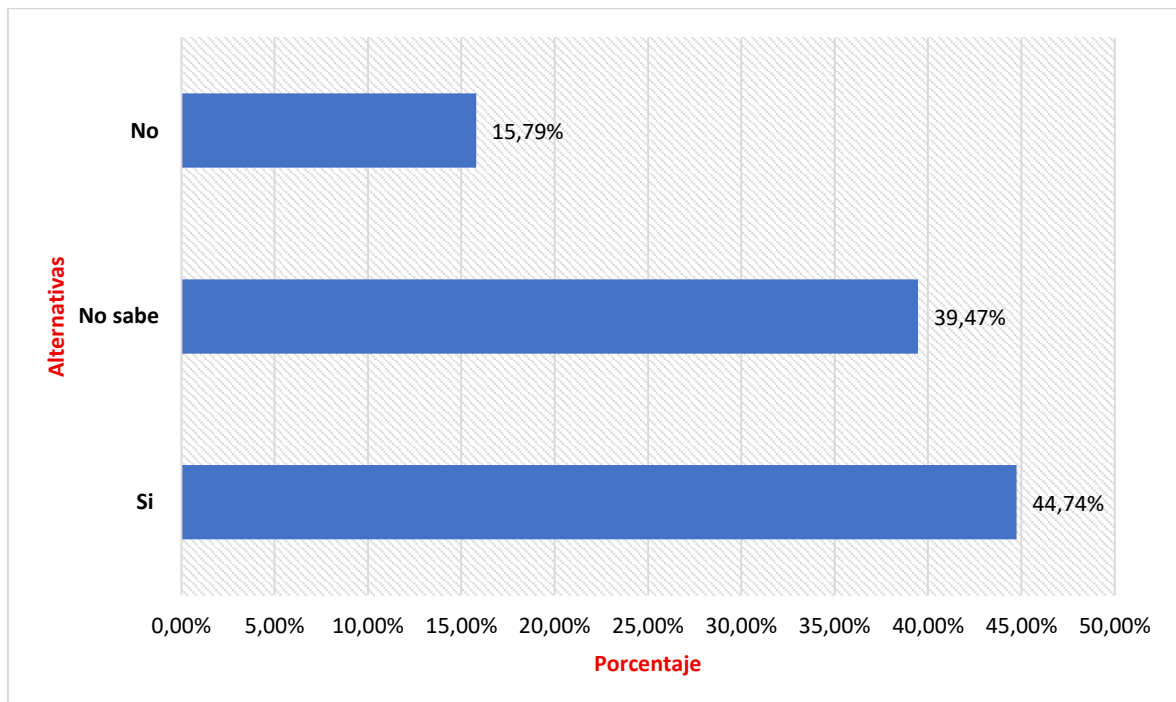
Además del riesgo sanitario, la presencia de animales genera impactos ambientales secundarios, como la dispersión de residuos fuera del área de disposición, alteración del entorno natural y afectación a la percepción paisajística del área. Debido a que la fauna actúa como un vector de transporte de contaminantes, ampliando el área de influencia del impacto. En este contexto, la

percepción comunitaria coincide con lo esperado en rellenos sanitarios que no cuentan con un manejo operativo eficiente, particularmente en lo relacionado con la cobertura diaria de residuos y el control de accesos. Por tanto, este hallazgo refuerza la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible, orientadas al fortalecimiento del control de vectores, mejora de las prácticas operativas y reducción de los riesgos para la salud pública y el entorno ambiental.

Pregunta N.-7

¿Cree que los cuerpos hídricos (ríos, lagos, lagunas) cercanos de la zona podrían estar siendo contaminados por el relleno sanitario?

Figura 20. Posible contaminación de cuerpos hídricos cercanos al relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

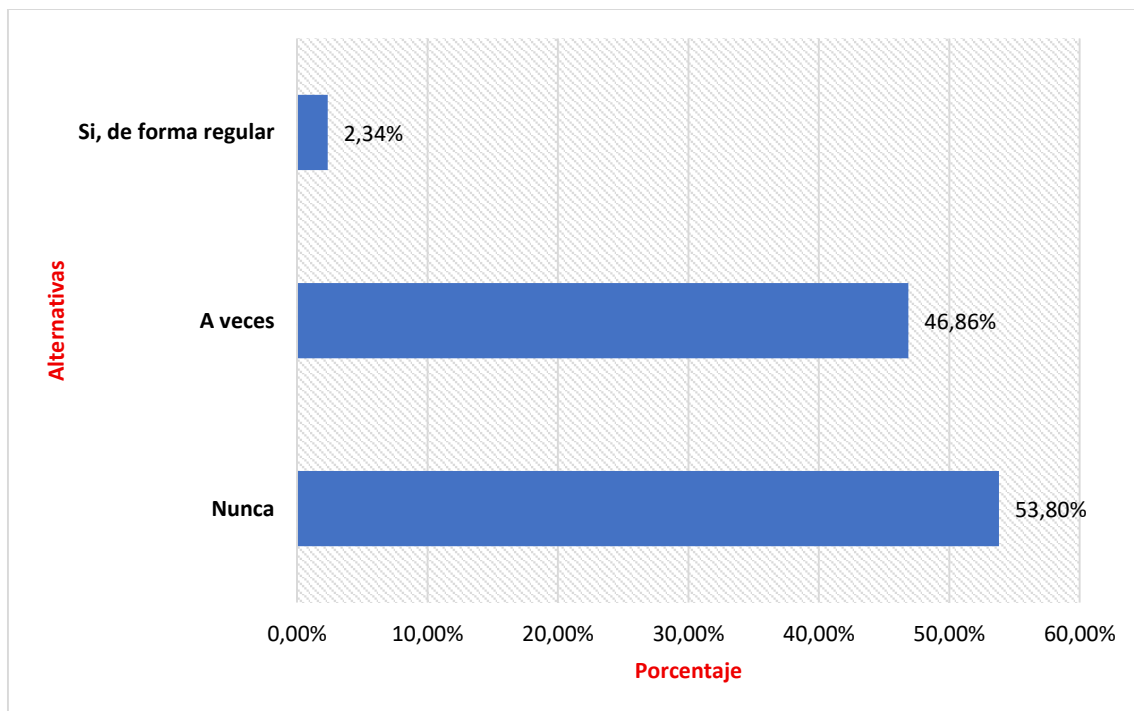
En el área de influencia del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro se registran cuerpos hídricos superficiales, en su investigación (Sánchez Moreano, 2024) detalló la presencia de cinco vertientes naturales y el río Yanayacu ubicado en el sector de Pucará. Estas fuentes constituyen elementos estratégicos para el abastecimiento de agua potable y el sostenimiento de actividades productivas de la zona, por lo que su protección resulta prioritaria desde el punto de vista ambiental y sanitario.

En este contexto, la presencia del relleno sanitario incrementa la vulnerabilidad ambiental de estas fuentes de agua, particularmente frente a riesgos asociados a la filtración de lixiviados y escorrentía superficial. La percepción ciudadana de una posible contaminación de los cuerpos hídricos, reflejada en los resultados de la encuesta, resalta la necesidad de fortalecer el control operativo del relleno sanitario y aplicar estrategias de manejo sostenible con el fin de prevenir impactos negativos sobre los recursos hídricos.

Pregunta N.-8

¿Las autoridades locales realizan visitas o reuniones informativas con la comunidad sobre el manejo del relleno sanitario?

Figura 21. Frecuencia de visitas o reuniones informativas realizadas por las autoridades locales con la comunidad.



Fuente: Elaboración propia

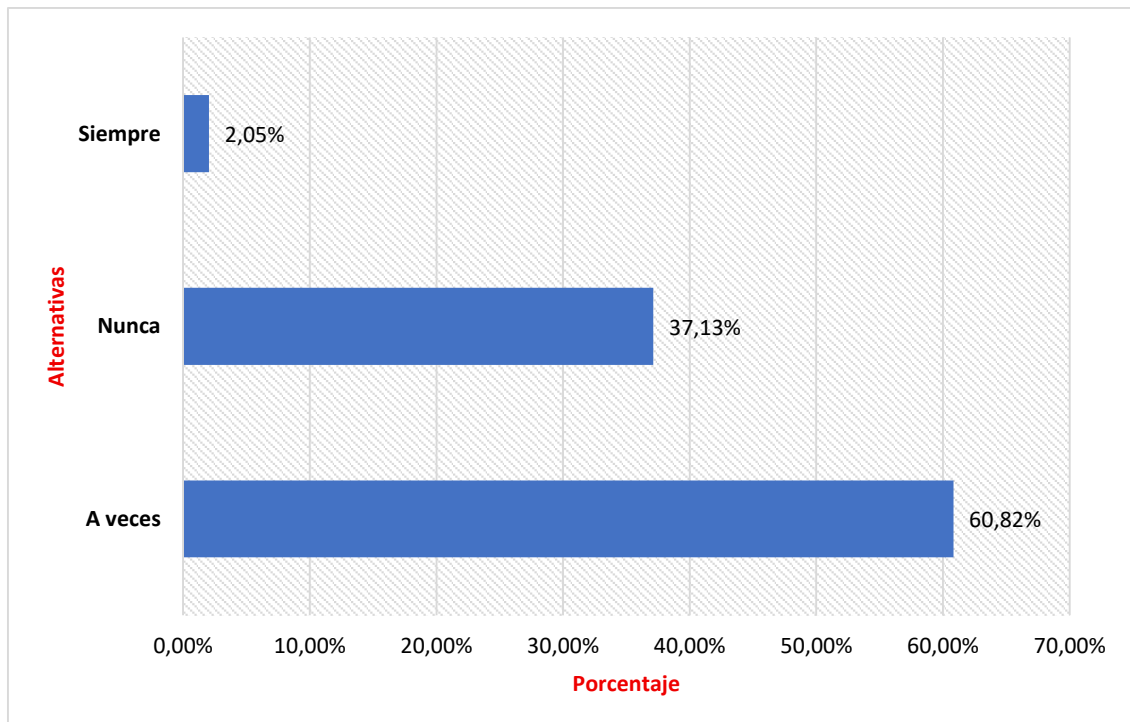
Los resultados obtenidos evidencian una débil y discontinua gestión de comunicación por parte de las autoridades locales. El 53,80% de los encuestados manifestó que nunca se realizan reuniones informativas o vistas, un 46,86% indicó que estas actividades se realizan ocasionalmente y tan solo el 2,34% de la población reconoce la existencia de reuniones informativas realizadas de forma regular. Esta limitada interacción entre autoridades y ciudadanía da a conocer una percepción negativa hacia el manejo del relleno sanitario, ya que

la ausencia de información oportuna genera, desconfianza institucional, incertidumbre y desinformación respecto a los impactos ambientales y sanitarios asociados a la disposición final. Asimismo, la falta de reuniones periódicas restringe que la ciudadanía conozca las medidas de control ambiental implementadas, los resultados de monitoreo o las acciones correctivas ejecutadas.

Pregunta N.-9

¿Considera que la Municipalidad atiende las quejas o preocupaciones de la comunidad respecto al relleno sanitario?

Figura 22. Atención municipal a las quejas y preocupaciones de la comunidad sobre el relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia

La presencia de respuestas negativas y ocasionales (Nunca: 37,13%, A veces: 60,82%) frente a la atención municipal de quejas relacionadas con el relleno sanitario, revela deficiencias estructurales en los mecanismos de gestión institucional, particularmente en lo que respecta a la recepción, procesamiento y resolución de reclamos ambientales.

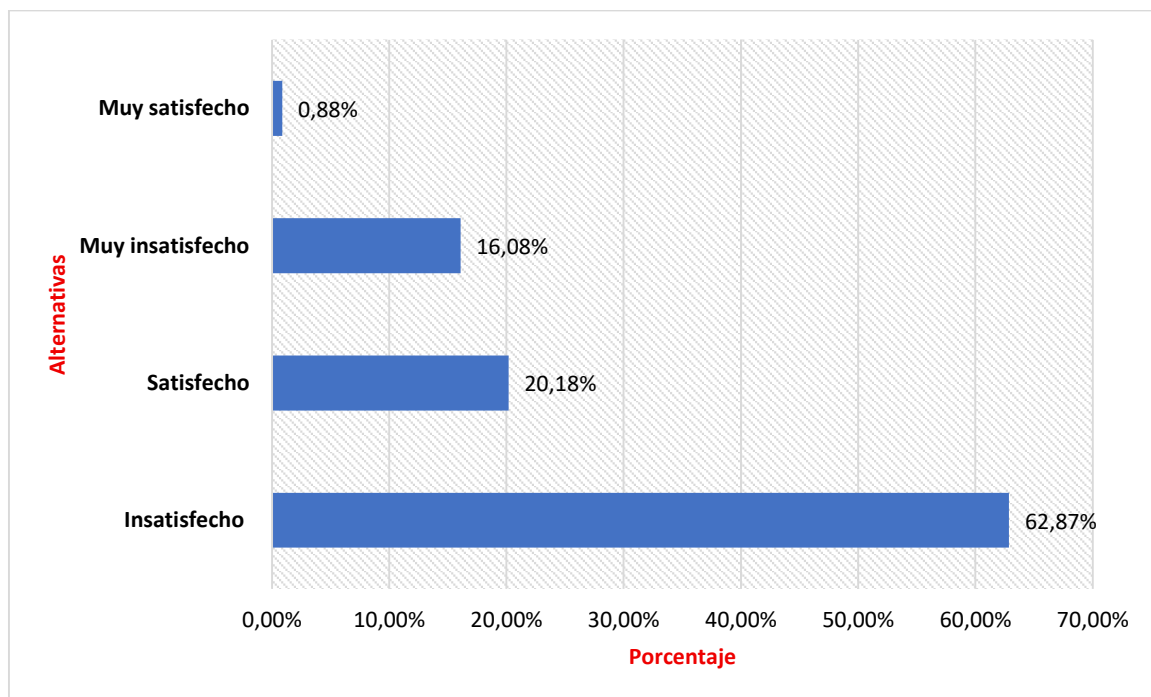
La ausencia de un sistema formalizado de atención ciudadana con protocolos claros, canales accesibles y respuestas inmediatas, limita la capacidad del Gobierno Autónomo

Descentralizado (GAD) para identificar fallas operativas, responder de manera oportuna y generar confianza en la ciudadanía con respecto a la gestión ambiental por parte de la municipalidad. En este contexto, resulta necesario implementar un sistema de gestión de reclamos que articule herramientas digitales, participación comunitaria y seguimiento técnico. Tal estructura permitiría no solo atender inquietudes ciudadanas, sino también integrarlas como insumos para la mejora continua del servicio. Esta implementación permitirá transformar la gestión de reclamos en una herramienta estratégica para un manejo sostenible del relleno sanitario, alineando la acción municipal con las expectativas ciudadanas.

Pregunta N.-10

¿Qué tan satisfecho está con la gestión ambiental del relleno sanitario por parte del Municipio?

Figura 23. Nivel de satisfacción de la población con la gestión ambiental del relleno sanitario por parte del Municipio.



Fuente: Elaboración propia

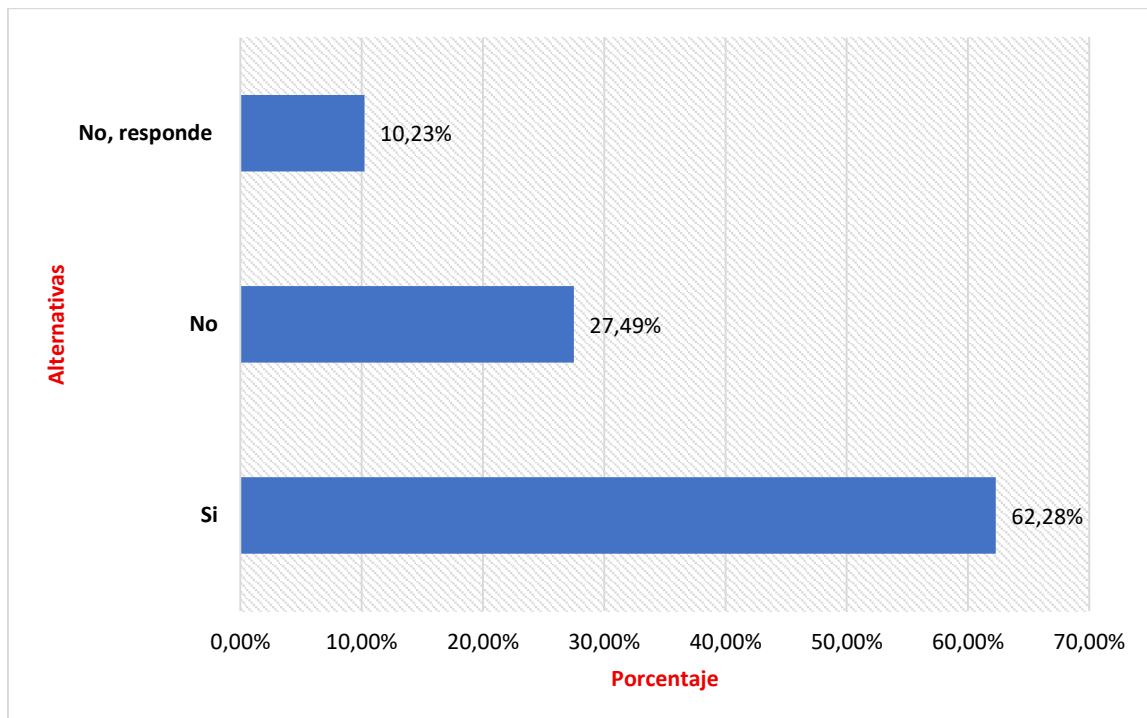
Desde un análisis propio, este bajo nivel de satisfacción puede interpretarse como la consecuencia acumulativa de diversos factores identificados en la investigación, tales como la persistencia de impactos ambientales perceptibles (malos olores, presencia de animales y afectación a la calidad del aire), la insuficiente comunicación y la escasa visibilidad de acciones correctivas implementadas por la autoridad local. Adicionalmente el reducido porcentaje de

personas que manifestaron estar satisfechas o muy satisfechas evidencia que las acciones ejecutadas hasta el momento no han sido suficientes para generar confianza ni aceptación social. Este comportamiento coincide con lo señalado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE), que establece que la falta de planificación técnica, seguimiento ambiental y participación ciudadana en la gestión de residuos sólidos genera percepciones negativas y conflictos socio ambientales en las comunidades cercanas a los rellenos sanitarios.

Pregunta N.-11

¿Cree que el relleno sanitario genera algún riesgo para la salud de las personas que viven cerca?

Figura 24. Percepción de la población sobre los riesgos a la salud.



Fuente: Elaboración propia

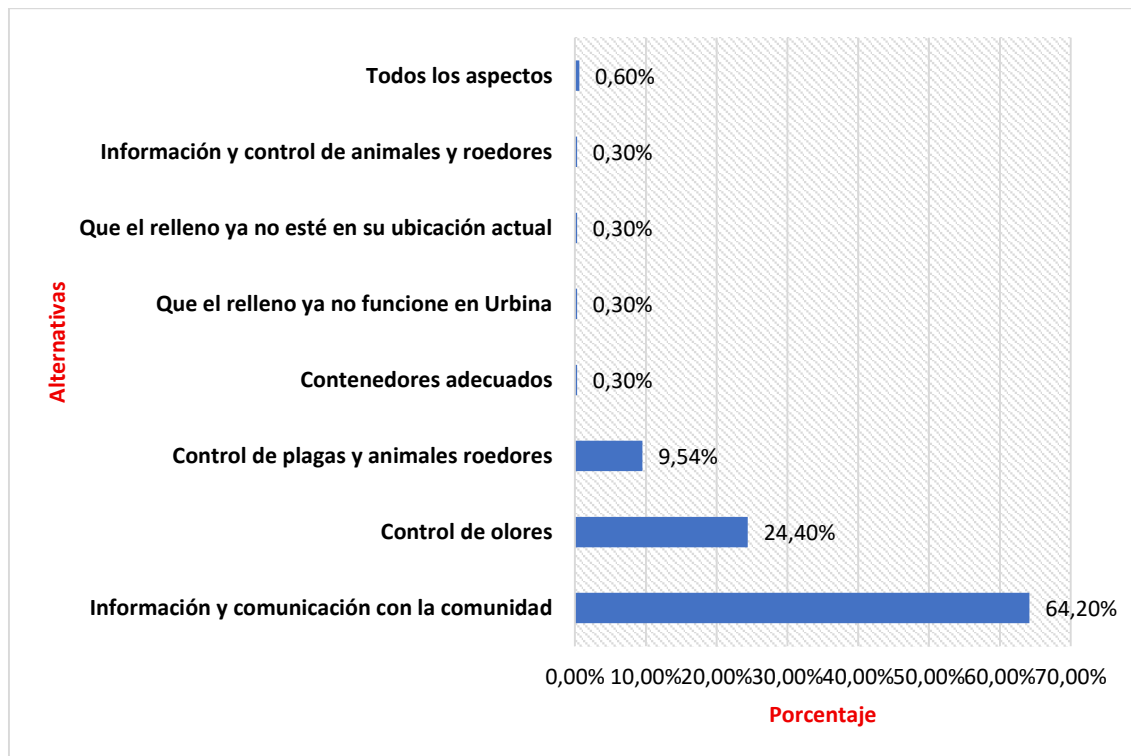
Los resultados obtenidos reflejan una percepción comunitaria crítica respecto al impacto sanitario del relleno, con un 62,28% de los encuestados afirmaron que el sitio de disposición final representa un riesgo para la salud de quienes habitan en sus alrededores (Figura 25). Esta percepción se fundamenta en la presencia de olores desagradables, proliferación de vectores (moscas, roedores, etc.) y la posible exposición a contaminantes atmosféricos y lixiviados.

Estos hallazgos sugieren que el relleno sanitario no cumple adecuadamente con los protocolos de control ambiental, tales como la cobertura de residuos con un material adecuado, el control preliminar de vectores, además de un monitoreo ambiental regular. La ausencia de estas medidas incrementa el riesgo de enfermedades respiratorias, gastrointestinales y dermatológicas en la población, especialmente en grupos vulnerables como niños y adultos mayores.

Pregunta N.-12

En su opinión, ¿qué aspecto debería mejorar la Municipalidad respecto al manejo del relleno sanitario?

Figura 25. Aspectos prioritarios de mejora identificados por la comunidad.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la encuesta reflejan que la principal preocupación de la comunidad respecto al manejo del relleno sanitario recae en la falta de información y comunicación con la comunidad, con un 64,20% de respuestas. Esta cifra revela una demanda ciudadana clara por una mayor transparencia institucional y participación activa. En segundo lugar, el control de olores concentra el 24,20% de las respuestas, lo que evidencia una afectación directa en la calidad de vida de los habitantes. Otros aspectos con el control de plagas y animales roedores

(9,54%) y una serie de preocupaciones puntuales (contenedores adecuados, ubicación del relleno, etc.) aparecen con porcentajes inferiores al 1%, pero no por ello menos relevantes.

Este panorama confirma que las mejoras necesarias no se limitan únicamente hacia aspectos técnicos, sino también abarcan dimensiones sociales y comunitarias. La gestión del relleno sanitario debe evolucionar hacia un modelo integral que combine, soluciones operativas para mitigar impactos ambientales, estrategias de comunicación efectiva entre la Municipalidad y la comunidad y mecanismos participativos.

Tabla 4. Identificación y análisis de impactos ambientales generados por el relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.

Componente Ambiental	Actividad Generadora	Impacto ambiental identificado	Descripción del impacto (causa y efecto)
Aire	Disposición y descomposición de residuos orgánicos.	Emisiones de gases de efecto invernadero	La descomposición anaeróbica de los residuos biodegradables de origen vegetal o animal genera gases como metano, dióxido de carbono y compuestos sulfurados (Calderón-Márquez, 2023). La ausencia de sistemas de captación de biogás y la cobertura con un material adecuado favorecen la liberación directa de estos gases a la atmósfera, afectando la calidad del aire.
Aire	Operación diaria del relleno sanitario y tránsito vehicular.	Emisión de material particulado y polvo.	El tránsito constante de maquinaria pesada y vehículos recolectores sobre superficies sin pavimentar genera material particulado suspendido, especialmente en época seca. Este polvo puede transportar contaminantes t afectar la calidad del aire local, incrementando riesgos respiratorios en trabajadores y comunidades cercanas.
Agua superficial	No existe un tratamiento de lixiviados antes de su descarga	Riesgo de contaminación de cuerpos hídricos.	La generación de lixiviados producto de la infiltración de agua lluvia a través de los residuos puede provocar arrastre de materia orgánica y otros contaminantes como metales pesados y patógenos. La falta de un sistema integral de recolección y tratamiento, incrementa la probabilidad de contaminación a ríos, vertientes y quebradas cercanas.
Flora	Ocupación del área del relleno.	Proliferación de vectores y fauna nociva.	La exposición de residuos orgánicos atrae fauna oportunista como aves, perros, roedores, alterando el equilibrio ecológico y generando riesgos sanitarios y ambientales.

Paisaje	Presencia visible de residuos y celdas de disposición.	Alteración del paisaje natural	Residuos acumulados, maquinaria y celdas expuestas modifican negativamente la visualidad del entorno, generando un impacto paisajístico adverso. Este efecto se intensifica por la falta de barreras vegetales.
Salud humana	Exposición a olores, vectores y contaminación.	Afectación a la calidad de vida de la población aledaña.	La exposición a olores desagradables, material particulado, fauna nociva y posibles contaminantes genera molestias, estrés ambiental y enfermedades respiratorias las cuales afectan a la calidad de vida de la población.

Nota: Impactos ambientales identificados, con base en los resultados de encuesta, visitas de campo y revisión bibliográfica. **Fuente:** Elaboración Propia

La operación del relleno sanitario provoca efectos negativos hacia el ambiente, esta afectación evidencia una relación directa entre las actividades operativas y las respuestas obtenidas al momento de realizar las encuestas tanto al personal técnico como a la población aledaña. Tal como se detalla en la Tabla 5, los impactos se concentran principalmente en los componentes aire, agua, paisaje y salud humana, lo que confirma que el manejo actual del sitio presenta limitaciones en términos de sostenibilidad ambiental. En el componente aire, la disposición y descomposición de residuos orgánicos constituye la principal actividad que genera impactos, los resultados de las encuestas aplicadas a la población aledaña muestran una molestia recurrente de malos olores, lo cual se relaciona con la generación de gases producto de la descomposición anaeróbica de los residuos dispuestos. Esta situación seguirá afectando a la población ya que, no existe un sistema de captación de biogás y por la deficiencia en la cobertura de residuos. Adicionalmente la operación diaria del relleno y el tránsito constante de maquinaria y vehículos recolectores generan la presencia de polvo suspendido en la atmósfera, especialmente en época seca, lo que fue identificado mediante la observación directa como por la percepción ciudadana.

Respecto al componente agua, el manejo inadecuado de lixiviados genera riesgo de contaminación de cuerpos hídricos. Este impacto adquiere especial relevancia considerando la presencia de vertientes naturales y cuerpos de agua cercanos al área de influencia, los resultados de la encuesta a la población reflejan una posible contaminación hídrica, lo cual se sustenta en la falta de sistemas de tratamiento y recolección de lixiviados ya que su manejo se limita únicamente a mecanismos básicos de recolección, tal como lo indicaron los operarios y el técnico responsable. En el componente suelo, la disposición continua de residuos y la posible infiltración de lixiviados generan alteraciones en sus características físico-químicas lo cual compromete su estabilidad, fertilidad y su uso futuro. Si bien este impacto no siempre es percibido de manera directa por la población este efecto ambiental es relevante, ya que actúa como vía de transferencia de contaminantes hacia aguas subterráneas y ecosistemas.

Desde el punto de vista paisajístico, la presencia visible de residuos, celdas de disposición y maquinaria pesada genera una alteración negativa en el paisaje natural. Esta percepción refuerza la inconformidad de la comunidad con respecto al manejo del sitio, tal como se refleja en los bajos niveles de satisfacción manifestados por la población respecto a la gestión ambiental municipal. Finalmente, todos estos impactos se inclinan hacia el componente de salud humana, considerándose uno de los más sensibles, la exposición a malos olores, material particulado y

vectores fue identificada por más del 60% de los encuestados como un riesgo para la salud, lo que evidencia una afectación directa a la calidad de vida de la población aledaña. En conjunto la identificación de los impactos ambientales demuestra que estos no actúan de manera aislada, sino que se encuentran interrelacionados y responden a deficiencias operativas y de gestión. esta situación refuerza la necesidad de implementar estrategias orientadas a un manejo sostenible, que integren mejoras técnicas, fortalecimiento del control ambiental y una mejor vinculación de la Municipalidad con la población.

14. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De manera global, los resultados obtenidos a partir de las encuestas aplicadas tanto a la población aledaña como a los operarios y al técnico responsable del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro evidencia una brecha significativa entre el cumplimiento formal de la normativa ambiental y la percepción ciudadana, así como la realidad operativa del manejo del sitio. Si bien la infraestructura cuenta con los permisos ambientales requeridos y cumple con determinados requisitos legales, estas condiciones no se reflejan en el manejo adecuado y sostenible del relleno sanitario.

La existencia de una licencia ambiental vigente refleja un cumplimiento formal de lo dispuesto por la normativa ecuatoriana; no obstante, como señalan Cañarte-Sarango & Castillo-Ortega (2023) en su estudio sobre los factores correlacionales de un relleno sanitario sostenible en Arenilla-Ecuador, la sola presencia de este instrumento no garantiza una gestión integral si no se implementan de manera efectiva los procesos de monitoreo y control ambiental. En el caso de Píllaro, la licencia proporciona un marco legal para la operación del relleno, pero no se ve reflejada en la aplicación de prácticas técnicas avanzadas; esta situación coincide con lo reportado por Loor Velez (2024) en su investigación titulada “*Evaluación de impacto ambiental del relleno sanitario del cantón Paján*”, donde se identificó que la operación del sitio se mantenía en un nivel básico a pesar de contar con la autorización ambiental correspondiente.

La implementación de prácticas de compostaje de la fracción orgánica no solo permitiría disminuir de manera significativa el volumen de residuos enviados a rellenos sanitarios, lo que prolongaría su vida útil. Al mismo tiempo, este proceso ayudaría a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en particular el metano generadas por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en dichos sitios. El compostaje además, facilita la reincorporación de nutrientes al suelo, optimizando su estructura, fertilidad y capacidad de

retención hídrica, y reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos, respetando los principios de la economía circular y la gestión sostenible de desechos (Manea et al., 2024).

En relación con el manejo de lixiviados, los resultados indican que se utilizan drenajes y canaletas, lo cual constituye un mecanismo básico que no asegura un manejo integral. La literatura especializada indica que un manejo adecuado de los lixiviados requiere sistemas de captación eficientes y barreras impermeables para evitar la infiltración al suelo, así como tratamientos físico-químicos y biológicos previos a su descarga. Sin un control técnico adecuado, los lixiviados pueden alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y del agua, incrementando los impactos ambientales negativos asociados a la disposición final de residuos (Yaashikaa et al., 2022). Estos hallazgos evidencian la necesidad de incorporar estrategias de manejo sostenible, orientadas a la mejora de la infraestructura de contención y tratamiento de lixiviados.

Asimismo, el seguimiento ambiental vinculado a la gestión de estos líquidos presenta limitaciones técnicas. La frecuencia anual de monitoreo resulta insuficiente para evaluar de manera oportuna las afectaciones generadas. Estudios como el de Janas & Zawadzka (2019) recomiendan monitoreo trimestrales para parámetros de calidad de agua y controles mensuales o continuos para lixiviados y gases, con el fin de identificar posibles eventos de contaminación. Esta diferencia entre la práctica local y las recomendaciones científicas evidencia una debilidad técnica que limita la toma de decisiones preventivas.

La compactación diaria de los residuos se destaca por ser una práctica positiva que contribuye a la estabilidad del relleno y al control de vectores. No obstante, el uso exclusivo de tractor oruga y la aplicación de capas de residuos superiores a los 50 cm antes de la compactación se alejan de los parámetros técnicos establecidos en el TULSMA. De igual manera el empleo de tierra arenosa como material de cobertura, aunque responde a la disponibilidad local, presenta limitaciones técnicas debido a su falta de permeabilidad. Al respecto, (Pineda, 2020) concluye que este tipo de material no garantiza un sellado adecuado, lo que coincide con los problemas de olores y proliferación de vectores reportados por la comunidad aledaña.

La valorización crítica de los habitantes cercanos al relleno sanitario confirma que los problemas identificados no son aislados, sino que se repiten en otra localidad de Ecuador. En Pillaro, la población señaló la presencia de malos olores, proliferación de vectores, afectación

a la calidad del aire y riesgos para la salud, además de una marcada insatisfacción con la gestión municipal y la falta de información. De manera similar, (Llor Velez, 2024) evidenció que en Paján la comunidad percibía deficiencias en la gestión de los residuos y escasa comunicación institucional, lo que generaba desconfianza hacia las autoridades locales.

En cuanto a la identificación de impactos ambientales, la Tabla 5, permitió evidenciar que los efectos se concentran en los componentes aire, agua, suelo y salud humana. La emisión de olores desagradables se posicionó como una de las manifestaciones más significativa, coincidiendo con la percepción de la población aledaña. Este resultado coincide con lo señalado por Ambuludi-Paredes et al. (2022), quienes indican que las molestias odoríferas representan uno de los factores de mayor conflictividad social en los rellenos sanitarios. De igual manera, se evidenció el riesgo de deterioro de cuerpos de agua superficiales, atribuible a la generación de lixiviados y a la falta de tratamiento adecuado, lo cual coincide con lo señalado por Cruz Proaño (2020), quien identifica la contaminación hídrica como una de las consecuencias más críticas de una gestión deficiente de residuos sólidos. Finalmente, las alteraciones al paisaje y la calidad de vida de la población demuestran que la problemática trasciende el ámbito técnico, involucrando dimensiones sociales y perceptuales.

El pesaje y registro diario de los residuos constituye un aspecto positivo, ya que permite mantener un control técnico sobre los volúmenes ingresados. Sin embargo, la ausencia de procesos de aprovechamiento, como el reciclaje o el compostaje, limita la vida útil del relleno sanitario y contradice los principios de la jerarquía de gestión de residuos. En este sentido, Ramírez Pacheco et al. (2025), en su propuesta de diseño del relleno sanitario, destacan que la sostenibilidad de estos sistemas depende estrictamente de la incorporación de procesos de separación y reciclaje desde la fuente. De manera similar, en el relleno sanitario de Santiago de Píllaro, la ausencia de estas prácticas confirma la problemática identificada en la investigación, evidenciando que el control del ingreso de residuos, por sí solo, resulta insuficiente para garantizar un manejo sostenible. En este contexto, los resultados obtenidos respaldan la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible que integren acciones técnicas, ambientales y sociales, tal como se plantea en la propuesta del presente proyecto.

15. PROPUESTA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

15.1. Fundamentación de la Propuesta

La propuesta de estrategias se fundamenta en los resultados obtenidos a partir del diagnóstico técnico, ambiental y social del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro, los cuales evidencian deficiencias significativas en el manejo de residuos sólidos. Entre los principales problemas identificados se destacan la generación de malos olores, la presencia de vectores, el riesgo para la salud de la población aledaña y las limitaciones en la aplicación de prácticas operativas y ambientales sostenibles, lo cual compromete el desempeño adecuado del relleno sanitario y su aceptación social.

Estas problemáticas se encuentran relacionadas con la escasa separación en la fuente, la inexistencia o limitada implementación de prácticas de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos, así como con debilidades en los procedimientos de compactación, cobertura diaria y control ambiental. La ausencia de estas prácticas incrementa la carga ambiental, acelera la saturación de las celdas de disposición final y favorece la emisión de gases y lixiviados, afectando así la calidad del aire, del suelo y de los recursos hídricos.

Así, el diagnóstico social evidenció una limitada participación ciudadana en la gestión de residuos sólidos, así como un bajo nivel de sensibilización ambiental. Esta situación dificulta la implementación de programas de aprovechamiento y reciclaje, y genera conflictos entre la población y la administración del relleno sanitario, especialmente por la percepción negativa asociada a los impactos ambientales y sanitarios del sitio.

En este contexto, la propuesta se fundamenta en la necesidad de transformar el relleno sanitario en un sistema sostenible, que no solo atienda las deficiencias técnicas y ambientales, sino también incorpore la dimensión social e institucional, asegurando su viabilidad a largo plazo.

15.2. Objetivo de la propuesta

15.2.1. Objetivo General

Proponer estrategias integrales para el manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro, con el fin de reducir los impactos ambientales, mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la participación ciudadana en la gestión de residuos sólidos.

15.3. Matriz de estrategias alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Tabla 5. Matriz de estrategias para el manejo sostenible del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro alineadas a los ODS

Problema Identificado	Estrategia Propuesta	ODS Relacionado	Meta de cada ODS	Indicador	Plazo
Disposición final del 100% de residuos sin aprovechamiento	Programa de capacitación a la comunidad sobre separación en la fuente de residuos sólidos Implementación de una Planta Municipal de Clasificación y Valorización de residuos reciclables	ODS 12: Producción y Consumo Responsable	Meta 12.5: Reducir considerablemente la generación de desechos mediante prevención, reducción, reciclaje y reutilización.	Registro de asistencias de las capacitaciones realizadas Porcentaje de material reciclado	12-24 meses
Falta de tratamiento integral de lixiviados	Sistema integral de pretratamiento de lixiviados previo a la descarga a PTAR municipal.	ODS 6: Agua limpia y saneamiento	Meta 6.3: Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación.	❖ Porcentaje de DBO antes de PTAR ❖ Porcentaje de reducción de DQO.	1 – 2 años
Ausencia de un sistema de captación de biogás	Sistema de captación, conducción y almacenamiento temporal de biogás generado en el relleno sanitario.	ODS 13: Acción por el Clima	Meta 13.2: Incorporar medidas relativas al cambio climático.	❖ Porcentaje de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. ❖ Metro cubico de biogás captado por mes	1 – 3 años

Nota. Estrategias elaboradas con base en los resultados del diagnóstico técnico, encuestas comunitarias y análisis de impactos ambientales del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro. **Fuente:** Elaboración propia.

15.4. Estrategia 1: Programa de capacitación a la comunidad sobre separación en la fuente de residuos sólidos

Tabla 6. Estrategia de Gestión Integral de Residuos: Separación en la fuente

Estrategias	Objetivo de la estrategia	Problema que aborda	Actividades	Presupuesto Aproximado
Programa de capacitación a la comunidad sobre separación en la fuente de residuos sólidos	Reducir el volumen de residuos enviados a disposición final mediante la implementación progresiva de capacitaciones comunitarias de separación en la fuente	El 100% de los residuos generados en el cantón Santiago de Pillaro son destinados directamente a disposición final, esta problemática reduce la vida útil del relleno sanitario e incrementa la generación de lixiviados y biogás.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaborar un plan técnico de capacitación orientado a la separación en la fuente. 2. Identificación de barrios priorizados como zona de influencia del relleno. 3. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental comunitaria. 4. Diseño de material educativo como folletos, cartillas y afiches. 5. Elaboración de cronograma anual de capacitaciones. 6. Coordinación con el GAD parroquiales y libres comunitarios. 	150\$

Nota. Estrategia elaborada con base a los resultados del diagnóstico técnico y social del relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro.

Fuente: Elaboración propia.

15.5. Estrategia 2: Implementación de una Planta Municipal de Clasificación y Valorización de residuos reciclables

Tabla 7. Estrategia para la implementación de una planta municipal de clasificación y valorización de residuos reciclables en el cantón Santiago de Pillaro

Estrategias	Objetivo de la estrategia	Problema que aborda	Actividades	Presupuesto Aproximado
Implementación de una Planta Municipal de Clasificación y Valorización de residuos reciclables	Implementar una planta municipal de clasificación y valorización de residuos reciclables que permita reducir el volumen de residuos enviados al relleno sanitario	La inexistencia de aprovechamiento de residuos sólidos en el cantón, provoca que materiales potencialmente reciclables (plástico, metales) sean dispuestos directamente en el relleno sanitario, reduciendo su vida útil y desaprovechando oportunidades económicas y ambientales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evidenciar la existencia de residuos reciclables. 2. Identificación del terreno municipal disponible. 3. Elaboración del diseño arquitectónico básico. 4. Gestión de permisos ambientales. 5. Construcción de galpón 6. Instalación del sistema eléctrico 7. Adquisición e instalación de maquinaria (banda transportadora de clasificación, prensa hidráulica vertical para cartón y plástico, balanza digital) 8. Contratación o formalización de recicladores 9. Capacitación a los recicladores sobre clasificación de residuos. 10. Implementación de sistema de registro de volúmenes 	130.000\$

Nota. Estrategia elaborada con base a los resultados del diagnóstico técnico y social del relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro.

Fuente: Elaboración propia

15.6. Estrategia 3: Sistema integral de pretratamiento de lixiviados previo a la descarga a PTAR municipal.

Tabla 8. Estrategia para la implementación del sistema integral de pretratamiento de lixiviados

Estrategias	Objetivo de la estrategia	Problema que aborda	Actividades	Presupuesto Aproximado
Sistema integral de pretratamiento de lixiviados previo a la descarga a PTAR municipal.	Implementar un sistema técnico de pretratamiento que permita reducir la carga contaminante de los lixiviados generados en el relleno sanitario antes de su descarga a la planta de tratamiento municipal.	El relleno sanitario cuenta con un sistema básico de drenaje de lixiviados, sin un tratamiento previo a su descarga hacia la planta de tratamiento, lo que puede generar sobrecarga hidráulica y orgánica, incremento de costos operativos y un riesgo potencial de contaminación de cuerpos de agua.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una caracterización físico-química de lixiviados como DBO, DQO, SST, pH 2. Capacitación al personal técnico 3. Determinación del caudal promedio generado 4. Estudiar y determinar la dimensión preliminar 5. Elaborar los planos hidráulicos 6. Calculo de tiempos de retención hidráulica 7. Diseño estructural de tranques impermeabilizados 8. Construcción de tanque de ecualización 9. Instalación de un reactor anaerobio 10. Implementación de humedal artificial 11. Instalación de sistema de control y válvulas 	18.000\$

Nota. Estrategia elaborada con base a los resultados del diagnóstico técnico y social del relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro.

Fuente: Elaboración propia.

15.7. Estrategia 4: Sistema de captación, conducción y almacenamiento temporal de biogás generado en el relleno sanitario.

Tabla 9. Estrategia técnica de captación, manejo y almacenamiento de Biogás

Estrategias	Objetivo de la estrategia	Problema que aborda	Actividades	Presupuestos Aproximado
Sistema de captación, conducción y almacenamiento temporal de biogás generado en el relleno sanitario.	Implementar un sistema técnico de captación, conducción y almacenamiento temporal de biogás que permita reducir emisiones de gases de efecto invernadero, mejor el control ambiental del relleno sanitario y fortalecer la sostenibilidad del sistema de disposición final	El relleno sanitario del cantón no cuenta con un sistema de captación de biogás, lo que provoca liberación directa de metano a la atmosfera, esta situación contribuye al cambio climático, genera malos olores.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una estimación de la generación de biogás (m³/mes) 2. Evaluar el estado de las celdas de disposición final 3. Estudio preliminar de la presión interna del relleno 4. Capacitación al personal técnico 5. Diseño de ubicación y número de pozos de captación 6. Cálculo de diámetro y pendiente de tuberías 7. Diseño del sistema de quema controlada 8. Perforación e instalación de pozos de captación y red de conducción 	135.000\$

Nota. Estrategia elaborada con base a los resultados del diagnóstico técnico y social del relleno sanitario del cantón Santiago de Pillaro.

Fuente: Elaboración propia

16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

16.1. Conclusiones

La investigación permitió evidenciar que el relleno sanitario del cantón Santiago de Píllaro presenta prácticas operativas que cumplen de manera parcial con los criterios técnicos establecidos para la gestión adecuada de los residuos sólidos. Entre los aspectos positivos se identifican actividades como la compactación diaria de los residuos y la disposición controlada de los mismos; no obstante, se constató la existencia de limitaciones técnicas y operativas en componentes clave del sistema, particularmente en el manejo de lixiviados, el control ambiental y el aprovechamiento de la fracción orgánica, lo que reduce la eficiencia de la gestión ambiental y potencia su impacto en el entorno.

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas, observaciones de campo y revisión documental evidencian que los principales impactos ambientales generados por el relleno sanitario están asociados con la contaminación de suelos y los cuerpos hídricos superficiales y subterráneos, así como con la emisión de olores desagradables y la presencia de vectores. Estos factores representan riesgos tanto para la salud pública de las poblaciones aledañas como para la calidad del entorno natural, especialmente en ausencia de sistemas de control y monitoreo ambiental continuo y técnicamente estructurado.

La formulación de estrategias de manejo ambiental propuesta en la presente investigación se constituye como una herramienta técnica viable y pertinente para mejorar la gestión del relleno sanitario. Dichas estrategias integran acciones orientadas a la optimización de las prácticas operativas, la prevención y reducción de impactos ambientales, el fortalecimiento institucional y la participación ciudadana, así como la implementación de alternativas sostenibles como el compostaje de residuos orgánicos. Su aplicación progresiva permitirá no solo disminuir la presión ambiental sobre el relleno sanitario, sino también contribuir a la sostenibilidad del sistema de gestión de residuos sólidos a nivel cantonal.

16.2. Recomendaciones

Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Santiago de Píllaro fortalecer la gestión integral del relleno sanitario mediante la implementación progresiva y planificada de las estrategias de manejo ambiental propuestas en esta investigación. En particular se sugiere priorizar acciones orientadas al control de olores, al manejo adecuado de

la fracción orgánica de los residuos, a la reducción de impactos ambientales significativos y al fortalecimiento de los mecanismos de comunicación y atención ciudadana, con el fin de mejorar la eficiencia operativa del relleno sanitario y reducir los conflictos socio ambientales asociados a su funcionamiento.

A la dirección de Gestión Ambiental del GAD Municipal del cantón Santiago de Píllaro, se recomienda desarrollar y ejecutar programas permanentes de educación y sensibilización ambiental dirigidos a la población urbana y rural, al personal operativo del relleno sanitario y a las instituciones públicas. Estos programas deben enfocarse en fomentar la separación de residuos en la fuente, el aprovechamiento de materiales reciclables y orgánicos, y la corresponsabilidad ciudadana en la gestión integral de los residuos sólidos, contribuyendo así a la reducción del volumen de residuos dispuestos y al fortalecimiento de una cultura ambiental sostenible en el cantón.

Finalmente, se recomienda a las instituciones académicas y a los centros de investigación, en coordinación con el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Santiago de Píllaro, desarrollar estudios complementarios que evalúen la factibilidad técnica, económica y ambiental del aprovechamiento energético del biogás generado en el relleno sanitario. La realización de este tipo de investigaciones permitiría analizar alternativas de valorización energética que aporten a la sostenibilidad del sistema de gestión de residuos sólidos y complementen los hallazgos obtenidos en el presente estudio, generando información técnica relevante para la toma de decisiones a mediano y largo plazo.

17. BIBLIOGRAFÍA

- Ambuludi-Paredes, R. R., Carvajal-Padilla, V. P., Diéguez-Santana, K., Ambuludi-Paredes, R. R., Carvajal-Padilla, V. P., & Diéguez-Santana, K. (2022). Estimación de gas metano mediante el modelo LandGEM del relleno sanitario municipal de residuos sólidos de Patate-Pelileo, Tungurahua, Ecuador. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(1), 67-78. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5413>
- Bedoya, S. M. (2023). Reflexiones frente a los rellenos sanitarios en Colombia: Impacto, tratamiento y pautas para la mitigación de los daños ambientales. *Revista Jurídica Mario Alario D'Filippo*, 15(30), 277-288.
- Bermeo Collaguazo, C. N. (2024). *Diseño de un relleno sanitario manual en la parroquia Sidcay de la ciudad Cuenca, provincia del Azuay*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/60730>
- Caiza Suárez, K. N. (2024). *Análisis multicriterio para la ubicación de un relleno sanitario de residuos sólidos en el cantón La Maná provincia de Cotopaxi*. <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/76715>
- Calderón-Márquez, A. J. (2023). Biogas utilization from municipal solid waste in developing countries towards the transition to sustainable development—The Colombian case. *DYNA*, 90(227), 147-156.
- Camacho Muncha, R. E. (2019). *Diseño y construcción de una máquina compactadora de residuos sólidos para la empresa Curtiembre Quisapincha* [bachelorThesis, Quito, 2019.]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20073>
- Cañarte, R., & Castillo, Y. (2023). Factores correlacionales de un sistema de relleno sanitario sostenible y sustentable en Arenillas – Ecuador. *MQRInvestigar*, 7(1), 3033-3047. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.3033-3047>
- Cañarte-Sarango, R. B., & Castillo-Ortega, Y. (2023). Factores correlacionales de un sistema de relleno sanitario sostenible y sustentable en Arenillas – Ecuador. *MQRInvestigar*, 7(1), 3033-3047. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.3033-3047>
- Castro, G. O., & Rivera, R. J. C. (2022). Políticas públicas, gestión de residuos sólidos municipales y sostenibilidad ambiental. Una revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 12258-12278. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4253

- Cedeño, M. E., & García, H. J. (2022). *GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN EL CARMEN* [bachelorThesis, Jipijapa-Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4347>
- Cervantes Mamani, J. A. (2025). Gestión de los residuos sólidos y el desarrollo sostenible en el Distrito de Pilcuyo, Provincia de El Collao—Puno, 2025. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891/1338>
- Correal, M., Faleiro, C., Piamonte, C., Rihm, A., & Zambrano, M. (2023). Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *IDB Publications*. (América Latina y el Caribe). <https://doi.org/10.18235/0004797>
- Cortés Medina, D. R. (2011). *El proceso de reciclaje y su impacto socio-económico en la parroquia presidente Urbina del cantón Pillaro*. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1948>
- Cruz Proaño, M. A. (2020). *Elaboración de un manual de gestión integral de residuos sólidos en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2019-2020*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6660>
- Elaboración de un manual de gestión integral de residuos sólidos en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2019-2020*. (2020). <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6660>
- Guerra Herrera, G. C. (2014). *Plan de manejo de residuos sólidos para la cabecera cantonal de Santiago de Pillaro*. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3155>
- Heredia-García, K. E., Quevedo-Narváez, A. A., & Zafra-Escobar, A. J. C. (2022). A look at the management of municipal solid waste in Latin America. A systematic review. *Journal of Positive School Psychology*, 6(2s), 245-255.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Ecuador—Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2023, Gestión de Residuos Sólidos—Información general*. https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/1095/overview?utm_source=chatgpt.com
- Janas, M., & Zawadzka, A. (2019). Assessment of the Monitoring of an Industrial Waste Landfill. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 25(4), 659-669. <https://doi.org/10.1515/eces-2018-0044>

- Jiménez Molina, M. A. (2023). *Desarrollo de un modelo de economía circular para la industria de plásticos reciclables en el cantón Latacunga*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10659>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Loor Velez, M. F. (2024). "EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN PAJÁN" [bachelorThesis, Jipijapa - Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6187>
- Lozano Orna, E. P. (2022). *Propuesta de aprovechamiento de la fracción orgánica putrescible de los residuos urbanos de la parroquia Yaruquíes de la ciudad de Riobamba como un mejorador de suelos mediante vermicompostaje*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57458>
- Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., Nicolescu, C. M., Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements. *Sustainability*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/su16156329>
- Molina-Cárdenas, J. F. (2025). Evaluación del impacto del proyecto de clasificación y reciclaje, en la reducción de residuos sólidos en el relleno sanitario del Cantón Azogues. *MQRInvestigar*, 9(1), e105-e105. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e105>
- Moya Alvarez, G. A. (2013). *Proyecto de inversión para el manejo de desechos sólidos en el cantón Pillaro provincia de Tungurahua*. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- Murillo, E. M., & Cano, D. G. (2021). Los costos ambientales frente al desarrollo sostenible de las empresas. *Adversia*, (26), 1-10.
- Nieto Cañarte, C. A., Vélez Ruiz, M. C., Jiménez Icaza, M. G., & Sinchi Rivas, C. A. (2024). Análisis territorial multitemporal del crecimiento de los centros poblados rurales del cantón Santiago de Pillaro, Ecuador. *Reincisol.*, 3(6), 60-87. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)60-87](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)60-87)
- Pineda, J. A. (2020, noviembre 20). Suelos Arenosos. *Encolombia.com | Plataforma de Comunicación Digital*. <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-arenosos/>
- Pozo Cruz, B. D., & Rengifo Garcia, M. A. (2023). *Manejo de residuos sólidos mediante la implementación de un relleno sanitario y la utilización de gestores de desechos en la*

cabecera cantonal de Santa Elena, Ecuador.
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9217>

- Ramírez Pacheco, S. B., Ojeda Olivares, A. X., & Santos Baquerizo, E. A. (2025). *Diseño de un relleno Sanitario para la gestión segura de residuos sólidos urbanos en la parroquia Anconcito cantón Salinas provincia Santa Elena* [Thesis, ESPOL.FICT].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/65916>
- Rengel Jiménez, C. A. (2023). *Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector Relleno sanitario de la parroquia Presidente Urbina perteneciente al cantón Santiago de Pillaro, provincia de Tungurahua.*
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/38003>
- Sánchez Moreano, B. B. (2024). *Incidencia de fugas en redes de abastecimiento de agua potable en el cantón Santiago de Pillaro* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13013>
- Sánchez-Arias, M., Riojas-Rodríguez, H., Catalán-Vázquez, M., Terrazas-Meraz, M. A., Rosas, I., Espinosa-García, A. C., Santos-Luna, R., & Siebe, C. (2019). Socio-environmental assessment of a landfill using a mixed study design: A case study from México. *Waste Management*, 85, 42-59. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.012>
- Sánchez-Romero, F. E., & Recalde-Gracey, A. E. (2024a). Gestión de residuos sólidos municipales 2021-2023: Revisión sistemática. *Gestio et Productio. Revista Electrónica de Ciencias Gerenciales*, 6(11), 246-255. <https://doi.org/10.35381/gep.v6i11.187>
- Sánchez-Romero, F. E., & Recalde-Gracey, A. E. (2024b). Gestión de residuos sólidos municipales 2021-2023: Revisión sistemática. *Gestio et Productio. Revista Electrónica de Ciencias Gerenciales*, 6(11), 246-255. <https://doi.org/10.35381/gep.v6i11.187>
- Sandoval, E. M. S. (2025). Evaluación de gestión del manejo de los Residuos Sólidos, aplicando indicadores de Economía Circular en Santo Domingo, Ecuador. *CONNECTIVIDAD*, 6(2), 320-340. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v6i2.297>
- Solís Chichande, S. S., & Salvatierra Piloiz, D. M. (2024). Caracterización de los residuos sólidos de las parroquias urbanas del cantón Loreto, Provincia de Orellana. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual «ALCON»*, 4(5), 167-178. <https://doi.org/10.62305/alcon.v4i5.360>
- Teixeira, C. A., & Guerra, M. (2024). Municipal Solid Waste—Addressing Environmental Concerns. *Sustainability*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/su16031235>

- Ubillús-Farfán, S. W., Valiente-Saldaña, Y. M., Patiño-Ramírez, S., Ubillús-Farfán, S. W., Valiente-Saldaña, Y. M., & Patiño-Ramírez, S. (2024). Estrategias aplicadas en la gestión de residuos sólidos en Latinoamérica: Revisión literaria. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 9(17), 119-132. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3157>
- Valdes-López, D., Trujillo-Ortiz, L., & García-Gómez, A. G. (2023). Percepción ambiental de dos comunidades aledañas a un relleno sanitario y un incinerador de residuos peligrosos en Neiva, Huila. *Mundo FESC*, 13(26), 114-130. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1520>
- Viera Mejía, V. G. (2024). *Análisis socioambiental de recicladores en el relleno sanitario del cantón Salcedo comunidad de Jachaguango. Propuesta de Gestión Integral*. [Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: (UTC)]. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12715>
- Villa-Achupallas, M., López, A., Díez-Montero, R., Lorena Esteban-García, A., & Lobo, A. (2024). Analysis of household waste production in Ecuador: Limitations for sustainable management in local communities. *Waste Management*, 190, 531-537. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.10.016>
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Nhung, T. C., Hemavathy, R. V., Jawahar, M. J., Neshanthini, J. P., & Rangasamy, G. (2022). A review on landfill system for municipal solid wastes: Insight into leachate, gas emissions, environmental and economic analysis. *Chemosphere*, 309, 136627. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136627>
- Yoelvincas. (2025, julio 15). Suelos arenosos: Ventajas y desventajas para la agricultura sostenible. *El mundo de los huertos*. <https://brotavida.shop/suelos-arenosos-ventajas-y-desventajas-para-la-agricultura-sostenible/>