



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

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

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

## **Diseño técnico de cierre del botadero para mitigar el impacto ambiental en su área de influencia en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa – Pasco**

### **TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

### **AUTOR**

**Adriana Lizet CORO GUEVARA**

**Elias Eric TORPOCO BELTRÁN**

### **ASESOR**

**Dr. Alberto HUIMAN CRUZ**

**Lima, Perú**

**2024**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

## Referencia bibliográfica

---

Coro, A. & Torpoco, E. (2024). *Diseño técnico de cierre del botadero para mitigar el impacto ambiental en su área de influencia en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa – Pasco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

### Metadatos complementarios

|                                  |                                                                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Datos de autor 1</b>          |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Adriana Lizet Coro Guevara                                                                |
| Tipo de documento de identidad   | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 74769693                                                                                  |
| URL de ORCID                     | <a href="https://orcid.org/0000-0003-4517-7558">https://orcid.org/0000-0003-4517-7558</a> |
| <b>Datos de autor 2</b>          |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Elias Eric Torpoco Beltrán                                                                |
| Tipo de documento de identidad   | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 72915444                                                                                  |
| URL de ORCID                     | <a href="https://orcid.org/0000-0002-9621-4884">https://orcid.org/0000-0002-9621-4884</a> |
| <b>Datos de asesor</b>           |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Alberto Huiman Cruz                                                                       |
| Tipo de documento de identidad   | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 41459167                                                                                  |
| URL de ORCID                     | <a href="https://orcid.org/0000-0002-5507-9903">https://orcid.org/0000-0002-5507-9903</a> |
| <b>Datos del jurado</b>          |                                                                                           |
| <b>Presidente del jurado</b>     |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Carlos Del Valle Jurado                                                                   |
| Tipo de documento                | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 10266187                                                                                  |
| <b>Miembro del jurado 1</b>      |                                                                                           |

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombres y apellidos                                    | Giuliana Patricia Becerra Celis                                                                                                                                                                                                                                               |
| Tipo de documento                                      | DNI                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Número de documento de identidad                       | 40745335                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Miembro del jurado 2</b>                            |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Nombres y apellidos                                    | Nora Rosa Concepción Malca Casavilca                                                                                                                                                                                                                                          |
| Tipo de documento                                      | DNI                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Número de documento de identidad                       | 08129250                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Datos de investigación</b>                          |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Línea de investigación                                 | C.0.2.8. Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente                                                                                                                                                                                                                          |
| Grupo de investigación                                 | No aplica.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Agencia de financiamiento                              | Sin financiamiento.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ubicación geográfica de la investigación               | País: Perú<br>Departamento: Pasco<br>Provincia: Oxapampa<br>Distrito: Huancabamba<br>Latitud: -10.516292<br>Longitud: -75.470691                                                                                                                                              |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | 2021 - 2024                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| URL de disciplinas OCDE                                | Ingeniería ambiental y geológica<br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</a><br>Ciencias del medio ambiente<br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</a> |



## Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

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

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; el día 17 de abril del año 2024, siendo las 4:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

**Dr. CARLOS DEL VALLE JURADO**

**(Presidente del Jurado)**

**Dra. GIULIANA PATRICIA BECERRA CELIS**

**(Miembro del Jurado)**

**Dra. NORA ROSA CONCEPCION MALCA CASAVILCA**

**(Miembro del Jurado)**

Reunidos para el acto académico público de colación de los Tesistas Bachilleres Adriana Lizet Coro Guevara y Elias Eric Torpoco Beltrán, quien sustentaran la Tesis Titulada:

**“DISEÑO TÉCNICO DE CIERRE DEL BOTADERO PARA MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL EN SU ÁREA DE INFLUENCIA EN EL SECTOR GRAMAZÚ, DISTRITO DE HUANCABAMBA, OXAPAMPA- PASCO.”**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

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

A. Adriana Lizet Coro Guevara y Elias Eric Torpoco Beltrán

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

Diecisiete (17), Aprobado con mención honrosa

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



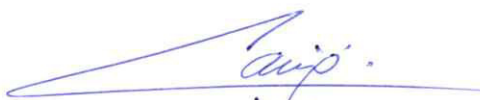
## Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

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

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL a los Bachilleres:  
ADRIANA LIZET COROGUEVARA Y ELIAS ERIC TORPOCO BELTRÁN.

Siendo las 5:00 pm, horas se dio por concluido el acta académico,  
expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.



Dr. CARLOS DEL VALLE JURADO  
PRESIDENTE DEL JURADO



Dra. GIULIANA PATRICIA BECERRA CELIS  
MIEMBRO DE JURADO



Dra. NORA ROSA CONCEPCION MALCA CASAVILCA  
MIEMBRO DE JURADO



Dr. ALBERTO HUIMAN CRUZ  
ASESOR



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Universidad del Perú. Decana de América

**Vicerrectorado de Investigación y Posgrado**



### **CERTIFICADO DE SIMILITUD**

Yo Dr. Msc. Ing. Alberto Huiman Cruz, en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 000056-2024-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es *«Diseño técnico de cierre del botadero para mitigar el impacto ambiental en su área de influencia en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa - Pasco»* presentado por los bachilleres Adriana Lizet Coro Guevara y Elias Eric Torpoco Beltrán para optar el título de Ingeniera Ambiental, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 18% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

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

Firma del Asesor

DNI: 41459167

Nombres y apellidos del asesor: Alberto Huiman Cruz



## **DEDICATORIA**

A Dios, por su bendición y protección en cada paso que doy. A mis padres, Violeta y Agosto, por guiarme, brindarme su confianza y apoyo incondicional durante el cumplimiento de este objetivo. A mi alma mater, que me permitió conocer excelentes personas y profesionales que contribuyeron en mi formación universitaria.

*Adriana Lizet Coro Guevara*

A Dios por las oportunidades y personas de bien que ha puesto en mi vida, así como por bendecirme y guiarme por el camino correcto. A mis padres y hermanos, por todo el esfuerzo y apoyo que me han dado para lograr mis metas. A mi alma mater, por permitirme vivir una experiencia invaluable, y brindarme las herramientas para forjar mi vida profesional. Es el inicio y fin de una etapa única en mi vida, así que el aprecio siempre estará presente.

*Elias Eric Torpoco Beltrán*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos al Ministerio del Ambiente (MINAM) a través de la Unidad Ejecutora 003 y a la Municipalidad Provincial de Oxapampa por el acceso a la información y las facilidades brindadas durante el desarrollo de la etapa de campo. Asimismo, agradecemos la dedicación y aliento del Dr. Alberto Huiman Cruz como asesor de nuestra tesis.

# ÍNDICE

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO I.....</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                                   | <b>4</b>  |
| 1.1.    Introducción .....                                    | 4         |
| 1.2.    Planteamiento del problema.....                       | 5         |
| 1.2.1.    Descripción de la problemática .....                | 5         |
| 1.2.2.    Formulación del problema .....                      | 7         |
| 1.3.    Objetivos de la investigación.....                    | 7         |
| 1.3.1.    Objetivo general .....                              | 7         |
| 1.3.2.    Objetivos específicos .....                         | 7         |
| 1.4.    Importancia y alcance de la investigación .....       | 8         |
| 1.5.    Limitaciones de la investigación .....                | 9         |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>                                       | <b>10</b> |
| <b>2. EL MARCO TEÓRICO .....</b>                              | <b>10</b> |
| 2.1.    Antecedentes de la investigación.....                 | 10        |
| 2.1.1.    Antecedentes Nacionales .....                       | 10        |
| 2.1.2.    Antecedentes Internacionales .....                  | 12        |
| 2.2.    Bases teóricas.....                                   | 14        |
| 2.2.1.    Residuos sólidos.....                               | 14        |
| 2.2.2.    Botadero.....                                       | 17        |
| 2.2.3.    Categorización del botadero del sector Gramazú..... | 25        |
| 2.2.4.    Cierre de un botadero .....                         | 25        |
| 2.3.    Definición de términos .....                          | 28        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>                                      | <b>30</b> |
| <b>3. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....</b>                         | <b>30</b> |
| 3.1.    Las hipótesis .....                                   | 30        |
| 3.1.1.    Hipótesis general .....                             | 30        |
| 3.1.2.    Hipótesis específicas .....                         | 30        |
| 3.2.    Las variables .....                                   | 30        |
| 3.3.    Operacionalización de variables.....                  | 30        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>                                      | <b>32</b> |
| <b>4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>                          | <b>32</b> |
| 4.1.    Área de estudio.....                                  | 32        |
| 4.2.    Diseño de investigación.....                          | 33        |
| 4.2.1.    Diseño .....                                        | 33        |

|                                                                                                  |                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.2.                                                                                           | <i>Tipo</i> .....                                                                            | 33         |
| 4.2.3.                                                                                           | <i>Alcance</i> .....                                                                         | 34         |
| <b>4.3.</b>                                                                                      | <b>Población y Muestra</b> .....                                                             | <b>34</b>  |
| <b>4.4.</b>                                                                                      | <b>Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información</b> .....            | <b>34</b>  |
| 4.4.1.                                                                                           | <i>Procedimiento</i> .....                                                                   | 34         |
| 4.4.2.                                                                                           | <i>Técnicas de recolección de datos</i> .....                                                | 37         |
| 4.4.3.                                                                                           | <i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....                                            | 38         |
| <b>4.5.</b>                                                                                      | <b>Análisis estadístico</b> .....                                                            | <b>38</b>  |
| <b>CAPÍTULO V</b> .....                                                                          |                                                                                              | <b>40</b>  |
| <b>5. RESULTADOS</b> .....                                                                       |                                                                                              | <b>40</b>  |
| <b>5.1. Condiciones ambientales del área de influencia del botadero del sector Gramazú</b> ..... |                                                                                              | <b>40</b>  |
| 5.1.1.                                                                                           | <i>Área de influencia del botadero</i> .....                                                 | 41         |
| 5.1.2.                                                                                           | <i>Características del medio físico, biológico y social</i> .....                            | 43         |
| 5.1.3.                                                                                           | <i>Estudios de ingeniería</i> .....                                                          | 47         |
| 5.1.4.                                                                                           | <i>Percepción de la población del área de influencia frente al cierre del botadero</i><br>57 |            |
| <b>5.2. Diseño técnico para disminuir el impacto ambiental</b> .....                             |                                                                                              | <b>62</b>  |
| 5.2.1.                                                                                           | <i>Generación de lixiviado</i> .....                                                         | 62         |
| 5.2.2.                                                                                           | <i>Generación de biogás</i> .....                                                            | 63         |
| 5.2.3.                                                                                           | <i>Diseño técnico para el cierre del botadero</i> .....                                      | 63         |
| 5.2.4.                                                                                           | <i>Análisis de los impactos ambientales del diseño técnico</i> .....                         | 77         |
| <b>5.3. Validación de la sostenibilidad del diseño técnico</b> .....                             |                                                                                              | <b>81</b>  |
| 5.3.1.                                                                                           | <i>Evaluación de juicio de expertos</i> .....                                                | 81         |
| 5.3.2.                                                                                           | <i>Evaluación de la percepción de la población</i> .....                                     | 88         |
| <b>6. DISCUSIÓN</b> .....                                                                        |                                                                                              | <b>94</b>  |
| <b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....                                                   |                                                                                              | <b>98</b>  |
| 7.1.                                                                                             | <i>Conclusiones</i> .....                                                                    | 98         |
| 7.2.                                                                                             | <i>Recomendaciones</i> .....                                                                 | 99         |
| <b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                                                       |                                                                                              | <b>100</b> |
| <b>9. ANEXOS</b> .....                                                                           |                                                                                              | <b>106</b> |
| Anexo N° 01: Fotografías .....                                                                   |                                                                                              | 106        |
| Anexo N° 02: Encuestas .....                                                                     |                                                                                              | 111        |

## Índice de tablas

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla N° 1: Código de colores para los residuos de gestión municipal .....                 | 15 |
| Tabla N° 2: Código de colores para los residuos de gestión no municipal .....              | 16 |
| Tabla N° 3: Cuadro comparativo entre botadero y relleno sanitario .....                    | 17 |
| Tabla N° 4: Composición del biogás .....                                                   | 19 |
| Tabla N° 5: Características de los lixiviados .....                                        | 22 |
| Tabla N° 6: Modelos empleados para estimar la generación de lixiviados .....               | 23 |
| Tabla N° 7: Operacionalización de variables .....                                          | 30 |
| Tabla N° 8: Coordenadas UTM del área de estudio .....                                      | 32 |
| Tabla N° 9: Organización de encuestas .....                                                | 35 |
| Tabla N° 10: Nivel de sostenibilidad .....                                                 | 37 |
| Tabla N° 11: Resultados del monitoreo de agua superficial .....                            | 51 |
| Tabla N° 12: Resultados del monitoreo de agua de infiltraciones .....                      | 52 |
| Tabla N° 13: Resultados del monitoreo de aire .....                                        | 53 |
| Tabla N° 14: Resultados del monitoreo de ruido .....                                       | 54 |
| Tabla N° 15: Resultados del monitoreo de suelo .....                                       | 54 |
| Tabla N° 16: Resultados del monitoreo de lixiviados .....                                  | 55 |
| Tabla N° 17: Resultados del monitoreo de biogás .....                                      | 56 |
| Tabla N° 18: Componentes ambientales considerados para la identificación de impactos ..    | 77 |
| Tabla N° 19: Identificación de impactos ambientales .....                                  | 77 |
| Tabla N° 20: Valoración cuantitativa de los impactos ambientales .....                     | 78 |
| Tabla N° 21: Evaluación de los impactos ambientales en el botadero sin diseño técnico .... | 79 |
| Tabla N° 22: Evaluación de los impactos ambientales en el botadero con diseño técnico ...  | 80 |
| Tabla N° 23: Categorización del estado del ecosistema .....                                | 81 |
| Tabla N° 24: Evaluación de los criterios para el eje económico .....                       | 83 |
| Tabla N° 25: Evaluación de los criterios para el eje social .....                          | 85 |
| Tabla N° 26: Evaluación de los criterios para el eje ambiental .....                       | 86 |
| Tabla N° 27: Evaluación de los criterios de validación .....                               | 87 |

## Índice de figuras

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N° 1: Actores involucrados en el cierre de un botadero ..... | 11 |
| Figura N° 2: Fases de la generación del biogás .....                | 21 |
| Figura N° 3: Ubicación del botadero del sector Gramazú .....        | 33 |
| Figura N° 4: Puntuaciones de la Escala de Likert .....              | 36 |
| Figura N° 5: Área de influencia directa del botadero .....          | 41 |
| Figura N° 6: Área de influencia indirecta del botadero .....        | 42 |
| Figura N° 7: Rosa de vientos .....                                  | 44 |

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N° 8: Secciones de Tomografía Eléctrica .....                                                                                                                                                               | 48 |
| Figura N° 9: Sección ERT01.....                                                                                                                                                                                    | 49 |
| Figura N° 10: Sección ERT02 .....                                                                                                                                                                                  | 49 |
| Figura N° 11: Sección ERT03 .....                                                                                                                                                                                  | 50 |
| Figura N° 12: ¿Qué problemas ha presenciado en el lugar donde se almacenan, sin ningún control, los residuos sólidos generados en la ciudad (botadero)? .....                                                      | 58 |
| Figura N° 13: ¿Cuál cree que podría ser la solución (es) a los problemas ocasionados por el botadero? .....                                                                                                        | 58 |
| Figura N° 14: ¿Ha presenciado algún problema social a causa de la operación del botadero? .....                                                                                                                    | 59 |
| Figura N° 15: ¿Estaría de acuerdo con la recuperación del área (cierre del botadero)? .....                                                                                                                        | 59 |
| Figura N° 16: ¿Cuál cree que sea el principal beneficio que traerá la recuperación del área (cierre del botadero)? .....                                                                                           | 60 |
| Figura N° 17: ¿Cree que habría algún impacto negativo en el proceso de recuperación del área (cierre del botadero)? .....                                                                                          | 61 |
| Figura N° 18: ¿Cree que la población tendría interés en que se ejecute la recuperación del área (cierre del botadero)? .....                                                                                       | 61 |
| Figura N° 19: ¿Qué cree usted que se debería hacer en el terreno posterior a la recuperación del área (cierre del botadero)? .....                                                                                 | 62 |
| Figura N° 20: Configuración final del botadero .....                                                                                                                                                               | 65 |
| Figura N° 21: Zanja de captación de lixiviados .....                                                                                                                                                               | 66 |
| Figura N° 22: Poza de almacenamiento de lixiviados.....                                                                                                                                                            | 67 |
| Figura N° 23: Pozo de extracción de lixiviados .....                                                                                                                                                               | 68 |
| Figura N° 24: Zanja de drenaje de biogás .....                                                                                                                                                                     | 69 |
| Figura N° 25: Pozo de captación de biogás .....                                                                                                                                                                    | 71 |
| Figura N° 26: Zanja de drenaje de aguas pluviales .....                                                                                                                                                            | 72 |
| Figura N° 27: Distribución estructural del sistema de drenaje.....                                                                                                                                                 | 73 |
| Figura N° 28: Cobertura final del botadero .....                                                                                                                                                                   | 75 |
| Figura N° 29: Categorización del estado del ecosistema a través de la escala de Likert .....                                                                                                                       | 81 |
| Figura N° 30: En su opinión, ¿Considera que la demanda de mano de obra local para el cierre de botadero generó ingresos económicos para la población? .....                                                        | 88 |
| Figura N° 31: ¿Considera que se generó un dinamismo en los negocios locales de la zona por el requerimiento de servicios e insumos para el cierre del botadero? .....                                              | 89 |
| Figura N° 32: ¿Considera que hubo una mejora en el valor de los predios aledaños al botadero posterior a su cierre? .....                                                                                          | 89 |
| Figura N° 33: ¿Considera que la socialización del diseño de cierre del botadero evitó que se generen conflictos sociales posterior al cierre del botadero? .....                                                   | 90 |
| Figura N° 34: Desde su perspectiva, ¿Cree que ha habido una mejora en la calidad de vida de la población posterior al cierre del botadero? .....                                                                   | 90 |
| Figura N° 35: ¿Considera importante la participación de la población local en el proceso de los monitoreos participativos de calidad ambiental como parte de la recuperación del área (cierre del botadero)? ..... | 91 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N° 36: ¿Cree que el cierre del botadero ha contribuido a la mejora de las condiciones ambientales de la zona? .....                      | 92 |
| Figura N° 37: ¿Cree que el cierre del botadero ha permitido la mejora el aspecto paisajístico del entorno? .....                                | 92 |
| Figura N° 38: ¿Considera usted que el cierre del botadero ha permitido o permitirá la recuperación de la flora y fauna propia de la zona? ..... | 93 |

## Resumen

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2023), en el Perú el 82,7 % de las municipalidades realiza la disposición final de los residuos de forma parcial o total en botaderos, es decir, los 1 871 botaderos a nivel nacional identificados según Resolución N° 00112-2023-OEFA/DSIS reciben diariamente los residuos domiciliarios.

La presente investigación valida la sostenibilidad de una propuesta de diseño técnico para que el cierre del botadero mitigue el impacto ambiental del área de influencia en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba.

La metodología de estudio consistió en determinar las condiciones locales a través de monitoreos ambientales, estudios de campo y la aplicación de encuestas a la población con la finalidad de conocer su percepción durante la operatividad del botadero, luego se analizó la propuesta del diseño técnico de cierre tomando en consideración los siguientes factores: generación de lixiviados, emisión de gases, características climatológicas y geomorfológicas del sitio de estudio, composición de los residuos sólidos dispuestos y la configuración actual del botadero; para determinar la sostenibilidad del diseño a través de criterios de validación tipo juicio de expertos y aplicación de encuestas a la población.

Los resultados evidenciaron la existencia de residuos sólidos humedecidos con un alto contenido de material orgánico, presencia de vectores (roedores y moscas) y de lixiviados influenciados por las fuertes precipitaciones, además de una cercanía a la población, la cual se ubica a 300 metros. El diseño técnico propuesto contempla un sistema de extracción de lixiviados, captura de biogás, encapsulamiento del residuo, inserción del botadero al paisaje natural y participación activa de las autoridades y población del área de influencia en los monitoreos hasta la estabilización de la zona. Finalmente, mediante el juicio de expertos y encuestas realizadas a la población se valida el diseño y acepta como una alternativa sostenible. Se recomienda replicar el diseño propuesto en botaderos con características ambientales similares.

**Palabras clave:** *residuos sólidos, botadero, impacto ambiental, diseño técnico, sostenibilidad.*

## Abstract

According to the National Institute of Statistics and Informatics (2023), in Peru 82,7% of municipalities carry out the final disposal of waste partially or totally in dumps, that is, the 1 871 dumps nationwide identified according to Resolution N° 00112-2023-OEFA/DSIS receive household waste daily.

This research validates the sustainability of a technical design proposal so that the closure of the dump mitigates the environmental impact of the area of influence in the Gramazú sector, Huancabamba district.

The study methodology consisted of determining local conditions through environmental monitoring, field studies and the application of surveys to the population in order to know their perception during the operation of the dump, then the proposal for the technical closure design was analyzed. taking into consideration the following factors: leachate generation, gas emission, climatological and geomorphological characteristics of the study site, composition of the disposed solid waste and the current configuration of the dump; to determine the sustainability of the design through validation criteria such as expert judgment and application of surveys to the population.

The results showed the existence of moistened solid waste with a high content of organic material, the presence of vectors (rodents and flies) and leachate influenced by heavy rainfall, as well as a proximity to the town, which is located 300 meters away. The proposed technical design contemplates a leachate extraction system, biogas capture, encapsulation of the waste, insertion of the dump into the natural landscape and active participation of the authorities and population of the area of influence in monitoring until the stabilization of the area. Finally, through the judgment of experts and surveys carried out among the population, the design is validated and accepted as a sustainable alternative. It is recommended to replicate the proposed design in dumps with similar environmental characteristics.

**Keywords:** *Solid waste, open-air dump, environmental impact, technical design, sustainability.*

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

Desde los inicios del hombre se han generado residuos, sin embargo, las características de los mismos, pequeñas cantidades generadas y su constante desplazamiento daban paso a una degradación natural en el ambiente sin generar alteración alguna, no obstante, esta situación empieza a cambiar con el sedentarismo y la aparición de las ciudades (ONU Medio Ambiente, 2018). Es así que los primeros indicios de la problemática por los residuos sólidos empiezan a presenciarse y, a su vez, acelerar ante el desarrollo poblacional y sus patrones de consumo, mientras el sector no contaba con la capacidad operativa e institucional necesaria para cubrir la demanda de forma adecuada.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) señala que tan solo en América Latina y el Caribe, cuarenta millones de personas no tienen acceso al servicio de recolección de residuos sólidos y se estima que una tercera parte de los residuos acaban en botaderos (2018), los cuales no tienen ningún criterio de ingeniería para garantizar la protección de la salud de la población y el ambiente.

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2023), el sector desechos representó el 4,95% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional, equivalente a 10 418,38 Gg CO<sub>2</sub>eq, siendo la fuente más predominante la disposición final de residuos sólidos; asimismo, mediante Resolución N° 00112-2023-OEFA/DSIS, se evidenció al 2023 la existencia de 1 871 botaderos en todo el país. Ante estos escenarios, la gestión de residuos sólidos resulta en uno de los grandes desafíos ambientales, siendo uno de los ejes a abordar la inadecuada disposición final de los residuos sólidos.

La presente investigación toma como objeto de estudio al botadero del sector Gramazú localizado en la provincia de Oxapampa y departamento de Pasco, con la finalidad de validar la sostenibilidad del diseño técnico de cierre y recuperación del área y que, a su vez, permita mitigar los impactos ambientales generados en su área de influencia. Para lograr

el objetivo indicado, el estudio se basó en un diagnóstico preliminar de la situación ambiental abordando algunos tópicos sociales relevantes en el ámbito de influencia del botadero, se describe una propuesta de diseño de cierre, acompañada de un análisis de los impactos ambientales mitigados, y se valida la sostenibilidad del diseño a través de juicio de expertos incorporando la percepción de la población.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Descripción de la problemática**

La situación de los residuos sólidos se ha convertido en un problema ambiental a nivel mundial, si bien estos se han generado desde los inicios del hombre con el desarrollo de sus actividades, el problema se consolida en las últimas décadas del siglo XX con la generación desmesurada de los residuos sólidos que se vio evidenciado en niveles altos de contaminación ambiental, siendo las principales fuentes el crecimiento industrial y el consumismo de la sociedad (Hernández y Corredor, 2016). Es así que, según el último informe del Banco Mundial, en el 2016 se estimó una generación de 2,01 mil millones de toneladas de residuos municipales, cifra que se ve proyectada al 2050 con un aumento del 70%, es decir hasta 3,40 mil millones de toneladas (Kaza et al, 2018).

A nivel nacional, el escenario de los residuos sólidos municipales no es ajeno a la problemática mundial. El resultado de un sistema inadecuado de gestión y la ausencia de cultura ambiental en la población ha manifestado diversos impactos negativos al ambiente, economía y a la sociedad, de manera tal que resulta en una realidad que engloba al accionar de múltiples actores políticos y sociales. En el Perú, una de las formas de evidenciar la problemática por los residuos sólidos, son las cifras de disposición final de los mismos, teniendo así que según el reporte del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), solo el 17,2% de las municipalidades disponen correctamente los residuos en un relleno sanitario y el 82,7%, disponen parte o todo en botaderos (2023).

En el Decreto Legislativo N° 1278, se define como botadero a la inadecuada disposición de residuos en vías públicas y áreas urbanas, rurales o baldías, que no poseen autorización y con potencial de generar riesgos a la salud y al ambiente (2016).

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) como ente responsable de elaborar y actualizar el «Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos» (Decreto Legislativo N° 1278, 2016), identificó en el 2018 como una de las áreas degradadas por residuos sólidos municipales para recuperación al botadero «San Jorge Gramazú» (Resolución de Consejo Directivo N° 026-2018-OEFA/CD, 2018), ubicado en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba - Oxapampa. Asimismo, este botadero fue considerado dentro de las zonas prioritarias dentro del Programa de Recuperación a cargo del MINAM (Defensoría del Pueblo, 2019).

La existencia del botadero Gramazú implica diversos riesgos ambientales sobre su área de influencia, es decir, el área donde se manifiestan los impactos ambientales desde los de mayor a los de menor significancia (MINAM, 2019). Los impactos se derivan de las condiciones de disposición, puesto que no se cuenta con los sistemas apropiados de ingeniería para el manejo y control de los subproductos generados a partir de la degradación de los residuos sólidos, estos son: gases y lixiviados; es así que como consecuencia esto puede conllevar, tal como lo indica Abubakar et al (2022), a la contaminación del suelo por el vertido directo de los residuos sólidos y generación de lixiviados, la contaminación atmosférica por la generación de olores y gases, y contaminación del recurso hídrico.

Se pudo evidenciar en campo que existe infiltración de los lixiviados que se incrementan por las condiciones climatológicas del lugar, ocasionando la contaminación del agua subterránea; esto sumado a la aparición de moscas, roedores, entre otros animales, trajo consigo la alteración paisajística del entorno donde se emplaza el botadero.

A su vez, los riesgos ambientales pueden conllevar a riesgos a la salud de la población del área de influencia producto de la proliferación de animales que actúan como vectores para la transmisión de enfermedades, entre estos destacan las moscas, cucarachas y roedores, portadores potenciales de afecciones como el dengue y la hepatitis (Defensoría del Pueblo,

2019, p.72). Además, también pueden existir riesgos para aquellas personas que interactúen de manera más cercana con el botadero, es decir, recicladores o personal de trabajo, debido a que los residuos se encuentran dispuestos a la intemperie. De esta manera, sea a corto o largo plazo, los botaderos representan focos infecciosos que vulneran los derechos fundamentales al poner en riesgo la salud pública y el derecho a vivir en un ambiente adecuado (Defensoría del Pueblo, 2019, p.103).

### **1.2.2. Formulación del problema**

#### **1.2.2.1. Problema General**

¿En qué medida el diseño técnico del cierre del botadero permite mitigar el impacto ambiental de manera sostenible en el área de influencia del sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa - Pasco?

#### **1.2.2.2. Problemas Específicos**

- a) ¿Cómo se encuentran las condiciones ambientales del área de influencia del botadero del sector Gramazú?
- b) ¿Qué características debería considerar el diseño técnico para mitigar el impacto ambiental en el área de influencia del botadero?
- c) ¿De qué manera puede validarse el diseño técnico para determinar su sostenibilidad?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Validar la sostenibilidad de una propuesta de diseño técnico para que el cierre del botadero mitigue el impacto ambiental del área de influencia en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa - Pasco.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar las condiciones ambientales del área de influencia del botadero del sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa – Pasco.

- b) Describir el diseño técnico que mitigue el impacto ambiental en el área de influencia del botadero.
- c) Establecer métodos de validación para determinar la sostenibilidad del diseño técnico.

#### **1.4. Importancia y alcance de la investigación**

La presente investigación valida la sostenibilidad del diseño técnico de cierre del botadero ubicado en el Sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa - Pasco, alineándose a los indicadores para el cierre de brechas en el sector Ambiente, de forma específica, orientada al indicador: «*Porcentaje de hectáreas de áreas degradadas por residuos sólidos sin intervención*» (MINAM, 2023).

En el Perú se han desarrollado pocas investigaciones relacionadas al cierre de botaderos, además, considerando que el país se caracteriza por ser megadiverso, las condiciones ambientales y los factores sociales serán diferentes en cada región del país y, por tanto, los criterios técnicos de cierre. Partiendo de dicha premisa, para el caso de estudio ubicado en la región selva, la identificación y análisis de las características del ecosistema permitirán analizar la alternativa técnica más adecuada y, a su vez, aportar conocimientos e información para servir de modelo en la recuperación de áreas degradadas existentes con similares o iguales características con fines de réplica.

El diseño de cierre ha sido validado con el propósito de determinar su sostenibilidad en el enfoque económico, ambiental y social, de esta manera, se busca evitar afectaciones a la salud de la población por el desarrollo de «enfermedades gastrointestinales, dermatológicas, respiratorias y genéticas, dolores de pecho, diarrea, cólera, trastornos psicológicos, irritaciones de la piel, ojos y nariz, y alergias» (Abubakar et al, 2022), que son concurrentes en problemáticas por inadecuada disposición final de residuos sólidos, así como garantizar la preservación de la calidad de los recursos del agua, suelo y aire. Por último, debe ser un diseño que sea establecido de forma eficiente para emplear la menor cantidad de recursos y asegurar la misma calidad final del cierre sin mayores gastos económicos.

## **1.5. Limitaciones de la investigación**

Para el desarrollo de la presente investigación, se evidenciaron las siguientes limitaciones:

- Las medidas ante el COVID-19 adoptadas en la ciudad de Oxapampa, limitaron el horario de movilización durante el levantamiento de información y la adquisición de productos básicos, puesto que se estableció que la población únicamente se podía movilizar entre el horario de las 6:00 horas y 13:00 horas, acción supervisada por rondas urbanas conformadas por los pobladores junto con la Policía Nacional y el Ejército.
- Ausencia de registro cartográfico municipal en el área de influencia del proyecto por lo que se procedió al conteo de viviendas de manera presencial.
- Las metodologías disponibles para evaluar las condiciones ambientales y sociales vinculadas a la presencia de botaderos se encuentran desfasadas, además, no reflejan un análisis más profundo para realizar una evaluación acorde a la situación real de cada botadero según sus condiciones particulares.
- Inexistencia de registros de monitoreos de calidad ambiental posterior al cierre del botadero del sector Gramazú ejecutados por la municipalidad provincial de Oxapampa, debido a que están proyectados a partir del 2025 en el marco de lo contemplado en su instrumento de gestión ambiental.

## CAPÍTULO II

### 2. EL MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

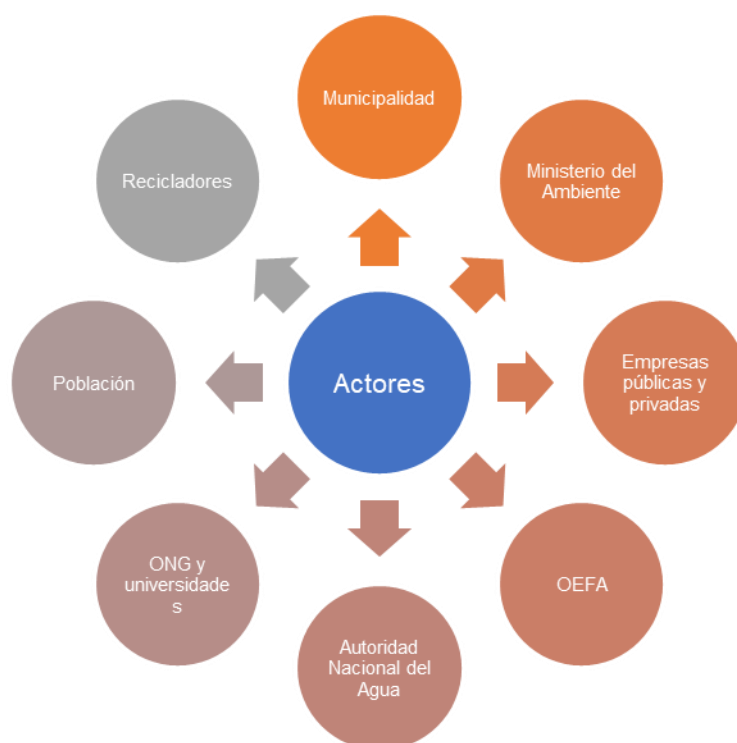
La presente investigación se fundamenta en investigaciones relevantes y significativas que han sido realizadas anteriormente y que están relacionadas con el cierre de botaderos, de las cuales se menciona las siguientes:

##### 2.1.1. *Antecedentes Nacionales*

Baldarrago Helen (2021) realizó la investigación titulada *«Propuesta del plan de cierre y saneamiento del área degradada por residuos sólidos en el botadero Chuñaspampa del distrito de Chivay, provincia de Caylloma»*, teniendo como objetivo proponer medidas de cierre del botadero ubicado en Arequipa y para lo cual realizó un diagnóstico y la evaluación de los impactos ambientales. Los resultados determinaron que el botadero recibe una cantidad promedio de 3,83 t/día de residuos sólidos, es considerado de alto riesgo y el terreno donde está ubicado no tiene las condiciones apropiadas; además la propuesta comprende el manejo de aguas pluviales con cunetas y un manto de cobertura (pendiente: 3% - 5%), un sistema de lixiviados, un sistema de biogás conformado por chimeneas y una quema manual, capas de cobertura y la revegetación del lugar con la especie «lchu» de raíz corta y que permite evitar fenómenos de erosión.

Huanca Julia (2020) a través de la investigación *«Diagnóstico situacional de áreas degradadas por residuos sólidos y propuesta de cierre de botaderos a cielo abierto en la ciudad de Arequipa»*, identifica y resalta la importancia de la participación e interacción de los actores involucrados, que se muestran en la figura N°1, en el cierre de un botadero:

**Figura N° 1: Actores involucrados en el cierre de un botadero**



Fuente: Huanca (2020).

Arbulu y Delgado (2019) en su investigación titulada *«Propuesta de un Plan de clausura para el botadero “Pampas de Reque” para proteger al ambiente, seguridad y salud a la población aledaña, Reque, 2019»*, identificaron la situación actual del botadero en donde diferentes municipalidades disponen sus residuos y evaluaron los impactos ambientales a través de la metodología de la matriz de Leopold, para finalmente formular el proceso de clausura del botadero. Los resultados identificaron la existencia de segregadores trabajando bajo condiciones inadecuadas en el botadero, prácticas de quema de residuos y crianza de ganado; así también, se determinó al botadero de muy alto riesgo y la matriz de evaluación de impactos dio a conocer una alta contaminación en la zona por la presencia del botadero. Como parte del método de clausura propuesta, se incorporó el involucramiento de la población y autoridades municipales con el fin de garantizar su sostenibilidad, ejecutar la cobertura de los residuos y las acciones posteriores de control.

El Ministerio del Ambiente (2019) aprobó la *«Guía para la Formulación del Plan de Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales»*, en la cual se

establecen las consideraciones mínimas para formular la recuperación de un área degradada; entre las principales se mencionan: fase de diagnóstico del medio físico, biológico y social del lugar donde se emplaza; planteamiento de actividades de recuperación que incluyen básicamente el sellado del área y los sistemas para el manejo y control de contaminantes; la identificación de los potenciales impactos ambientales; y las acciones para la gestión de impactos, emergencias y riesgos, además de las de vigilancia.

Pérez Roger (2017) mediante la investigación titulada *«Plan de Cierre y Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos municipales en el botadero de “San José”- Andahuaylas, Apurímac»*, buscó proponer acciones para el cierre y recuperación del botadero a fin de minimizar los impactos negativos, para ello, realizó el levantamiento de información in situ y una encuesta a la población para conocer su percepción ante la presencia del botadero, empleó la metodología de la «Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos» del Consejo Nacional del Ambiente (2004), actualmente MINAM, y la metodología de «Evaluación del impacto ambiental de Botaderos Municipales (EVIAVE)».

Los resultados de Pérez Roger (2017) determinaron un alto riesgo del botadero y un alto valor de prioridad para su clausura, siendo así que se propuso aplicar la técnica de cubrimiento de los residuos sólidos depositados en el botadero, tomando como medidas la estabilidad de taludes, compactación y cubierta final, añadiendo sistemas de drenaje de aguas, manejo de gases y lixiviados; además, para verificar el funcionamiento eficaz de lo propuesto, se establece el desarrollo de monitoreos ambientales (agua, suelo, lixiviados y biogás).

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

Chamba y Coque (2021) en su investigación titulada *«Propuesta de cierre técnico del botadero a cielo abierto del cantón Balzar basado en la evaluación de los impactos socio-ambientales»*, tuvieron como objetivo elaborar una propuesta de cierre para el botadero en mención, para lo cual se realizó la recopilación de información sobre la gestión de los residuos sólidos en el Cantón Balzar, la ejecución de encuestas a 15 recicladores que trabajaban en

el botadero, la aplicación de una matriz de importancia para analizar los impactos sociales y ambientales y finalmente la propuesta de cierre técnico.

Como resultado, Chamba y Coque (2021) obtuvieron que la gestión de residuos sólidos en el Cantón es inadecuada, existen riesgos para la salud de los recicladores, el impacto socioambiental del botadero es alto, y el diseño de la propuesta consideró: compactación y sellado de los residuos en tres capas (limo arenoso, de drenaje y cobertura), sistema de captación de biogás conformado por chimeneas a 1 m de profundidad y un quemador, sistema de captación de lixiviados y un sistema de aguas superficiales, compuesto de canales y cunetas. Por último, se sugiere considerar delimitar el perímetro del botadero, implementar un sistema de vigilancia y establecer medidas ambientales y de seguridad para los trabajadores.

Álvarez Reyna (2016) en su investigación titulada «*Diagnóstico y propuesta de mejora del tiradero municipal de Villa Victoria Estado de México*», buscó generar una propuesta de mejora a través de la evaluación de las condiciones del botadero y la identificación de sus impactos ambientales. Los resultados mostraron una contaminación al ambiente, proliferación de vectores y presencia de recicladores, en tanto la propuesta consistió en continuar con la operación del botadero aplicando el método de área hasta el fin de su vida útil, complementando con estrategias de rehabilitación como actividades de fumigación, nivelación de residuos y su compactación, añadiendo una capa de cobertura (espesor: 0,25 m) entre cada capa de residuos.

Adicionalmente, para la clausura del botadero, Álvarez Reyna (2016) propuso cubrir los residuos una vez nivelados y compactados, construir un sistema de captación de aguas pluviales conformado de canales y registros con dirección al drenaje natural, pozos de venteo para controlar el biogás, e incorporar mallas para el cercamiento del predio. Se concluyó que son necesarias acciones inmediatas para mejorar la calidad del ambiente y vida de la población circundante.

Lobo et al (2016) en su investigación denominada «*Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en Iberoamérica*», presentan alternativas de recuperación

de un botadero, citando entre las opciones el aislamiento o sellado de los residuos sólidos, el retiro de los residuos hacia otra zona siempre y cuando sea en un pequeño volumen, y la recuperación del área *in situ*; sin embargo, toda opción deberá considerar previamente la ejecución de estudios que permitan conocer los riesgos del entorno. Asimismo, posterior al proceso de recuperación, proponen la reinserción del terreno para diversos usos, señalando como casos de éxito al parque Los Ensueños en Colombia, el aparcamiento sobre el vertedero Macul en Chile, y la zona comercial sobre el antiguo tiradero de Neza en México.

García y Urrego (2015) a través de la investigación titulada «*Plan de Cierre para el botadero a cielo abierto de residuos sólidos del municipio de Inirida – Guainia*», realizaron un diagnóstico de las condiciones dentro del botadero en mención, analizaron la gestión del municipio y elaboraron un plan de cierre. Los resultados evidenciaron una contaminación en el suelo y en el recurso hídrico de la zona, y una inadecuada gestión del municipio, vinculada principalmente a la falta de interés política; además, se propusieron una serie de programas enfocados en promover la educación ambiental, ejecutar monitoreos ambientales, controlar los impactos ambientales y ejecutar la respectiva recuperación edáfica. Por último, se recomendó la implementación de un microrelleno sanitario para el municipio.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Residuos sólidos**

El término «residuos sólidos» puede variar según cada país hispanohablante, encontrándose como sinónimos los términos «desechos» o «basura» (ONU Medio Ambiente, 2018).

Según la legislación peruana, podemos definir como residuos sólidos a aquellos objetos o materiales, en fase sólida o semisólida, que resultan de utilizar o consumir un bien o servicio (Decreto Legislativo N° 1278, 2016). Así también, ONU - Medio Ambiente (2018) agrega que, según la Real Academia Española, estos materiales han perdido su valor para ser utilizados o resultan ineficientes, por lo que su poseedor los desecha voluntaria o

involuntariamente. Sin embargo, la noción de este término ha ido ampliándose, considerarlos a la actualidad como potenciales recursos, retornando así a la cadena productiva y obteniendo de ellos o sus componentes, nuevos productos.

#### **2.2.1.1. Clasificación de residuos sólidos**

En el marco de la normativa peruana, los residuos sólidos pueden clasificarse en municipales y no municipales según la autoridad con competencia en su gestión, y en peligrosos y no peligrosos según su manejo; sin embargo, de ser necesario, pueden establecerse más criterios de clasificación (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).

##### **A. Según la autoridad competente para su gestión**

Los residuos municipales están constituidos por aquellos residuos procedentes de los hogares y de la limpieza pública, así como de demás actividades que generen residuos con características similares; por otro lado, los residuos no municipales comprenden aquellos que provienen de las actividades económicas (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).

El marco regulatorio para la gestión de residuos municipales y no municipales también se encuentra contemplada en la Norma Técnica Peruana 900.058-2019, en donde se dispone el código de colores para el almacenamiento de los residuos sólidos.

En ese sentido, los contenedores deberán ir diferenciados de acuerdo al código de colores que se muestra en la tabla N° 1.

**Tabla N° 1: Código de colores para los residuos de gestión municipal**

| <b>Clasificación</b> | <b>Color</b> |
|----------------------|--------------|
| Aprovechables        | Verde        |
| No aprovechables     | Negro        |
| Orgánicos            | Marrón       |
| Peligrosos           | Rojo         |

Fuente: Norma Técnica Peruana 900.058-2019 (2019).

Asimismo, se debe considerar que, en el caso de los residuos peligrosos, su almacenamiento deberá ser diferenciado y manejado según norma vigente.

Los contenedores de los residuos sólidos de gestión no municipal estarán diferenciados de acuerdo al código de colores que se muestra en la tabla N° 2.

**Tabla N° 2: Código de colores para los residuos de gestión no municipal**

| Clasificación    | Color    |
|------------------|----------|
| Papel y Cartón   | Azul     |
| Plástico         | Blanco   |
| Metales          | Amarillo |
| Orgánicos        | Marrón   |
| Vidrio           | Plomo    |
| Peligrosos       | Rojo     |
| No aprovechables | Negro    |

Fuente: Norma Técnica Peruana 900.058-2019 (2019).

En el caso se considere oportuno, el almacenamiento de los residuos de gestión municipal puede regirse a los códigos de colores correspondientes a la gestión no municipal.

## **B. Según su manejo**

Los residuos no peligrosos y peligrosos se diferencian en las características de peligrosidad que poseen, debiendo presentar al menos una de las siguientes propiedades: «auto combustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radioactividad o patogenicidad» (Decreto Legislativo N° 1278, 2016, p. 7). De esta manera, los residuos peligrosos son potenciales peligros para la salud y el ambiente.

Por otro lado, aquellos recipientes en donde se hayan almacenado sustancias peligrosas, también se consideran dentro de la clasificación de residuo peligroso y debe ser

gestionado como tal; sin embargo, se pueden eliminar dichas características si se someten a tratamiento (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).

El manejo de los residuos sólidos peligrosos se encuentra alineado a lo dispuesto en el Convenio de Basilea desde 1993, con el objetivo de disminuir su generación y promover una correcta gestión, así como tener un sistema normalizado y de control para los movimientos transfronterizos.

### **2.2.2. Botadero**

Se denomina botadero o área degradada al sitio donde se efectúa indiscriminadamente la disposición de los residuos sólidos sin o con medidas de control muy limitadas para su operación, además de no contar con criterios de planificación ni de ingeniería (*International Solid Waste Association* [ISWA], 2015), por tanto, opera sin autorización de la entidad competente y carece de un enfoque técnico, fomentando la disposición informal de los residuos y en algunos casos la crianza de animales domésticos, representando así un riesgo para la salud pública (OEFA, 2016).

Caso contrario, una correcta disposición final se realiza en una infraestructura denominada relleno sanitario, el cual confina los residuos basándose en principios de ingeniería, controla los subproductos generados por la degradación de la materia orgánica y su operación no causa perjuicios a la salud ni al ambiente (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS], 2002).

A continuación, se presentan algunas diferencias identificadas entre un botadero y un relleno sanitario, tal como se muestra en la tabla N°3.

**Tabla N° 3: Cuadro comparativo entre botadero y relleno sanitario**

| <b>Criterio</b>           | <b>Botadero</b>                                      | <b>Relleno sanitario</b>                                    |
|---------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Selección del sitio       | No planificado y, a menudo, ubicado incorrectamente. | Basado en criterios ambientales, comunitarios y económicos. |
| Capacidad                 | No conocida.                                         | Capacidad planificada.                                      |
| Planificación de la celda | No hay planificación de celda.                       | La celda se diseña según su desarrollo.                     |

| <b>Criterio</b>                  | <b>Botadero</b>                                                                        | <b>Relleno sanitario</b>                                                               |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | Los residuos se disponen indiscriminadamente.<br>El sitio de trabajo no es controlado. | La disposición de residuos en únicamente en la celda designada.                        |
| Preparación del sitio            | Escasa o nula preparación.                                                             | Extensa preparación.                                                                   |
| Manejo de lixiviados             | No hay manejo de lixiviados.                                                           | Manejo completo de lixiviados.                                                         |
| Manejo de gases                  | No hay manejo de gases.                                                                | Manejo completo de gases.                                                              |
| Aplicación de suelo de cobertura | Eventual o sin cobertura de residuos.                                                  | Se aplica diariamente una cobertura intermedia y final.                                |
| Compactación de residuos         | No se compactan.                                                                       | Compactación de residuos.                                                              |
| Mantenimiento de vías de acceso  | Sin mantenimiento.                                                                     | Mantenimiento completo de vías de acceso.                                              |
| Cerco                            | No está cercado.                                                                       | Cercado con puerta.                                                                    |
| Ingreso de residuos              | No existe control de la cantidad y/o composición de los residuos que ingresan.         | Control total de cantidad y composición de los residuos que ingresan.                  |
| Registro                         | No existen registros.                                                                  | Registros completos del volumen, tipo de residuos, fuente y actividades realizadas.    |
| Segregación de residuos          | Realizada por segregadores.                                                            | Sin segregación ni comercialización de los residuos.                                   |
| Cierre                           | No se ejecuta un cierre apropiado cuando cesan las operaciones.                        | Cierre total y gestión post-cierre.                                                    |
| Costo                            | Bajo costo inicial, alto costo a largo plazo.                                          | Mayores costos iniciales, operativos y de mantenimiento, moderado costo a largo plazo. |
| Impactos a la salud y ambiente   | Riesgo de incendios e impactos adversos a la salud y ambiente.                         | Mínimo riesgo de impactos adversos a la salud y ambiente.                              |

Fuente: Adaptado de ISWA (2015).

## 2.2.2.1. Subproductos del botadero

### 2.2.2.1.1. Biogás

La generación de biogás resulta del conjunto de procesos físicos, químicos y la acción microbiana que ocurre sobre la fracción orgánica de los residuos sólidos en condiciones anaeróbicas (Khan et al, 2011). Está constituido por gases en diversas cantidades, siendo en mayores porcentajes los gases metano y dióxido de carbono, tal como se muestra en la tabla N°4.

**Tabla N° 4: Composición del biogás**

| Composición                             | % Volumen (base seco) |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| Metano                                  | 45 - 60               |
| Dióxido de carbono                      | 40 - 60               |
| Nitrógeno                               | 2 - 5                 |
| Amoniaco                                | 0,1 - 1               |
| Oxígeno                                 | 0,1 - 1               |
| Sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc. | 0 – 1                 |
| Hidrógeno                               | 0 – 0,2               |
| Monóxido de carbono                     | 0 – 0.2               |
| Componentes Traza                       | 0,01 – 0,6            |

Fuente: Adaptado de O'Leary y Tchobanoglous (2002).

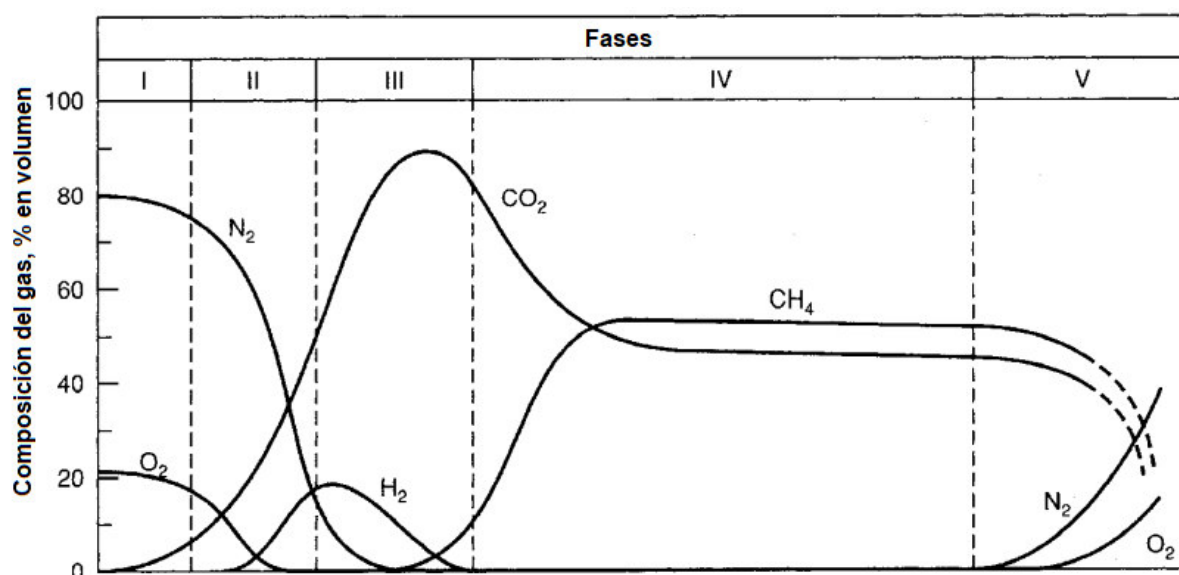
Los factores que determinan la composición del biogás e influyen en la tasa de generación son: las características de los residuos sólidos dispuestos, es decir, cantidad, tipo, humedad y fracción orgánica; las condiciones meteorológicas; disponibilidad de microorganismos y el manejo del botadero (Khan et al, 2011). Su emisión no controlada representa un riesgo, puesto que, como menciona Khan et al, el metano en concentraciones de 5 a 15 % en el aire es explosivo (2011).

La generación del biogás ocurre principalmente en cinco (5) fases, las cuales según O'Leary y Tchobanoglous (2002) se desarrollan de la siguiente manera:

- Fase I: Fase inicial de degradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos en presencia del oxígeno retenido en el botadero.
- Fase II: Fase de transición, en donde el oxígeno disminuye y se generan condiciones anaeróbicas, formando compuestos ácidos e hidrógeno, además del incremento de dióxido de carbono.
- Fase III: Fase ácida por la aceleración de la actividad microbiana, aumentando significativamente la generación de ácidos y dióxido de carbono, y el decaimiento del hidrógeno. La fase II y III influyen en el pH del lixiviado presente, tornándolo más ácido.
- Fase IV: Fase donde predomina la formación de metano y dióxido de carbono entre un 40 – 70 %. Este proceso genera un pH más alto del lixiviado.
- Fase V: Fase de maduración, en donde disminuye la tasa de generación de biogás por la baja disponibilidad de nutrientes. Se encuentra metano y dióxido de carbono, y en bajas cantidades nitrógeno y oxígeno.

Como se muestra en la figura N°2, la duración de cada fase variará en función de la fracción orgánica y contenido de humedad de los residuos, disponibilidad de nutrientes y grado de compactación (O'Leary y Tchobanoglous, 2002). Estudios han demostrado que la emisión de biogás puede continuar por un periodo de 20 años a más, posterior al cese de disposición en el botadero (Lobo et al, 2016).

Figura N° 2: Fases de la generación del biogás



Fuente: Adaptado de O'Leary y Tchobanoglous (2002).

#### 2.2.2.1.2. Lixiviado

El lixiviado se define como el líquido proveniente de la descomposición de los residuos sólidos sumado a algunos materiales disueltos o suspensión. Además, muchas veces el lixiviado puede ser formado a partir de fuentes externas, como lo es la presencia de lluvias, aguas subterráneas y drenaje superficial (Tchobanoglous et al, 1998).

Los lixiviados se caracterizan por poseer una alta carga de sólidos suspendidos y disueltos a consecuencia de las reacciones químicas y bioquímicas durante el tiempo de confinamiento, llegando a producir gases como el amoníaco, dióxido de carbono y metano, por lo que adquiere un elevado nivel contaminante y tiene el potencial de producir impactos en la calidad de los mantos freáticos o acuíferos (García et al, 2020). Inclusive se considera que, a pesar de un control del ingreso de precipitaciones, se continuarán generando lixiviados por el propio contenido de agua en los residuos y la actividad de los microorganismos (García et al, 2020).

Es así que, las características de los lixiviados generados variarán en el transcurso del tiempo, tal como se presentan en la tabla N° 5, en el caso de un relleno sanitario joven y maduro.

**Tabla N° 5: Características de los lixiviados**

| Componente                                | Relleno joven  | Relleno maduro |
|-------------------------------------------|----------------|----------------|
|                                           | (< 2 años)     | (> 10 años)    |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)                   | 2 000 – 30 000 | 100 – 200      |
| Carbono Orgánico Total (mg/L)             | 1 500 – 20 000 | 80 – 160       |
| DQO (mg/L)                                | 3 000 – 60 000 | 100 - 500      |
| Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)        | 200 – 2 000    | 100 – 400      |
| Nitrógeno orgánico (mg/L)                 | 10 – 800       | 80 – 120       |
| Nitrógeno amoniacal (mg/L)                | 10 – 800       | 20 – 40        |
| pH                                        | 4,5 – 7,5      | 6,6 – 7,5      |
| Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub> (mg/L) | 1 000 – 10 000 | 200 – 1 000    |
| Sulfato (mg/L)                            | 50 – 1 000     | 20 – 50        |
| Hierro total (mg/L)                       | 50 – 1 200     | 20 – 200       |

Fuente: Adaptado de O'Leary y Tchobanoglous (2002).

Por otro lado, Montejo (2010) añade que la generación de los lixiviados depende de diferentes factores y componentes que brindan las condiciones necesarias, los cuales son:

- Infiltración de agua: Influenciado por la precipitación y las capas de sellado de los residuos, vinculados a su vez por las condiciones geográficas y climatológicas del terreno.
- Características de los residuos: El tipo de residuo influye en la composición, humedad, tamaño y grado de compactación.
- Actividad microbiana: Desarrollada en condiciones aerobias y anaerobias, y en función de la temperatura, relación carbono/nitrógeno y otros factores que interviene en el metabolismo de los microorganismos.
- Contacto con aguas subterráneas: Determinado por la impermeabilidad del área que contiene a los residuos sólidos (como se citó en García et al, 2020).

Diversos modelos son empleados para estimar la generación de lixiviados, tal como se evidencia en la tabla N° 6.

**Tabla N° 6: Modelos empleados para estimar la generación de lixiviados**

| Modelo                    | Descripción                                                                                                                                                                 |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Thornthwaite (Fenn)       | Observaciones empíricas en periodos de tiempo y apoyado en datos climatológicos. No toma en cuenta la actividad microbiana ni la eventual infiltración de agua subterránea. |
| Modelo Suizo              | Una de las metodologías más generales, no toma en cuenta aspectos relacionados a la capacidad de absorción de agua de los residuos sólidos.                                 |
| Modelo HELP               | Modelo determinístico basado en datos climatológicos, edafológicos, de diseño y geohidrológicos, desarrollando un balance hídrico.                                          |
| Método de balance de agua | Modelo determinístico, basado en datos climatológicos, contenido de humedad en los residuos, presencia microbiana, suelo y el material de cobertura.                        |

Fuente: Adaptado de Montejo (2010) como se citó en García et al, 2020.

#### **2.2.2.2. Impactos del botadero en el ambiente**

##### **A) Contaminación al suelo**

Quintero (2017) evidenció que los lixiviados derivados de los residuos sólidos durante un tiempo prolongado pueden generar alteraciones significativas en las propiedades físicas, químicas, estructurales y mecánicas del suelo; siendo el cambio más considerable en sus propiedades químicas debido a que se altera significativamente su estructura y se evidencia en las propiedades hidro/mecánicas del suelo, produciendo que sea inestable y vulnerable ante situaciones externas.

Asimismo, la permeabilidad del suelo que se encuentra en la parte inferior de un botadero tiene una relación directamente proporcional al riesgo de ser contaminado, es decir, a mayor permeabilidad del suelo es mayor el riesgo a ser contaminado (Nathanson, 2023).

##### **B) Contaminación al recurso hídrico**

Valderrama (como se cita en Buendía et. al, 2021) señala que los lixiviados tienen un potencial nocivo significativo para la salud pública y la vida silvestre, debido a que los lixiviados que se producen en los lugares de disposición final que no reciben tratamiento (botaderos) pueden generar un impacto considerable en el recurso hídrico, es decir, generar

la contaminación en cuerpos de agua superficiales por el transporte de los lixiviados mediante un proceso de escorrentía; así como generar la contaminación del agua subterránea mediante un proceso de percolación, escorrentía o contacto directo a través del suelo que se ubica debajo de los residuos y se produce un intercambio entre acuíferos.

Esta contaminación puede evidenciarse si se presentan sustancias tóxicas y/o materia orgánica en los cuerpos de agua (Valderrama, 2018, como se cita en Buendía et. al, 2021).

### **C) Contaminación al aire**

La calidad del aire es deteriorada, en forma local y en zonas aledañas, producto de la quema de los residuos sólidos dispuestos en los botaderos debido a la generación de humos que disminuyen la visibilidad y el material particulado que se dispersa por los vientos en época seca, además de que se pueden transportar microorganismos que generan infecciones respiratorias e irritaciones nasales y oculares, así como malestares por olores hediondos (Grupo de Investigación de Economía Ecológica, 2016).

Asimismo, la degradación de residuos orgánicos trae consigo la generación de biogás, compuesto principalmente por dióxido de carbono y metano, los cuales son gases de efecto invernadero que acrecientan el proceso del calentamiento global (Grupo de Investigación de Economía Ecológica, 2016).

### **D) Afectación a la flora y fauna**

La flora puede verse afectada por el humo de la quema de los residuos, el polvo que se levanta a causa del transporte de los residuos, así como por un contacto directo con los lixiviados; para el caso de la fauna, esta se ve afectada por el consumo del residuo o alimento contaminado, que puede ser planta, animal o recurso hídrico afectado por los lixiviados (Tacchetti et. al, 2021).

#### **2.2.2.3. Riesgos para la salud**

Durante la crisis económica provocada por la pandemia de COVID-19, se relacionó a un aumento de cantidad de residuos arrojados a los botaderos debido a que disminuyó la tasa de reciclaje; asimismo, la disposición final de residuos sólidos sin tratar ni clasificar en

botaderos provoca graves problemas de salud pública, incluida la propagación de COVID-19 (Abubakar et al, 2022).

Los botaderos a cielo abierto con residuos orgánicos son el lugar propicio para la reproducción de vectores portadores de enfermedades, incluidos roedores, moscas y mosquitos, los cuales pueden transmitir el virus del zika, el dengue y la malaria; además, existen varios estudios que informan que los lixiviados de los vertederos contaminan las fuentes de agua utilizadas para beber y otras aplicaciones domésticas, lo que plantea riesgos importantes para la salud pública (enfermedades transmitidas por el agua, como leptospirosis, lombrices intestinales, diarrea y hepatitis A) (Abubakar et al, 2022).

Por otro lado, la generación de gases en los botaderos tales como el dióxido de carbono, óxido de azufre, metano, amoníaco, entre otros; pueden generar enfermedades a la piel y respiratorias, intoxicación, incendios y/o explosiones (Abubakar et al, 2022).

### **2.2.3. Categorización del botadero del sector Gramazú**

La normativa vigente en residuos sólidos señala que el OEFA es la autoridad competente para identificar las áreas degradadas y categorizarlas para su reconversión o recuperación, sistematizando la información en el «Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales» (Decreto Legislativo N° 1278, 2016). Es así que, desde el 2018 mediante Resolución de Consejo Directivo N° 026-2018-OEFA/CD, se determinó que el botadero del sector Gramazú es categorizado para su recuperación y clausura definitiva.

### **2.2.4. Cierre de un botadero**

Un diseño de cierre de botadero debe fundamentarse en estudios que consideren la factibilidad y sostenibilidad de las alternativas de gestión de residuos de acuerdo a las condiciones locales (Tacchetti et al., 2021).

En este sentido, se debe evaluar los impactos potenciales y, a nivel técnico, tal como lo cita Tacchetti et al. (2021) se debe tener en consideración lo siguiente:

1. Definir un método de cierre previa evaluación de factibilidad.
2. Cumplir con los requisitos normativos teniendo en cuenta las condiciones particulares del botadero.
3. Elegir un sistema de cobertura y establecer un sistema de manejo de lixiviados y gases.
4. Establecer un programa de control de la calidad del cierre.

#### **2.2.4.1. Métodos de cierre**

Existen diversos métodos empleados para el cierre de un botadero, dependiendo de su tamaño, riesgos ambientales y condiciones locales, y que logran su recuperación y reinserción a su entorno natural; de esta manera, según Tacchetti, et. al (2021), se consideran tres métodos de cierre, los cuales se describen a continuación:

- Cierre por método de actualización: Método viable cuando se dispone de áreas adyacentes al botadero para implementar un sistema de disposición final de residuos adecuado, mientras que se aplica un cierre al área del basural presente.
- Cierre in situ: Método tradicional en el cual los residuos no son removidos del lugar y son cubiertos con tierra local y vegetación, además se puede habilitar sistemas de captación de gases en función de la estimación de volumen generado, composición y edad de los residuos.
- Método de eliminación de residuos: Involucra remover los residuos del botadero y disponerlos en un relleno sanitario.

#### **2.2.4.2. Componentes de cierre**

De acuerdo a lo señalado por Tacchetti et. al. (2021) y Lobo et al. (2016), se debe considerar mínimamente los siguientes componentes durante el cierre de un botadero:

- **Sistema de cobertura**

Las capas de cobertura poseen un doble objetivo; en primer lugar, evitar un contacto directo con los residuos y los riesgos ocasionados por los contaminantes en forma de gas o líquido, y en segundo lugar, constituye la base para los usos futuros del lugar.

- **Gestión de lixiviados y gases generados por el proceso de descomposición**

Se deben implementar drenes o zanjas que permitan interceptar los lixiviados aún generados; de igual manera, ante la aún continua generación de gases, se requiere de la ejecución de un sistema de recolección para controlar las emisiones a la atmósfera.

- **Configuración del relieve del botadero**

Las obras de cierre deben iniciar con un reperfilado en el botadero para aminorar las fuertes pendientes que pudiese haber y comprometieran las posteriores capas que conforman el sistema de cobertura.

- **Manejo de aguas pluviales**

Consiste en implementar cunetas perimetrales para interceptar las aguas pluviales y evitar que ingresen al botadero, considerando a su vez que se cuente con suficiente pendiente para evitar encharcamientos.

- **Revegetación de sitios**

La revegetación de un botadero permite una mejora desde el punto de vista estético, sin embargo se considera que las plantas también contribuyen a la reducción de la erosión de la capa de sellado superficial.

#### **2.2.4.3. Programa de control de la calidad del cierre**

Posterior al cierre de un botadero se deben considerar acciones que permitan dar seguimiento a las obras ejecutadas e implementar a su vez medidas de mantenimiento y control ambiental; entre las más importantes se tiene: la designación de un equipo encargado de las actividades post cierre, ejecución de inspecciones periódicas, mantenimiento de los componentes del cierre técnico, monitoreos de calidad ambiental y la elaboración de informes técnicos que deben reportarse a las autoridades competentes (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2012).

## 2.3. Definición de términos

- a) **Área de influencia.** - Área donde se manifiestan los impactos ambientales desde los de mayor a los de menor significancia (MINAM, 2019).
- b) **Biogás.** – Gas generado de la descomposición de los residuos, posee en su composición principalmente al metano y dióxido de carbono en cantidades del 50% en condiciones anaeróbicas (ISWA, 2015).
- c) **Botadero.** – Inadecuada acumulación de residuos en vías públicas y áreas urbanas, rurales o baldías, originando riesgos para la salud y el entorno ambiental (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).
- d) **Disposición final.** – Último proceso donde se desarrollan operaciones de disposición de los residuos de manera permanente, sanitaria y ambientalmente segura (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).
- e) **Impacto ambiental.** – Alteración, beneficiosa o perjudicial, de uno o varios componentes del ambiente, ocasionada por la ejecución de un proyecto (Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM, 2019).
- f) **Lixiviados.** – Líquido de color negro y de malo olor generado a partir de la descomposición de los residuos sólidos, con características similares a las aguas residuales domésticas, pero con mayor concentración (CEPIS, 2002).
- g) **Relleno sanitario.** – Infraestructura para la correcta disposición final de los residuos sólidos, siguiendo los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).
- h) **Residuos municipales.** - Los residuos del ámbito municipal comprenden aquellos provenientes de domicilios, de limpieza pública, y otras actividades que generan residuos con características similares (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).

- i) **Residuos no municipales.** - Los residuos del ámbito no municipal comprenden aquellos generados en las actividades productivas, extractivas y de servicios (Decreto Legislativo N° 1278, 2016).
- j) **Servicios ecosistémicos.** – «Los servicios ecosistémicos son aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas» (Decreto supremo N° 008-2016-MINAM, 2016).
- k) **Sostenibilidad.** - Lo que permite satisfacer las necesidades actuales sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones venideras para atender sus propias necesidades (Naciones Unidas, s.f.).

## CAPÍTULO III

### 3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Las hipótesis

##### 3.1.1. *Hipótesis general*

El diseño técnico mitiga el impacto ambiental de manera sostenible en el área de influencia del botadero del sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa - Pasco.

##### 3.1.2. *Hipótesis específicas*

- a) Las condiciones ambientales del área de influencia del botadero del sector Gramazú reflejan una alteración del ecosistema por los gases y lixiviados generados.
- b) Las características del diseño técnico deben considerar la estabilización del botadero, un sistema de manejo de gases y lixiviados, y el encapsulamiento de los residuos, para mitigar el impacto ambiental en el área de influencia del botadero.
- c) Los métodos de validación: juicio de expertos y aplicación de encuestas para evaluar la percepción de la población, permiten validar la sostenibilidad del diseño técnico.

#### 3.2. Las variables

Las variables del presente estudio son:

**A. Variable dependiente:** Impacto ambiental en el área de influencia

**B. Variable independiente:** Diseño técnico

#### 3.3. Operacionalización de variables

Tabla N° 7: Operacionalización de variables

| Variable independiente | Definición conceptual                  | Definición operacional                                        | Dimensiones                                     | Indicadores | Unidad de medida |
|------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|------------------|
| Diseño técnico         | Manuales de ingeniería que especifican | El diseño técnico será medido a través de la captación de los | Subproductos de los residuos sólidos dispuestos | Lixiviados  | mg/L             |
|                        | objetivos,                             |                                                               |                                                 | Gases       | ppm              |

resultados o subproductos de  
restricciones los residuos  
que tienen que sólidos  
cumplirse al dispuestos.  
diseñar  
procesos,  
estructuras o  
componentes  
del sistema.

| Variable dependiente                       | Definición conceptual                                                                                                                                        | Definición operacional                                                                                             | Dimensiones | Indicadores                        | Unidad de medida |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------|
| Impacto ambiental en el área de influencia | Resultado positivo o negativo manifestado en el ambiente y la sociedad a partir de las actividades del hombre (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2001). | El impacto ambiental en el área de influencia del botadero será medido a través del componente ambiental y social. | Ambiental   | Impactos ambientales mitigados     | Escala Likert    |
|                                            |                                                                                                                                                              |                                                                                                                    |             |                                    |                  |
|                                            |                                                                                                                                                              |                                                                                                                    |             |                                    |                  |
|                                            |                                                                                                                                                              |                                                                                                                    | Social      | Población con aceptación favorable | %                |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

## CAPÍTULO IV

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1. Área de estudio

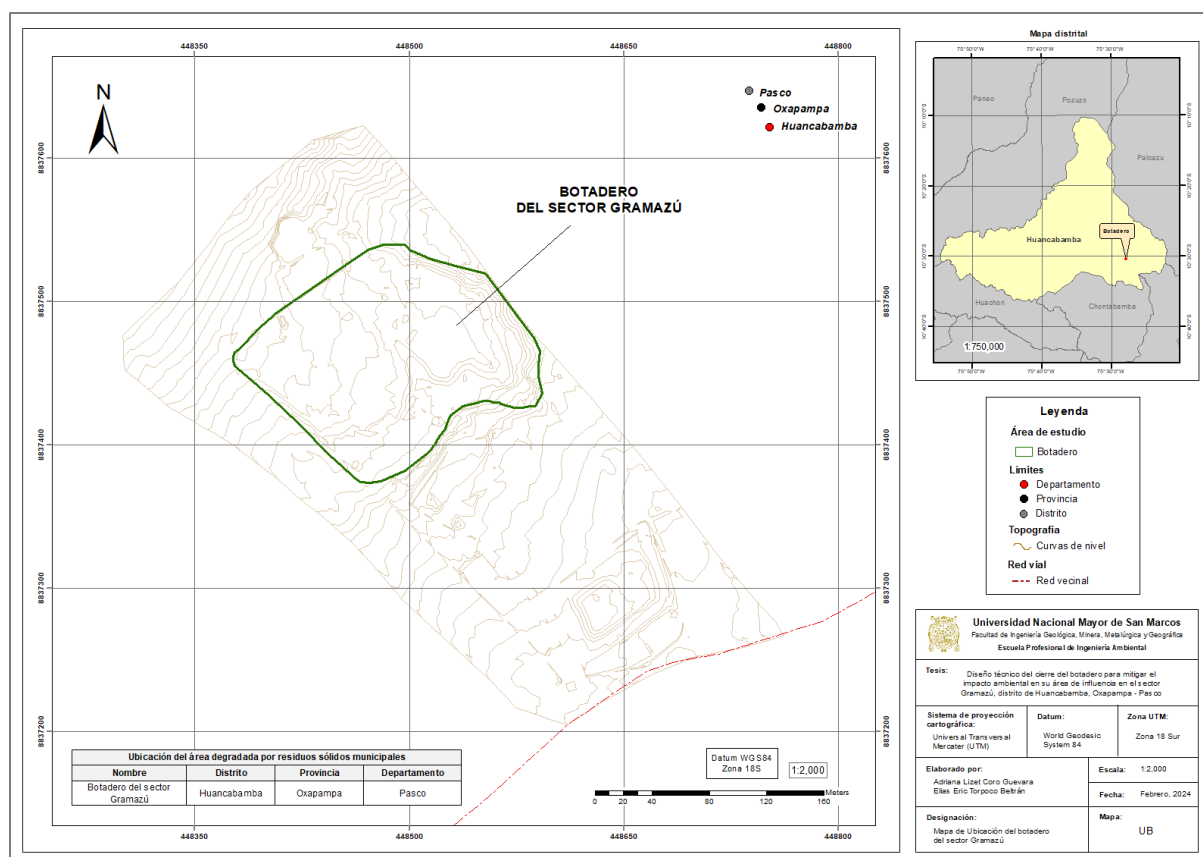
El área de estudio corresponde al botadero del sector Gramazú, administrado por la municipalidad provincial de Oxapampa y el cual recepcionó hasta el 2018 los residuos sólidos de ámbito municipal generados por los pobladores de los distritos de Oxapampa, Huancabamba y Chontabamba. El botadero se ubica en el sector Gramazú Carolina - III Etapa, distrito de Huancabamba, provincia de Oxapampa y departamento de Pasco, tal como se representa en la figura N° 3. Asimismo, cabe mencionar que posee una extensión de 21 525,82 m<sup>2</sup> y una altitud promedio de 1 842 m.s.n.m. Las coordenadas UTM del botadero se muestran en la tabla N° 8.

**Tabla N° 8: Coordenadas UTM del área de estudio**

| Área de estudio             | Coordenadas UTM - WGS84 (Zona 18S) |           |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------|
|                             | Este (X)                           | Norte (Y) |
| Botadero del sector Gramazú | 448 463                            | 8 837 465 |

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

**Figura N° 3: Ubicación del botadero del sector Gramazú**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

## 4.2. Diseño de investigación

### 4.2.1. Diseño

El diseño de la investigación se caracteriza por ser No Experimental en vista de que no hubo una manipulación intencional de las variables, solo se observó los fenómenos en su contexto natural para que puedan ser analizados y; a su vez, se clasifica como Transeccional o Transversal en virtud de que la recolección de datos se dio en un momento dado (Hernández Sampieri et al., 2014).

### 4.2.2. Tipo

El tipo de investigación es aplicada, siendo así que permite aplicar conocimientos para evaluar la sostenibilidad del diseño técnico del botadero del sector Gramazú.

#### **4.2.3. Alcance**

El alcance de la investigación es Correlacional, toda vez que permite conocer la relación o grado de asociación entre las variables (Hernández Sampieri et al., 2014), esto es, la propuesta de diseño técnico de cierre y el impacto ambiental en el área de influencia del botadero del sector Gramazú.

#### **4.3. Población y Muestra**

La presente investigación determinó como población a los botaderos considerados como zonas prioritarias por el MINAM y ubicados en la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco, los cuales son: el botadero «San Jorge Gramazo» del sector Gramazú y el botadero Prusia del distrito de Pozuzo. Asimismo, se definió como muestra al botadero del sector Gramazú, el cual recepcionó los residuos sólidos de la municipalidad provincial de Oxapampa y las municipalidades distritales de Huancabamba y Chontabamba.

#### **4.4. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información**

##### **4.4.1. Procedimiento**

La investigación ha sido desarrollada en las siguientes fases:

##### **4.4.1.1. Diagnóstico ambiental en el botadero del sector Gramazú**

Se realizó una visita de campo antes del inicio de actividades de cierre del botadero del sector Gramazú con el fin de realizar un levantamiento de información *in situ* de la actual situación del botadero. Adicionalmente, se empleó la información del «*Plan de Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos del ámbito municipal - Oxapampa*» (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al., 2021).

A partir de la citada información, se recopiló y analizó los Estudios básicos de ingeniería:

- Estudio de Topografía y Geodesia
- Estudio Geológico y Geotécnico
- Estudio de Geofísica

- Estudio de Monitoreo Ambiental Basal

Esta información nos permitió conocer a nivel de ingeniería aquellos factores que determinan e influyen la interacción del botadero con su entorno.

#### 4.4.1.2. Percepción social

La encuesta fue el mecanismo de comunicación utilizada para conocer la percepción de la población ante la existencia del botadero en el sector Gramazú, así como, ante la propuesta de cierre del mismo.

Considerando que no existía un registro cartográfico de viviendas en la zona del botadero, se procedió al conteo de las mismas en forma presencial en los cinco sectores aledaños al botadero, determinándose 250 en su totalidad. Por lo tanto, asegurando la representatividad para el presente estudio, se aplicaron las encuestas al 10% del total de viviendas identificadas, siendo distribuidas de acuerdo a la tabla N° 9.

**Tabla N° 9: Organización de encuestas**

| Lugar                                                    | N° de encuesta |
|----------------------------------------------------------|----------------|
| Zona distrital de Huancabamba (área próxima al botadero) | 10             |
| Zona distrital de Chontabamba                            | 5              |
| Comunidad Nativa Tsachopen                               | 5              |
| Oxapampa (ciudad)                                        | 5              |
| <b>Total</b>                                             | <b>25</b>      |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

La encuesta de alternativas múltiples fue validada por juicio de expertos. El diseño de la encuesta se adjunta en el Anexo N° 02.

#### 4.4.1.3. Descripción del diseño técnico

A partir de la información recabada de los Estudios Básicos de ingeniería y las características ambientales del entorno donde se emplaza el botadero, se procedió a describir

el diseño técnico con el fin de identificar todos aquellos sistemas empleados para controlar y mitigar el impacto ambiental que genera el botadero.

Asimismo, se elaboraron matrices de evaluación de impactos para determinar el nivel de mitigación de los impactos ambientales en un escenario sin diseño técnico y otro con diseño técnico. Estas matrices permiten recoger los resultados de la caracterización y valoración de impactos (Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM, 2018).

#### **4.4.1.4. Validación de la sostenibilidad del diseño técnico**

Con el fin de conocer la sostenibilidad del diseño técnico, se evaluó mediante:

##### **4.4.1.4.1. Juicio de expertos**

Se definieron cinco criterios para cada eje: económico, social y ambiental, los cuales fueron validados por juicio de expertos con competencias en proyectos similares. La evaluación de los criterios se realizó bajo el método de la escala de Likert modificada.

#### **Escala de Likert**

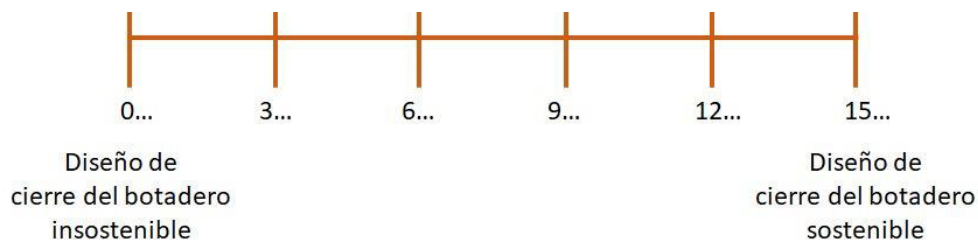
El método para la medición de las variables por escalas que se empleó en las encuestas fue la escala de Likert modificada, la cual consiste en presentar enunciados en forma de afirmaciones de los cuales se espera los participantes tengan una reacción que se categorice dentro de la escala propuesta (Hernández et al., 2014).

La codificación de la escala fue definida entre los valores de 0 a 1, asignándose el valor de:

- 0 a las respuestas de especialistas que están en desacuerdo con el enunciado referido al diseño de cierre del botadero.
- 1 a las respuestas de especialistas que están de acuerdo con el enunciado referido al diseño de cierre del botadero.

Las puntuaciones de la escala de Likert se obtienen sumando los valores alcanzados respecto a cada enunciado siendo la puntuación mínima de 0 y la máxima de 15, tal como se muestra en la figura N° 4 y la tabla N° 10, que refiere al nivel de sostenibilidad.

**Figura N° 4: Puntuaciones de la Escala de Likert**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

**Tabla N° 10: Nivel de sostenibilidad**

| Rango   | Nivel de sostenibilidad |
|---------|-------------------------|
| 12 – 15 | Sostenible              |
| 9 – 11  | Medianamente sostenible |
| 0 – 8   | No es sostenible        |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

#### **4.4.1.4.2. Percepción de la población**

Se realizó una visita de campo posterior al cierre del botadero del sector Gramazú para ejecutar una encuesta que permita conocer la percepción de la población.

El número y distribución de muestras se realizó teniendo en consideración la organización de encuestas citadas en el ítem 4.4.1.2. *Percepción social*.

La encuesta dicotómica fue validada por juicio de expertos. El diseño de la encuesta se adjunta en el Anexo N° 02.

#### **4.4.2. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas son aquellos procedimientos que permiten obtener la información necesaria para el objeto de investigación (Hernández et al, 2020), de esta manera, las técnicas empleadas en la presente investigación comprendieron:

- Revisión documental: Recopilación y análisis de documentación de fuente secundaria, esto es, instrumentos elaborados por las autoridades nacionales y vinculados a la gestión y manejo de los residuos sólidos.

- Encuestas: Diseñadas a fin de obtener información específica del público objeto de estudio, utilizando para ello cuestionarios.

#### **4.4.3. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos tienen como finalidad brindar las condiciones para la medición de los datos (Hernández et al, 2020), en ese sentido, para la presente investigación se empleó como instrumentos de recolección los siguientes:

- Software: Se emplearon los softwares ArcGIS 10.7 y Microsoft Excel Versión 2401 para el procesamiento de la información obtenida mediante revisión documental.
- Cuestionarios: Se elaboraron dos cuestionarios dirigidos a la población con la finalidad de conocer su percepción, tanto previa como posterior al cierre del botadero. Adicionalmente, se desarrolló un tercer cuestionario diseñado para ser sometido a juicio de expertos, a fin de analizar la sostenibilidad del diseño técnico de cierre.
- Escala de Likert: Permitió la medición de las variables por escalas empleadas en el cuestionario para juicio de expertos. De igual manera, fue empleada para el análisis de los impactos ambientales del diseño técnico del botadero.

#### **4.5. Análisis estadístico**

Los resultados de las encuestas aplicadas a la población en el área de estudio fueron procesados mediante la estadística descriptiva, la cual permite extraer de los datos algunas propiedades que describan las características y comportamiento de un grupo particular de personas, en este caso, la población aledaña al botadero del sector Gramazú. Además, para facilitar la visualización de los resultados, se empleó la técnica gráfica del diagrama circular.

De igual manera, para evaluar la sostenibilidad del diseño de cierre de botadero, las respuestas de los cuestionarios bajo juicio de expertos fueron procesadas a través de la estadística descriptiva.

En este sentido, para el procesamiento de información de la data recopilada, se empleó el software Microsoft Excel.

## CAPÍTULO V

### 5. RESULTADOS

#### 5.1. Condiciones ambientales del área de influencia del botadero del sector

##### Gramazú

El botadero del sector Gramazú surgió como lugar de disposición final de residuos sólidos municipales para los distritos de Oxapampa, Huancabamba y Chontabamba, contando con seis chimeneas, drenes de captación de lixiviados y una poza de lixiviados, sin embargo, no cumplía con los criterios técnicos y legales requeridos a través del «*Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*» (Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, 2017) y su modificatoria. De esta manera, el botadero operó desde el 2007 hasta el 2018, año en el que se continuó el servicio en el relleno sanitario que colinda con el botadero.

Los residuos sólidos se encontraban dispuestos en todo el botadero sin ser apilados, cada vez que eran depositados se ejecutaba su compactación y se cubrían con material propio del lugar, evidenciándose el crecimiento de una capa de vegetación natural. Por otro lado, por las características climatológicas del área se evidenció la existencia de residuos sólidos humedecidos, además de poseer un alto contenido de material orgánico debido a la composición de los residuos sólidos depositados que se caracterizaban por ser de «materia orgánica (65,16%), residuos inertes (6,67%), residuos sanitarios (6,25%), bolsas (4,61%), madera, follaje (2,44%), telas, textiles (2,15%), cartón (2,10%), entre otros» (Municipalidad Provincial de Oxapampa, 2013).

No se identificó la presencia de recicladores en el botadero ni el desarrollo de actividades como la crianza de animales o campos de cultivos en sus alrededores, por el contrario, sí se evidenció la presencia de roedores y moscas, los cuales representan vectores de propagación de enfermedades.

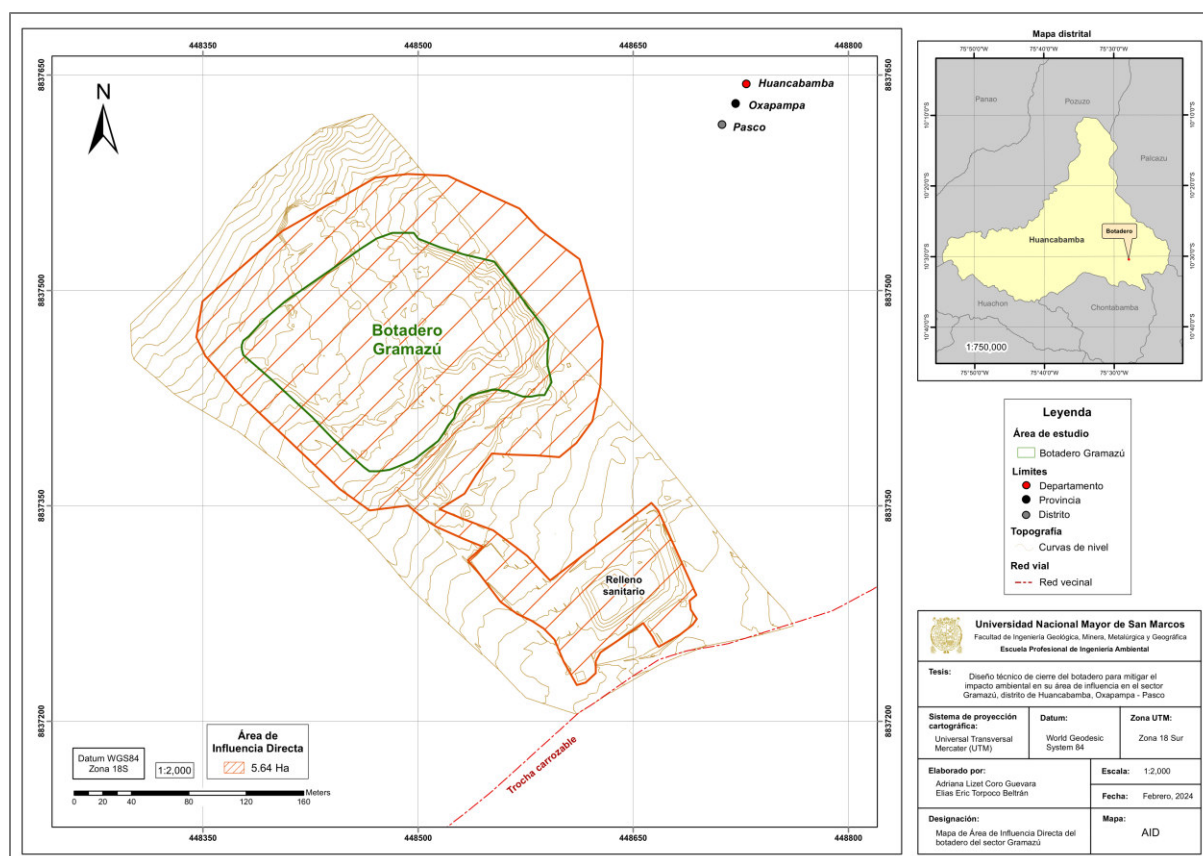
### 5.1.1. Área de influencia del botadero

El área de influencia se ha delimitado en base a los potenciales impactos ambientales originados por la existencia del botadero, de esta manera, se han identificado los criterios para determinar el área de influencia directa e indirecta del botadero, los mismos que se describen a continuación.

#### 5.1.1.1.1. Área de influencia directa

El área de influencia directa ha sido delimitada por el espacio donde se emplaza el botadero y el alcance de sus potenciales impactos producto de la generación de gases, lixiviados, olores y proliferación de vectores definido en un radio de 50 m; a excepción del lado oeste, donde se ha considerado un radio de 20 m por la presencia de especies arbóreas que sirven como barrera natural. Abarcándose así un área estimada de 5,64 ha, tal como se muestra en la figura N°5.

Figura N° 5: Área de influencia directa del botadero



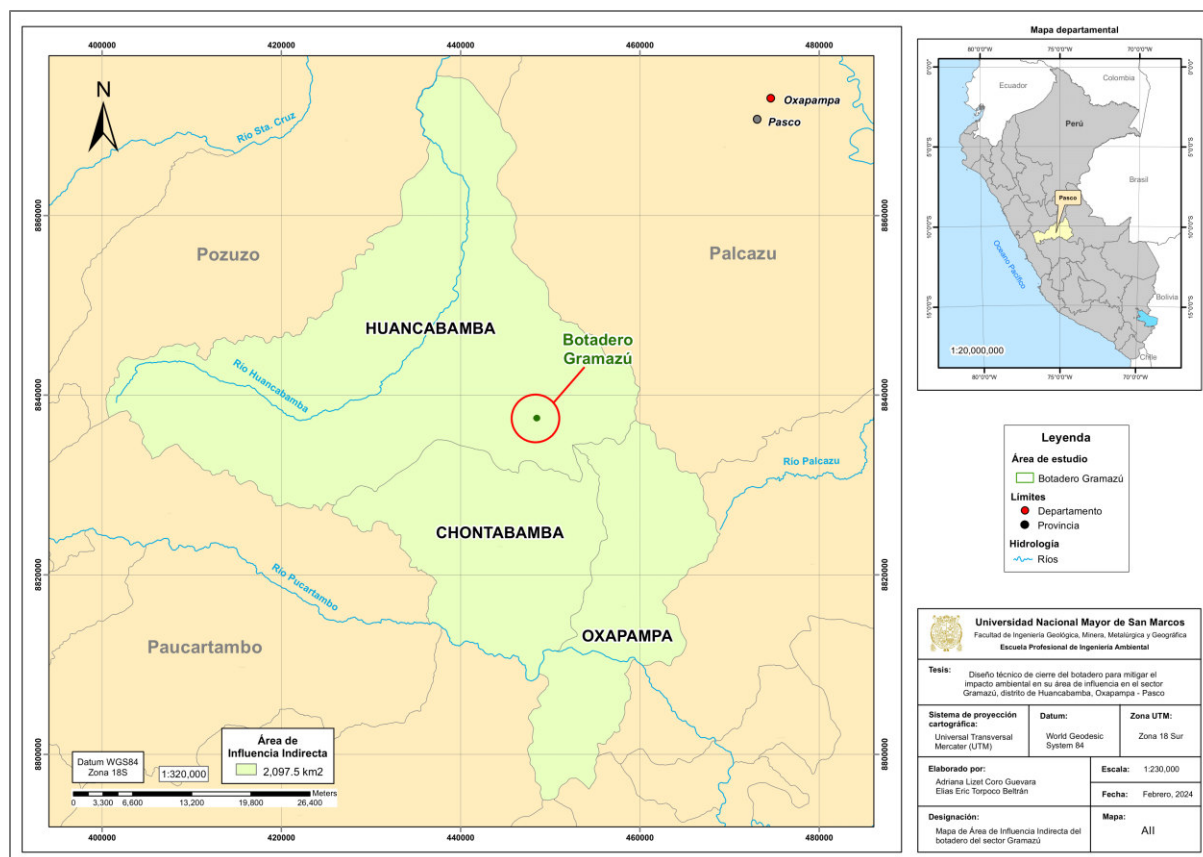
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Así también, se consideró a las actividades económicas o infraestructuras colindantes al botadero y que se vieron potencialmente afectadas, lo que incluye al relleno sanitario de Oxapampa y sus áreas administrativas. No se consideró el aspecto poblacional debido a que se identificó que la población más cercana se encuentra a 300 m de distancia, y especies arbóreas permiten delimitar la dispersión de gases y olores, así como la proliferación de vectores.

#### 5.1.1.1.2. Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta ha sido delimitada por el espacio geográfico donde se manifestaron los impactos indirectos, y que además involucra poblaciones cuyos servicios ecosistémicos se vieron potencialmente afectados por la existencia del botadero. De esta manera, se delimitó como área de influencia indirecta a los distritos de Oxapampa, Huancabamba y Chontabamba, los cuales han sido usuarios del botadero, comprendiendo un área total de 2 097,5 km<sup>2</sup>, tal como se muestra en la figura N° 6.

**Figura N° 6: Área de influencia indirecta del botadero**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

### **5.1.2. Características del medio físico, biológico y social**

#### **5.1.2.1. Medio Físico**

De acuerdo al «*Plan de Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos del ámbito municipal - Oxapampa*», elaborado por IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021), el área donde se ubica el botadero presenta las siguientes características en el medio físico:

##### **A) Clima**

El botadero se caracteriza por poseer un clima semicálido, lluvioso, con precipitación abundante en todas las estaciones, con humedad relativa calificada como muy húmeda - B(r) B'1 H4.

##### **B) Meteorología**

###### **○ Precipitación**

La precipitación total anual en el distrito de Huancabamba es de 1 674 mm. Las mayores precipitaciones se registran en periodo de invierno, el cual comprende los meses de noviembre a abril, siendo febrero el mes más lluvioso con 263,8 mm de precipitación mensual promedio; por otro lado, el mes de junio es el menos lluvioso con 38,9 mm de precipitación mensual promedio.

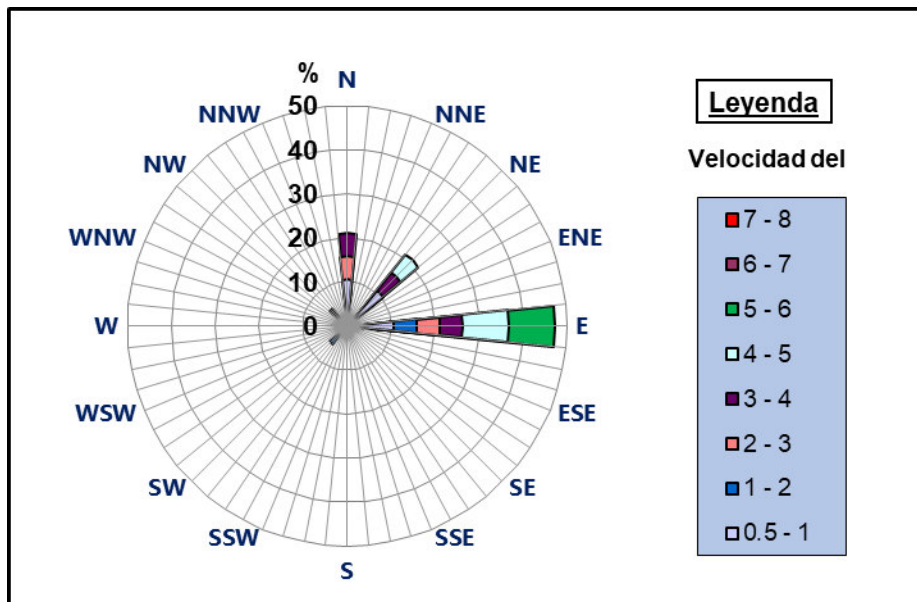
###### **○ Temperatura**

La temperatura media anual en el distrito de Huancabamba es de 17,8° C, siendo la temperatura media mensual más baja entre los meses de mayo a junio, y la más alta registrada en el mes de noviembre con 18,4° C.

###### **○ Dirección y velocidad del viento**

La velocidad del viento promedio en el distrito de Huancabamba es de 2,5 m/s, denominándose de «brisa suave» según la escala de Beaufort. En cuanto a la dirección del viento, estos provienen predominantemente del este, tal como se representa en la figura N° 7.

Figura N° 7: Rosa de vientos



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### ○ Humedad relativa

La humedad relativa promedio anual en el distrito de Huancabamba es de 86,1%, siendo el máximo valor en el mes de febrero con 88,3%, y el mínimo en el mes de agosto con 83,7%.

#### 5.1.2.2. Medio biológico

De acuerdo al «*Plan de Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos del ámbito municipal - Oxapampa*» (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al., 2021), el área del botadero se ubica en la ecorregión «Selva Alta o Yunga», caracterizándose por poseer un sistema de montañas con fuertes pendientes, un clima de alta humedad y presencia de bosques densos.

Respecto a la flora y fauna característica del lugar, se evidenció la siguiente información de acuerdo a la Línea de Base Biológica del citado Plan:

#### A) Flora

La diversidad de la flora en el ámbito de estudio está constituida por 30 familias que agrupan 36 especies, y estas a su vez integran a 520 individuos. La familia Urticaceae es la más

diversa con 4 especies: *Cecropia membranacea*, *Myriocarpa stipitata*, *Urera baccifera* y *Myriocarpa sp.* Respecto a la abundancia de especies, se registró la mayor cantidad de individuos de *Heliconia sp.* con 28 (5,4%), *Piper reticulatum* con 27 (5,2%) y *Pennisetum purpureum* con 27 (5,2%) individuos.

## **B) Fauna**

La diversidad de la fauna en el área de influencia del botadero fue evaluada en cuatro taxas: Ornitofauna (aves), mastofauna (mamíferos), herpetofauna (anfibios y reptiles) y entomofauna (insectos); obteniéndose el siguiente registro:

- Ornitofauna: Se registró un total de 9 familias que agrupan 16 especies, y estas a su vez integran a 60 individuos. Las especies de mayor abundancia la conforman: *Phylloscartes poecilotis* con 9 (15%), *Dysithamnus mentalis*, *Thraupis sp.* y *Polioptila caerulea* con 7 (12%) individuos cada una.
- Mastofauna: Se registraron 4 familias que albergan 4 especies, y estas a su vez integran a 6 individuos. Los mamíferos de mayor abundancia fueron: *Dasyurus sp.* y *Coendou bicolor* con 2 (33%) individuos cada una.
- Herpetofauna: Se registraron 3 familias de anfibios y reptiles: Craugastoridae, Bufonidae y Gymnophthalmidae, en donde se distribuyen 3 especies con 1 individuo cada una.
- Entomofauna: Se registraron 6 especies que agrupan un total de 30 individuos, siendo las de mayor abundancia la especie *Aedes sp.* con 12 (40%) y *Aphodius elevatus* con 10 (33%) individuos.

### **5.1.2.3. Medio social**

De acuerdo al «Plan de Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos del ámbito municipal - Oxapampa» (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al., 2021), el área donde se ubica el botadero presenta las siguientes características en el medio social:

### **A) Características de la población**

El distrito Huancabamba, donde se asienta el botadero, posee un total de 6 661 habitantes, siendo el 55,2% de la población perteneciente al ámbito rural (1 966 hombres y 1 709 mujeres) y el 44,8% restante, al ámbito urbano (1 549 hombres y 1 437 mujeres). Asimismo, la población predominante por rango de edad es aquella que se encuentra entre 1 a 14 años con 1 943 habitantes, caso contrario, la población mayor a 65 años, es la menos predominante con 479 habitantes.

El centro poblado «San Jorge» es el más cercano al área de estudio, ubicado a 300 m del botadero, seguido de «Alto Gramazú» a 1,7 km.

### **B) Principales actividades económicas**

El distrito Huancabamba posee una población económicamente activa de 2 726 personas, cuya principal actividad económica es la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con una cantidad de 1 997 habitantes, seguido de la comercialización, reparación de vehículos y mototaxis con un total de 138 personas dedicadas a este rubro.

### **C) Educación**

Las instituciones educativas más cercanas al emplazamiento del botadero son las siguientes:

- IE 34215: Ubicada en Gramazú, a una distancia de 2 km del botadero.
- IE 34538: Ubicada en la carretera San Jorge altura del Km 17, a una distancia de 1,7 km del botadero.

### **D) Salud**

De acuerdo con la ubicación del botadero, el centro de salud más próximo es el Hospital Ernesto Germán Guzmán Gonzales del Ministerio de Salud (MINSA), ubicado en el distrito de Huancabamba a 2,1 km del botadero y siendo considerado como el más implementado.

Respecto a los índices de morbilidad y mortalidad en el distrito de Huancabamba, se obtuvo el siguiente registro:

- Las infecciones agudas de las vías respiratorias superiores son la principal causa de morbilidad con 953 casos registrados; seguido de las enfermedades del esófago, del estómago y del duodeno, con 570 casos.

- La neumonía bacteriana, no especificada con un 10,2% es la principal causa de mortalidad registrada en el Hospital Ernesto Germán Guzmán Gonzáles, seguido de infección de vías urinarias, sitio no especificado (6,1%) y serpis, no especificado (6,1%).

### **5.1.3. Estudios de ingeniería**

De acuerdo a los Estudios básicos de ingeniería del «*Plan de Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos del ámbito municipal - Oxapampa*» (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al., 2021), se identificó los siguientes resultados en el área donde se ubica el botadero:

#### **5.1.3.1. Estudio de Topografía y Geodesia**

El estudio de Topografía y Geodesia permitió conocer las características físicas y geomorfológicas del área del botadero a través del método de posicionamiento diferencial con post proceso. La superficie total de trabajo se delimitó con el sobre vuelo de un dron, abarcando la zona del botadero y las áreas aledañas, incluyendo parte del relleno sanitario.

El levantamiento determinó que los residuos sólidos no se encuentran expuestos y el volumen total dispuesto en el botadero es de aproximadamente 61 069 m<sup>3</sup>. El botadero posee un talud de altura entre los cinco (5) y seis (6) metros con una pendiente acusada en la zona noreste, además, en algunos puntos llega a alcanzar una pendiente de 45°.

#### **5.1.3.2. Estudio Geológico y Geotécnico**

El estudio Geológico y Geotécnico permitió identificar las unidades geológicas y geomorfológicas a nivel regional y local, las características hidrológicas, hidrogeológicas, geodinámicas y geotécnicas del área del botadero.

Los resultados indican que el terreno de estudio se ubica en las laderas inferiores de un cerro de pendiente moderada a alta, superficialmente está conformado por un suelo detrítico de origen coluvio aluvial y los alrededores presentan una densa vegetación arbórea y herbácea. Geodinámicamente, los suelos del área están expuestos a fenómenos de erosión

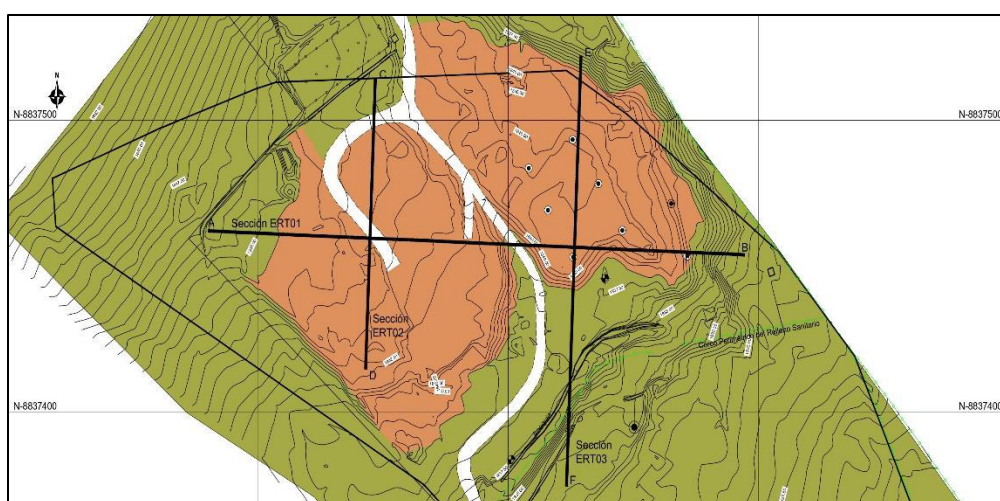
principalmente por las intensas precipitaciones y la escasa cobertura vegetal, así también, su localización lo sitúa en una zona de sismicidad media.

El cálculo de la estabilidad del botadero se realizó en condiciones estática y pseudo estática, tomando como factores la presencia de lixiviados y la infiltración de lluvias, y así se demostró que el botadero se encuentra por debajo del factor de seguridad, es decir, se califica como inestable.

### 5.1.3.3. Estudio de Geofísica

El estudio Geofísico permitió conocer la resistividad eléctrica en profundidad y, a partir de ello, determinar las zonas saturadas con la presencia de lixiviados y la existencia o no de aguas subterráneas en el área del botadero. Para lo mencionado, se trazaron tres secciones de Tomografía Eléctrica: ERT01, ERT02 y ERT03, tal como se muestran en la figura N° 8.

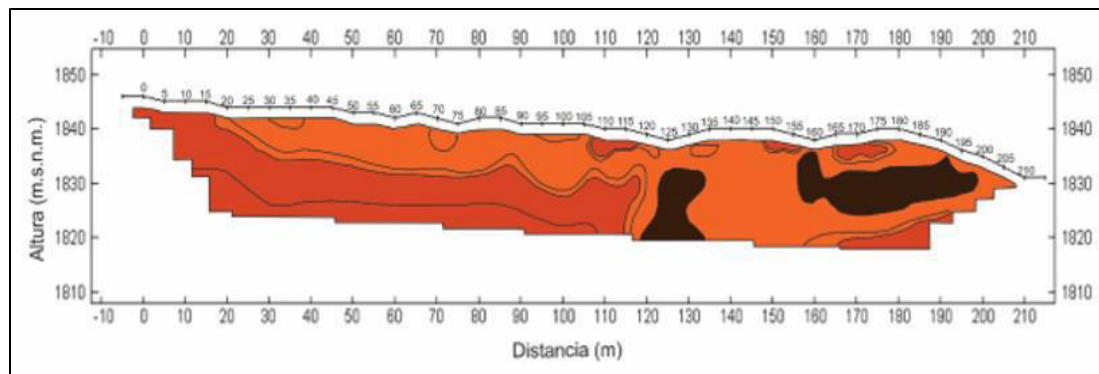
**Figura N° 8: Secciones de Tomografía Eléctrica**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

Los trabajos determinaron anomalías geofísicas representadas por los bajos valores obtenidos del parámetro de resistividad ( $<30 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ ), lo que denota la presencia de lixiviados y residuos y/o depósitos cuaternarios con presencia de lixiviados, identificados hasta los 18 metros de profundidad desde la base (Primer horizonte), y distribuidos como se muestra en las figuras N° 9, N° 10 y N° 11.

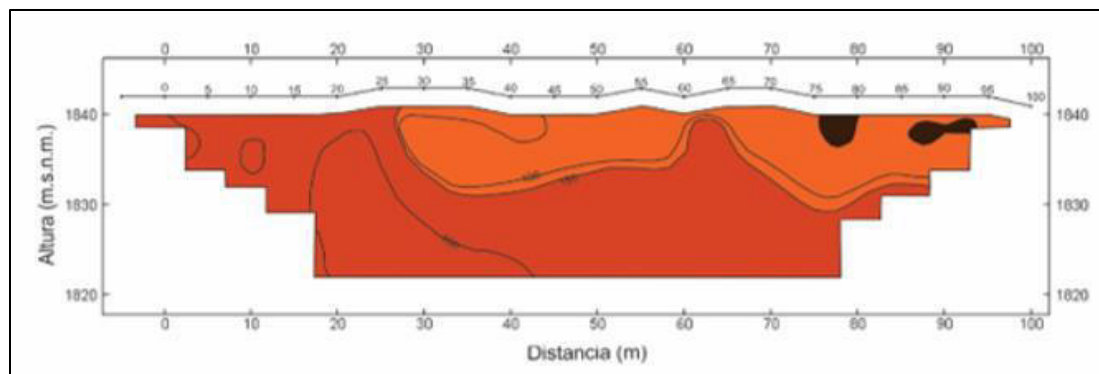
**Figura N° 9: Sección ERT01**



- Lixiviados < 30 Ohm\*m
- Residuos y/o depósitos cuaternarios con presencia de lixiviados 72 a 120 Ohm\*m
- Depósitos antrópicos a nivel superficial (sector central y final de la sección) > 200 Ohm\*m
- Depósito cuaternarios o roca muy fractura (sector inicial y final de la sección a profundidad) 120 a 700 Ohm\*m

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

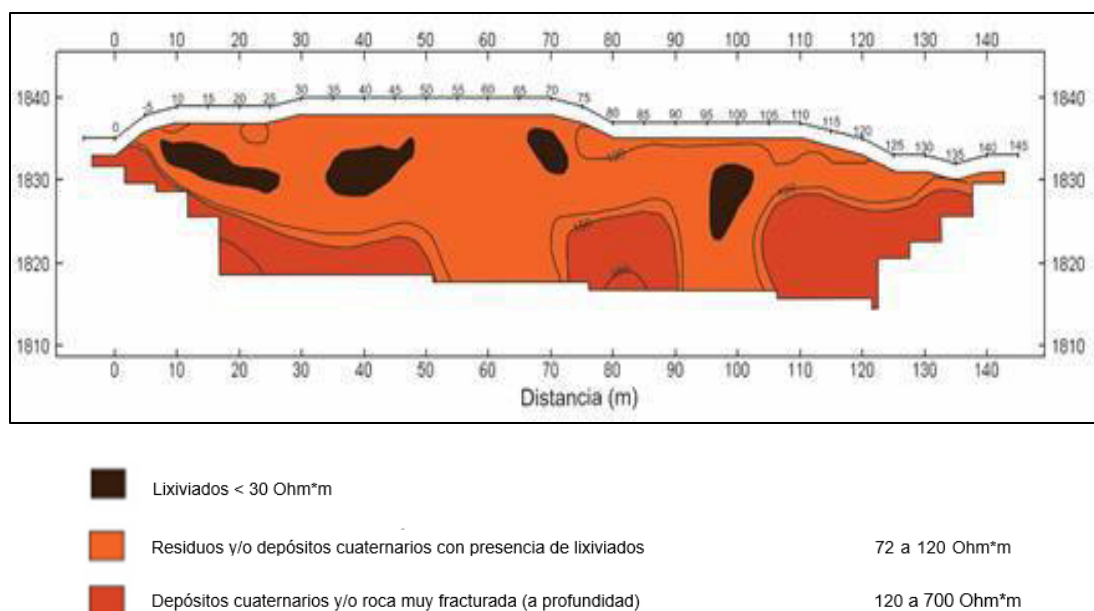
**Figura N° 10: Sección ERT02**



- Lixiviados < 30 Ohm\*m
- Residuos y/o depósitos cuaternarios con presencia de lixiviados 72 a 120 Ohm\*m
- Residuos resistentes a nivel superficial (parte inicial de sección) > 150 Ohm\*m
- Depósitos cuaternarios y/o roca (a profundidad) 120 a 700 Ohm\*m

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

**Figura N° 11: Sección ERT03**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

No se evidenció la existencia de un nivel freático hasta los 25 metros, que pueda verse afectado por la infiltración de los lixiviados, únicamente la presencia de suelos saturados relacionados a la ocurrencia de precipitaciones en la zona. Los ensayos de permeabilidad indicaron que los suelos presentan una permeabilidad media.

#### **5.1.3.4. Estudio de Monitoreo Ambiental Basal**

La calidad ambiental del área donde se emplaza el botadero fue evaluada a través de monitoreos ambientales realizados en el 2020, obteniendo la siguiente información:

##### **5.1.3.4.1. Monitoreo de agua**

Para conocer la calidad del componente agua, se realizaron monitoreos en agua superficial y agua de infiltraciones.

#### **A) Monitoreo de agua superficial**

Se establecieron dos puntos de muestreo en el curso de agua ubicado a 200 m del botadero, tomando la muestra aguas arriba (CAS-1) y aguas abajo (CAS-2), con la finalidad de conocer los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial.

Los resultados fueron comparados con los «Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua» aprobados por Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM; obteniéndose que todos los parámetros se encuentran dentro del rango establecido.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en la tabla N° 11.

**Tabla N° 11: Resultados del monitoreo de agua superficial**

| Puntos de muestreo                  | Unidad de medida | CAS-1     | CAS-2     | D1: Riego de vegetales             |                             | D2: Bebida de animales |
|-------------------------------------|------------------|-----------|-----------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Fecha y hora de muestreo            |                  | 8/08/2020 | 8/08/2020 | Agua para riego no restringido (C) | Agua para riego restringido | Bebida de animales     |
|                                     |                  | 10:30     | 11:20     |                                    |                             |                        |
| Análisis de campo                   |                  |           |           |                                    |                             |                        |
| pH                                  | Unidad de pH     | 7,20      | 7,25      | 6,5-8,5                            |                             | 6,5-8,4                |
| Temperatura                         | °C               | 15,8      | 16,7      | Δ 3                                |                             | Δ 3                    |
| Oxígeno disuelto                    | mg/L             | 6,35      | 6,99      | >=4 mg/L                           |                             | >=5 mg/L               |
| Parámetros fisicoquímicos           |                  |           |           |                                    |                             |                        |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | mg/L             | < 2,0     | < 2,0     | 15 mg/L                            |                             | 15 mg/L                |
| Aceites y Grasas                    | mg/L             | < 0,2     | < 0,2     | 5 mg/L                             |                             | 10 mg/L                |
| Parámetros Microbiológicos          |                  |           |           |                                    |                             |                        |
| Coliformes Termotolerantes          | NMP/100 mL       | 2,7 E+02  | 1,7 E+02  | 1 000 NMP/100 mL                   | 2 000 NMP/100 mL            | 1 000 NMP/100 mL       |
| Coliformes Totales                  | --               | 2,4 E+03  | 1,7 E+04  | --                                 | --                          | --                     |

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

## B) Monitoreo de agua de infiltraciones

Se estableció un punto de muestreo (ASB-1) en una calicata realizada en la parte baja del botadero en donde se habían encontrado residuos sólidos, con la finalidad de conocer los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de infiltraciones.

Los resultados fueron comparados de manera referencial con los ECA para Agua; obteniéndose que los parámetros de campo y fisicoquímicos se encuentran dentro del rango establecido, sin embargo, la concentración del parámetro de coliformes termotolerantes superó los ECA agua.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en la tabla N° 12.

**Tabla N° 12: Resultados del monitoreo de agua de infiltraciones**

| Puntos de muestreo                  | Unidad de    | ASB-1     | D1: Riego de vegetales             |                             | D2: Bedida de animales |
|-------------------------------------|--------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Fecha y hora de muestreo            | medida       | 7/08/2020 | Agua para riego no restringido (C) | Agua para riego restringido | Bebida de animales     |
|                                     |              | 16:00     |                                    |                             |                        |
| Análisis de campo                   |              |           |                                    |                             |                        |
| pH                                  | Unidad de pH | 7,68      | 6,5-8,5                            |                             | 6,5-8,4                |
| Temperatura                         | °C           | 17,0      | Δ 3                                |                             | Δ 3                    |
| Oxígeno disuelto                    | mg/L         | 6,72      | >=4 mg/L                           |                             | >=5 mg/L               |
| Parámetros fisicoquímicos           |              |           |                                    |                             |                        |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) |              |           |                                    |                             |                        |
|                                     | mg/L         | <2,0      | 15 mg/L                            |                             | 15 mg/L                |
| Aceites y Grasas                    | mg/L         | 0,5       | 5 mg/L                             |                             | 10 mg/L                |
| Parámetros microbiológicos          |              |           |                                    |                             |                        |
| Coliformes                          | NMP/100      | 9,4 E+04  | 1 000 NMP/100                      | 2 000                       | 1 000                  |
| Termotolerantes                     | mL           |           | mL                                 | NMP/100 mL                  | NMP/100 mL             |
| Coliformes Totales                  | NMP/100 mL   | 9,2 E+06  | --                                 | --                          | --                     |

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### 5.1.3.4.2. Monitoreo de aire

Para conocer la calidad del componente aire, se tomó dos estaciones de monitoreo cercanas al botadero (CA-1 y CA-2).

Los resultados fueron comparados con los «Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire» aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2017- MINAM, a excepción del parámetro plomo que fue comparado con la norma «*Air Pollution – Local Air Quality*». Se obtuvo que todos los parámetros se encuentran dentro del rango establecido.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en la tabla N°13.

**Tabla N° 13: Resultados del monitoreo de aire**

| Estación de monitoreo                                        |                   | CA-1      | CA-2      | Valor  |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|--------|
| Fecha y hora de muestreo                                     | Unidad de medida  | 4/08/2020 | 4/08/2020 |        |
|                                                              |                   | 10:30     | 10:40     |        |
| Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM10)   | µg/m <sup>3</sup> | 33,92     | 39,24     | 100    |
| Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM2.5) |                   | 24,89     | 13,12     | 50     |
| Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )                         |                   | <12,15    | <12,15    | 250    |
| Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )                      |                   | 76,64     | <8,75     | 200    |
| Monóxido de carbono (CO)                                     |                   | <652      | <652      | 10 000 |
| Sulfuro de hidrogeno (H <sub>2</sub> S)                      |                   | <2,104    | <2,104    | 150    |
| Ozono (O <sub>3</sub> )                                      |                   | <2,34     | <2,34     | 100    |
| COV-Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )                 |                   | <0,94     | <0,94     | 2      |
| Plomo (Pb) en filtro de PM <sub>10</sub>                     |                   | <0,004    | <0,001    | 0,5    |

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### 5.1.3.4.3. Monitoreo de ruido

Para la medición del nivel de ruido en el área de estudio, se tomaron cuatro puntos de medición ubicados al exterior, en los cuales se levantó la información en horario diurno.

Los resultados fueron comparados con los «Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido» aprobado mediante Decreto Supremo N° 085-2003- PCM; obteniéndose que en los cuatro puntos de medición no se excede el límite establecido.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en la tabla N°14.

**Tabla N° 14: Resultados del monitoreo de ruido**

| Punto de medición | Fecha de medición | Hora de medición | Resultados dB(A) |                  |                     | ECA <sup>(*)</sup> para ruido diurno (Zona Industrial) |
|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|
|                   |                   | Inicio           | L <sub>máx</sub> | L <sub>mín</sub> | L <sub>Aeq, T</sub> |                                                        |
| RA-1              | 21/09/2020        | 09:20            | 77,9             | 35,2             | <b>57,0</b>         | <b>80 dB(A)</b>                                        |
| RA-2              |                   | 09:53            | 79,2             | 45,6             | <b>59,8</b>         |                                                        |
| RA-3              |                   | 10:34            | 76,9             | 38,0             | <b>57,8</b>         |                                                        |
| RA-4              |                   | 11:08            | 63,8             | 33,3             | <b>49,3</b>         |                                                        |

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### 5.1.3.4.4. Monitoreo de suelo

Para conocer la calidad del componente suelo, se tomó dos puntos de muestreo (SU-1 y SU-2) ubicados pendiente abajo del botadero.

Los resultados fueron comparados con los «Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo» aprobado mediante Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM; obteniéndose que todos los parámetros se encuentran dentro del rango establecido.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en la tabla N°15.

**Tabla N° 15: Resultados del monitoreo de suelo**

| Puntos de Muestreo                      |           | SU-1      | SU-2      | Estándares de     |
|-----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Fecha y Hora de Muestreo                | Unidad De | 7/08/2020 | 7/08/2020 | Calidad Ambiental |
|                                         | Medida    | 11:30     | 12:20     | ECA Para Suelo    |
|                                         |           |           |           | (Mg/kg Ps)        |
| Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10)   |           | < 0,1     | < 0,1     | 200               |
| Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28) |           | <0,9      | <0,9      | 1 200             |
| Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40) |           | <0.9      | <0.9      | 3 000             |

| Puntos de Muestreo       |                  | SU-1               | SU-2               | Estándares de                                     |
|--------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------|
| Fecha y Hora de Muestreo | Unidad De Medida | 7/08/2020<br>11:30 | 7/08/2020<br>12:20 | Calidad Ambiental<br>ECA Para Suelo<br>(Mg/kg Ps) |
| Arsénico                 |                  | <2,21              | <2,21              | 50                                                |
| Bario total              |                  | 32,20              | 98,73              | 750                                               |
| Cadmio                   |                  | <0,04              | <0,04              | 1,4                                               |
| Cromo VI                 |                  | <0,30              | <0,30              | 0,4                                               |
| Mercurio                 |                  | <1,00              | <1,00              | 6,6                                               |
| Plomo                    |                  | <0,87              | <0,87              | 70                                                |
| Cianuro libre            |                  | <0,193             | <0,193             | 0,9                                               |

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### 5.1.3.4.5. Monitoreo de lixiviados

Para conocer las características de los lixiviados, se tomó un punto de muestreo (LIX-1) ubicado en un talud del botadero en donde se identificó la presencia de lixiviados, cuyos resultados fueron comparados de manera referencial con los «*Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas*» aprobado mediante Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Se obtuvo que los parámetros: arsénico total, cadmio total, plomo total y mercurio total, no superan los límites establecidos; sin embargo, el valor del pH y las concentraciones de los sólidos totales en suspensión, cobre total y zinc total, no se encuentran en el rango permitido.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en la tabla N° 16.

**Tabla N° 16: Resultados del monitoreo de lixiviados**

| Punto de muestreo             |                  | LIX-1              | Límite en cualquier |
|-------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Fecha y hora de muestreo      | Unidad de medida | 8/08/2020<br>12:30 | momento<br>(mg/L)   |
| pH                            | Unidad de pH     | 4,13               | 6-9                 |
| Sólidos Totales en Suspensión | mg/L             | 1 577              | 50                  |
| Arsénico Total                |                  | < 0,001            | 0,1                 |

| Punto de muestreo        |                  | LIX-1              | Límite en cualquier |
|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Fecha y hora de muestreo | Unidad de medida | 8/08/2020<br>12:30 | momento<br>(mg/L)   |
| Cadmio Total             |                  | <0,00005           | 0,05                |
| Cobre Total              |                  | 14,89              | 0,5                 |
| Plomo Total              |                  | <0,0004            | 0,2                 |
| Mercurio Total           |                  | <0,0001            | 0,002               |
| Zinc Total               |                  | 2 081              | 1,5                 |

Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### 5.1.3.4.6. Monitoreo de biogás

Para conocer las mediciones de biogás, se tomó un punto de medición (COV-1) ubicado en el área donde se encuentran los tubos de venteo del botadero.

Debido a que a la fecha no se cuenta con normativa para biogás, los resultados fueron comparados con el «Reglamento sobre Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo» aprobado mediante Decreto Supremo N° 015-2015-SA y en los TLVs y BEIs 2020 de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales - ACGIH, además del Nivel de Acción establecido por el *National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH*.

Se obtuvo que los parámetros de los compuestos orgánicos volátiles se encuentran dentro de los valores establecidos por ambas normativas, con un valor de cero ppm para biogás; de esta manera, se demuestra la no existencia de biogás en el área del botadero.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en la tabla N°17.

**Tabla N° 17: Resultados del monitoreo de biogás**

| Código | Parámetros                     | Stel<br>PPM | Nivel de acción<br>PPM | Tlv-stel<br>PPM |
|--------|--------------------------------|-------------|------------------------|-----------------|
| G-1    | Compuestos Orgánicos Volátiles | 0           | 1,25                   | 2,5             |
|        | Tolueno                        | 0           | 50                     | 100             |
|        | Etilbenceno                    | 0           | 62,5                   | 125             |

| Código | Parámetros | Stel | Nivel de acción | Tlv-stel |
|--------|------------|------|-----------------|----------|
|        |            | PPM  | PPM             | PPM      |
|        | Xileno-o   | 0    | 75              | 150      |
|        | Amoniaco   | 0    | 17,5            | 35       |
|        | n-Hexano   | 0    | 75              | 150      |
|        | Propeno    | 0    | 750             | 1 500    |
|        | Metano     | 0    | -               | -        |

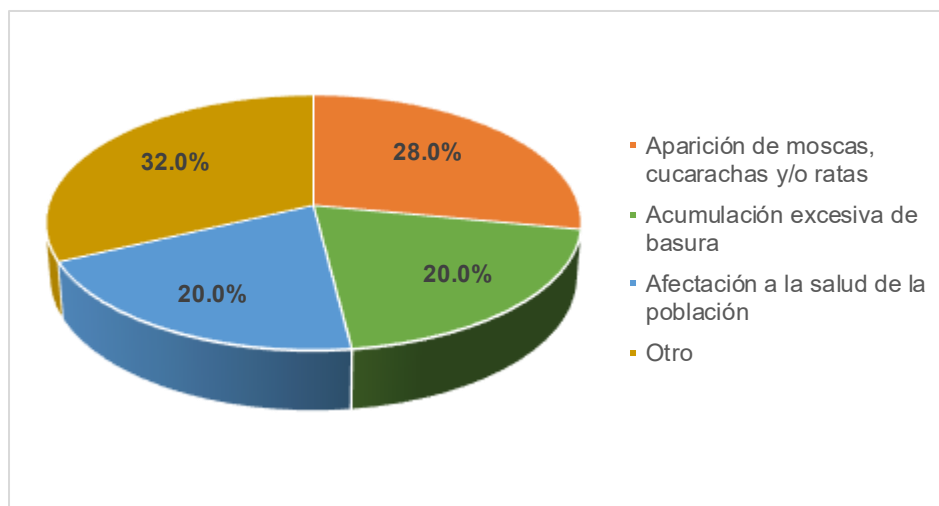
Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### **5.1.4. Percepción de la población del área de influencia frente al cierre del botadero**

La sistematización del total de encuestas (25) realizadas a la ciudadanía, permitió obtener los siguientes resultados:

- Respecto al principal problema causado por el botadero, los encuestados manifestaron que es la acumulación excesiva de basura y afectación a la salud de la población (20% en ambos casos), la aparición de moscas, cucarachas y/o ratas (28%) y la degradación del territorio y malos olores en un 32%; denotando así una oposición de la población frente al botadero, tal como se muestra en la figura N° 12. Cabe mencionar que, respecto al problema de afectación a la salud de la población, de acuerdo a la información de los encuestados, entre 5 a 7 viviendas han manifestado al menos un enfermo.

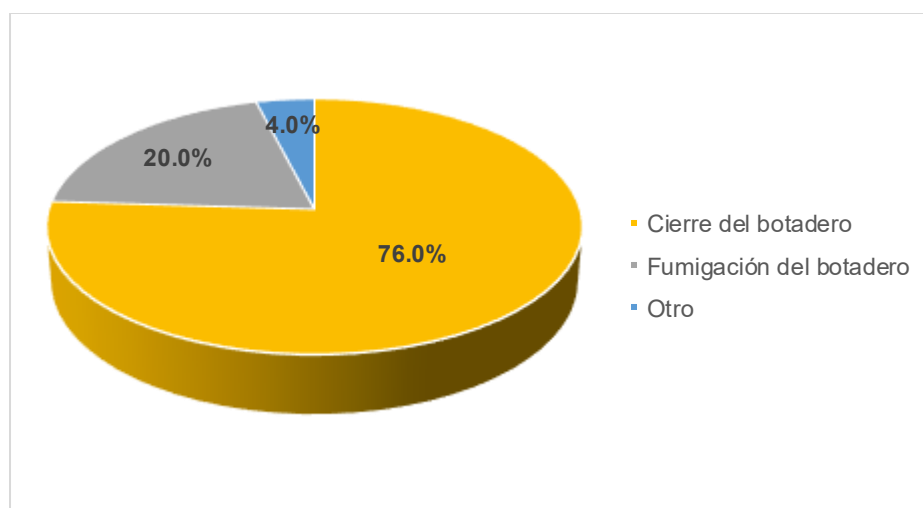
**Figura N° 12: ¿Qué problemas ha presenciado en el lugar donde se almacenan, sin ningún control, los residuos sólidos generados en la ciudad (botadero)?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- En relación a las posibles soluciones ante los problemas mencionados, la mayoría de encuestados plantea el cierre del botadero (76%), seguido de la fumigación del botadero para eliminar las moscas, cucarachas y/o ratas (20%) y la concientización a la población (4%). Esto se ve representado en figura N°13.

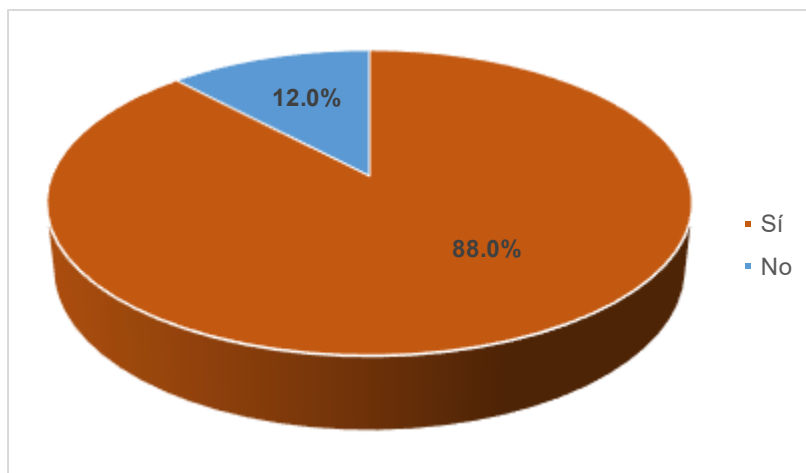
**Figura N° 13: ¿Cuál cree que podría ser la solución (es) a los problemas ocasionados por el botadero?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Sobre el acontecimiento de conflictos sociales que se hayan suscitado en la zona por la existencia del botadero, el 12% de los encuestados manifestaron que no han presenciado; sin embargo, el porcentaje restante 88% señaló que sí han tenido conocimiento de alguno, principalmente por parte de la comunidad nativa Tsachopen. Esto se ve representado en figura N° 14.

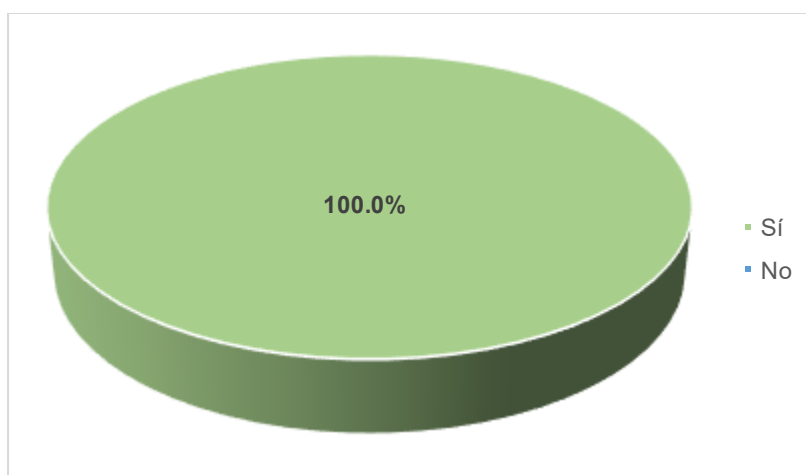
**Figura N° 14: ¿Ha presenciado algún problema social a causa de la operación del botadero?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- La totalidad de los encuestados manifestó estar de acuerdo con el cierre del botadero. Esto se ve representado en figura N° 15.

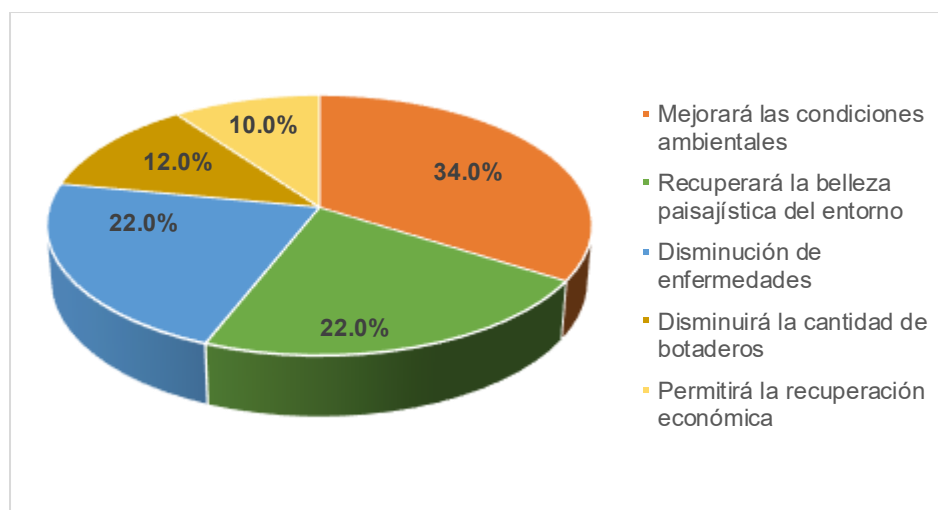
**Figura N° 15: ¿Estaría de acuerdo con la recuperación del área (cierre del botadero)?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Frente al principal beneficio que traerá el cierre del botadero, los encuestados aseguran que mejorarán las condiciones ambientales (34%), se recuperará la belleza paisajística del entorno y disminuirán las enfermedades (22%), disminuirá la cantidad de botaderos (12%) y permitirá la recuperación económica de la zona (10%). Esto se ve representado en figura N°16.

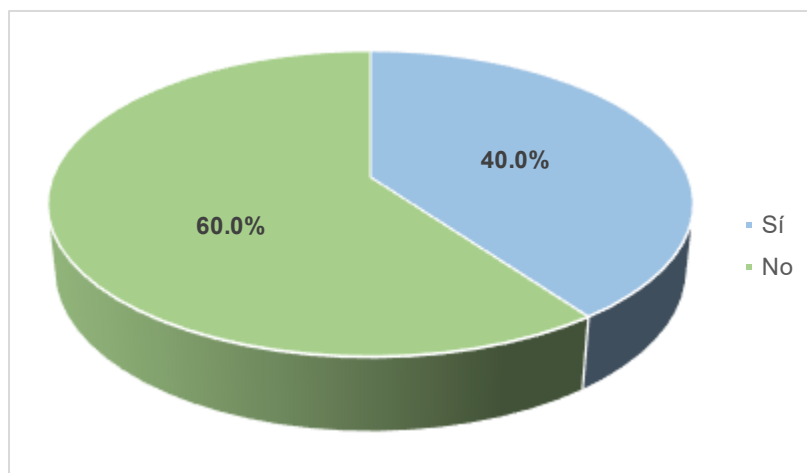
**Figura N° 16: ¿Cuál cree que sea el principal beneficio que traerá la recuperación del área (cierre del botadero)?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- El 60% de los encuestados cree que no se generará algún impacto negativo en el proceso de cierre del botadero; por el contrario, el 44% identifica la generación de polvo, olores, y, principalmente, ruido. Esto se ve representado en figura N° 17.

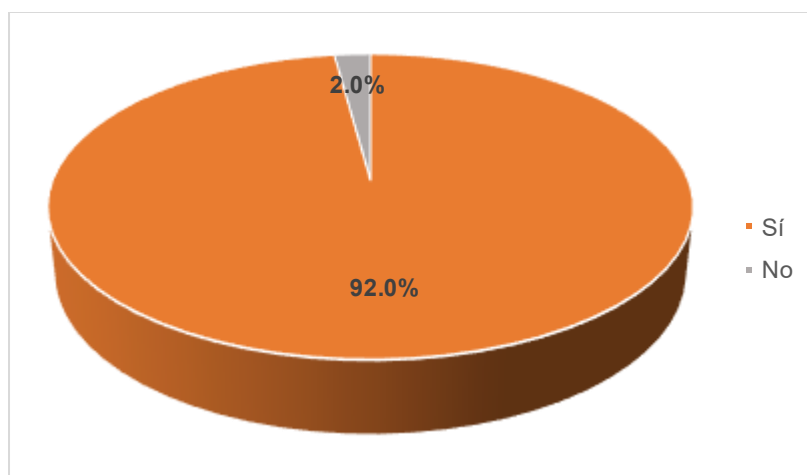
**Figura N° 17: ¿Cree que habría algún impacto negativo en el proceso de recuperación del área (cierre del botadero)?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- El 92% de los encuestados opinó que la población sí tendría interés en que se ejecute el cierre del botadero, mientras el porcentaje restante, señaló que no, debido al desconocimiento de las operaciones. Esto se ve representado en figura N° 18.

**Figura N° 18: ¿Cree que la población tendría interés en que se ejecute la recuperación del área (cierre del botadero)?**

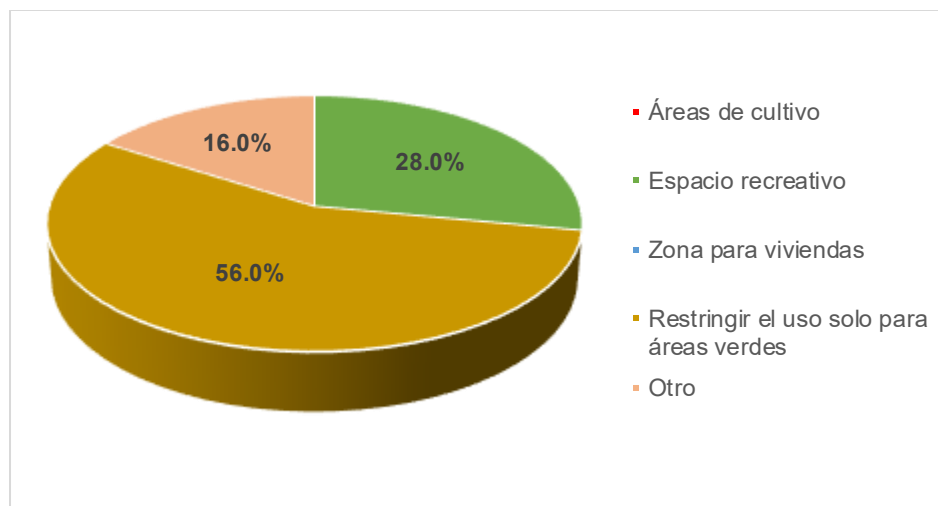


Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Respecto a lo que se debería hacer en el terreno posterior al cierre del botadero, la mayoría de los encuestados manifestó que se debería restringir el uso solo para áreas verdes (56%), seguido de destinarse como espacio recreativo (28%), y Otro, como no utilizarse

puesto que han sido suelos contaminados con residuos (16%). Esto se ve representado en figura N°19.

**Figura N° 19: ¿Qué cree usted que se debería hacer en el terreno posterior a la recuperación del área (cierre del botadero)?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

## **5.2. Diseño técnico para disminuir el impacto ambiental**

### **5.2.1. Generación de lixiviado**

#### **A. Lixiviados retenidos en el interior del botadero**

El volumen de los lixiviados que podrían estar contenidos en el botadero del sector Gramazú, fue estimado a partir de los resultados obtenidos en los estudios de Geología y Geofísica. En dichos estudios se determinó que la superficie total afectada por presencia de lixiviados era de 6 728 m<sup>2</sup> y a una profundidad media de 8 m, dando como volumen total 53 824 m<sup>3</sup> de material afectado por percolación de lixiviados; sin embargo, del volumen total se estimó que únicamente un 20% se encontraría en forma de lixiviado libre y en los niveles próximos a la superficie, tal como se evidenció en la visita técnica y en las secciones de Tomografía Eléctrica, dando como valor final 10 765 m<sup>3</sup> (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al., 2021).

#### **B. Proyección de generación de lixiviado para un periodo de 10 años**

El caudal de lixiviados se estimó empleando el Método Suizo, que es una metodología recomendada en la «*Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de*

*Rellenos Sanitarios*» publicado por el MINAM, y en donde los principales factores que influyen son la cantidad de precipitación y el grado de compactación de los residuos.

En base a la aplicación de lo mencionado, el caudal máximo de lixiviados que se ha venido generando en el botadero durante el periodo comprendido entre el 2008 y 2019 asciende a 12 072 m<sup>3</sup>/año, y se espera que tras la implementación del diseño de cierre los lixiviados tengan una disminución gradual y acentuada, de esta manera, se estimó que posterior a diez (10) años desde su cierre, la generación total de lixiviados estará por debajo de los 900 m<sup>3</sup>/año (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al., 2021).

### **5.2.2. Generación de biogás**

La estimación de la generación de biogás en el botadero Gramazú fue calculada a través del modelo «*Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site*», modelo propuesto por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés, UNFCCC.

Se obtuvo que al 2020 se generaron 4,91 m<sup>3</sup>/h, valor que irá disminuyendo paulatinamente durante el periodo de degradación del material orgánico de los residuos que han sido depositados en el botadero, estimándose así que al 2025 el flujo de biogás generado será de 2,29 m<sup>3</sup>/h, y al 2040, el flujo será de 0,43 m<sup>3</sup>/h (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al., 2021).

### **5.2.3. Diseño técnico para el cierre del botadero**

El diseño técnico de cierre se basa en la recuperación *in situ* del botadero, es decir, el máximo confinamiento de los residuos sólidos y la cobertura total del área, logrando su reinserción al entorno paisajístico.

En ese sentido, el diseño técnico consideró mínimamente la incorporación de los siguientes componentes:

- Estabilización de taludes

- Sistema de manejo de lixiviados
- Sistema de manejo de gases
- Sistema de drenaje de aguas pluviales
- Cobertura final del botadero
- Cerco perimetral
- Acciones de vigilancia y mantenimiento

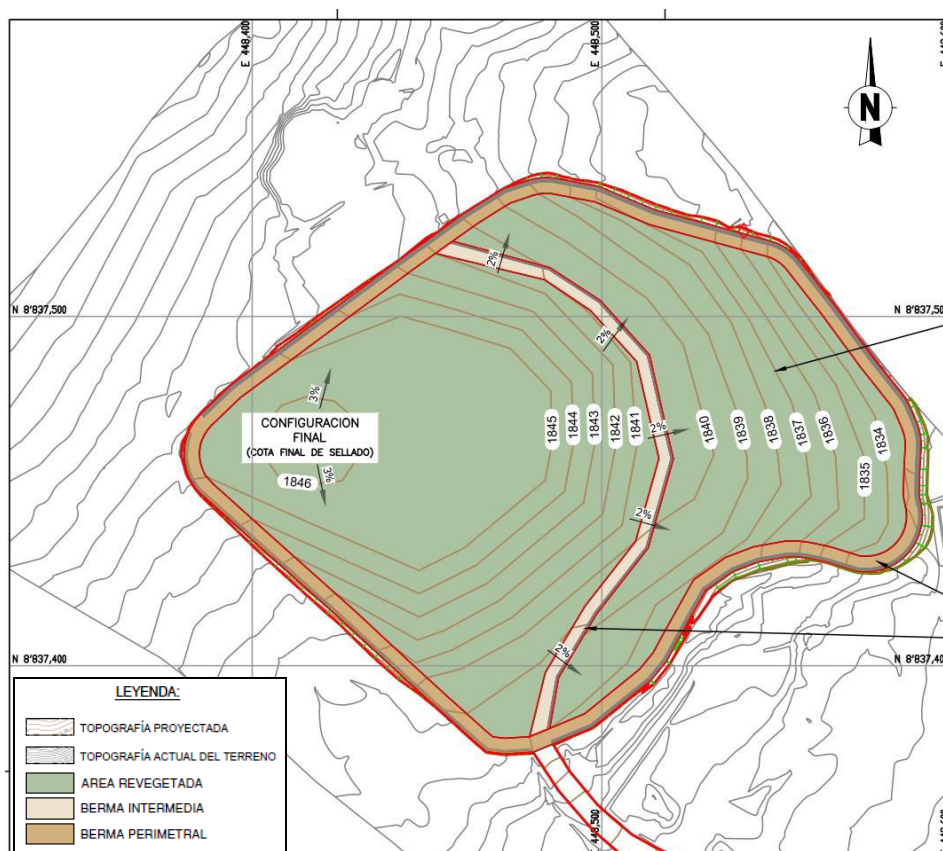
A continuación se describe el diseño técnico propuesto por IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021) como parte del *«Plan de Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos del ámbito municipal - Oxapampa»*.

#### **5.2.3.1. Estabilización de taludes**

Se estima que el botadero acumuló un volumen aproximado de 61 069 m<sup>3</sup> de residuos sólidos cuya distribución fue bastante heterogénea, habiéndose configurado en función de la topografía del terreno donde se emplaza. La configuración inicial del botadero presentó zonas de mayor altura, zona Noreste (NE) y Suroeste (SO) que alcanzó los 5 a 7 metros respectivamente; así también, en el recorrido de la zona NE se identificó una fuerte pendiente de 45°. Por otro lado, la humedad y el material orgánico de los residuos sólidos disminuyen la estabilidad del botadero (Limachi et al, 2012); siendo factores que resultan muy determinantes en el área de estudio.

Lo mencionado hizo necesario el reperfilado de la masa de residuos con la finalidad de garantizar la estabilidad de la configuración final de cierre, por tanto, se reconfiguró la masa a dos (02) taludes con pendientes que oscilan de 12 a 17 %, cuya plataforma superior tiene una pendiente del 3 % para que asegure el drenaje del agua pluvial y aguas infiltradas; así también, se habilitó una berma perimetral e intermedia de 3 y 4 metros de ancho, respectivamente, que permita el acceso y movilización de personal para las acciones de vigilancia y mantenimiento del diseño. Esto se ve representado en la figura N°20.

**Figura N° 20: Configuración final del botadero**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

### 5.2.3.2. Sistema de manejo de lixiviados

Para optimizar la carga orgánica generada por el lixiviado, se rediseñaron los sistemas estructurales. El primer sistema permite captar y evacuar los lixiviados generados, y el segundo sistema comprende los pozos para la extracción del caudal de lixiviado que se encuentra almacenado en el interior del botadero.

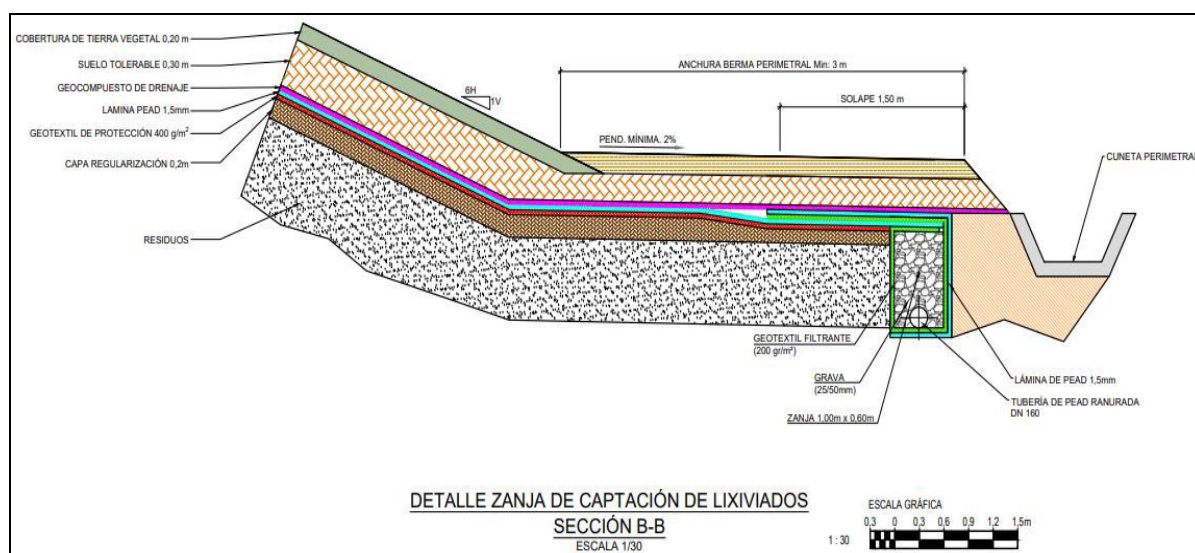
#### 5.2.3.2.1. Zanja de captación

Se habilitó un dren francés a lo largo del pie de los taludes Este, Norte y Sur, con la finalidad de captar los flujos de lixiviados identificados en los estudios de geofísica y aprovechando la topografía del terreno para que sean captados por gravedad. Para ello, se construyó una zanja de captación con medidas de 0,6 m de ancho y 1 m de profundidad, y realizada previamente al acondicionamiento de las últimas capas de cobertura final.

En el interior de la zanja se instaló una tubería de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) ranurada, y se relleno la zanja con grava de granulometría entre 25 a 50 mm para que actúe como material filtrante. Se revistió las paredes del dren francés con un geotextil filtrante para su protección ante la entrada de material fino y, sobre este, se colocó una lámina de PEAD de 1,5 mm de espesor únicamente en las paredes que no tienen contacto con los residuos, con la finalidad de impermeabilizar el sistema y evitar la salida de lixiviados.

Los lixiviados captados en las tuberías son conducidos hacia una caja de control de concreto armado, y a su vez por gravedad, continúan hacia la poza de lixiviados del botadero donde son almacenados. Esto se muestra en la figura N°21.

**Figura N° 21: Zanja de captación de lixiviados**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### **5.2.3.2.2. Almacenamiento de lixiviados**

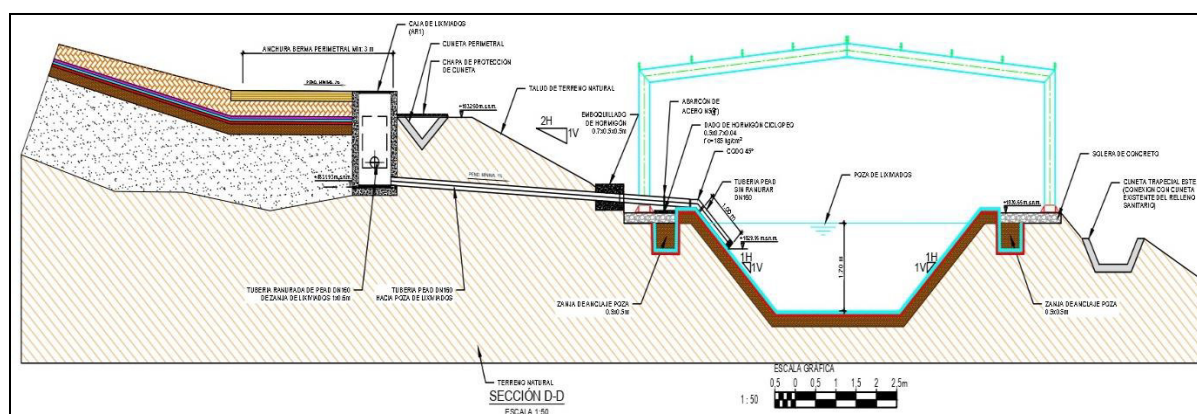
Para el almacenamiento de los lixiviados generados en el botadero se evaluó la posibilidad de utilizar la poza del relleno sanitario colindante, sin embargo, considerando el caudal conjunto que ingresaría a la infraestructura: 27,9 m³/día, de los cuales 12,9 m³/día provienen del botadero, se determinó que se reduciría significativamente su tiempo de almacenamiento previsto, además de que la capacidad podría no ser suficiente en el caso de grandes avenidas y pueda ocasionar un vertido de los lixiviados. En ese sentido, se construyó

una poza de lixiviados para el botadero cuyas dimensiones serán de 13 x 7 metros, una profundidad de 1,7 m y los taludes laterales de 1H:1V, teniendo una capacidad de 75 m<sup>3</sup> y un tiempo de almacenamiento de 15 días para su retiro.

El interior de la poza fue impermeabilizado con una lámina PEAD de 1,5 mm y un geotextil de protección de 400 g/m<sup>2</sup> debajo de ella, para lo cual previamente se habilitaron zanjas de anclaje de 0,5 m de profundidad y 0,5 m de anchura, y así evitar el deslizamiento de los geosintéticos. En el contorno de la poza se revistió el suelo con una capa de concreto de 10 cm de espesor y una anchura de 1,5 m para que permita el tránsito y acceso a la poza.

Se colocó una estructura metálica que cubra toda la poza para evitar la entrada de agua pluvial, complementándolo con una cuneta y bajantes para su drenaje; y para garantizar la seguridad ante posibles caídas, se instaló una barandilla perimetral. Este componente se ve representado en la figura N°22.

**Figura N° 22: Poza de almacenamiento de lixiviados**



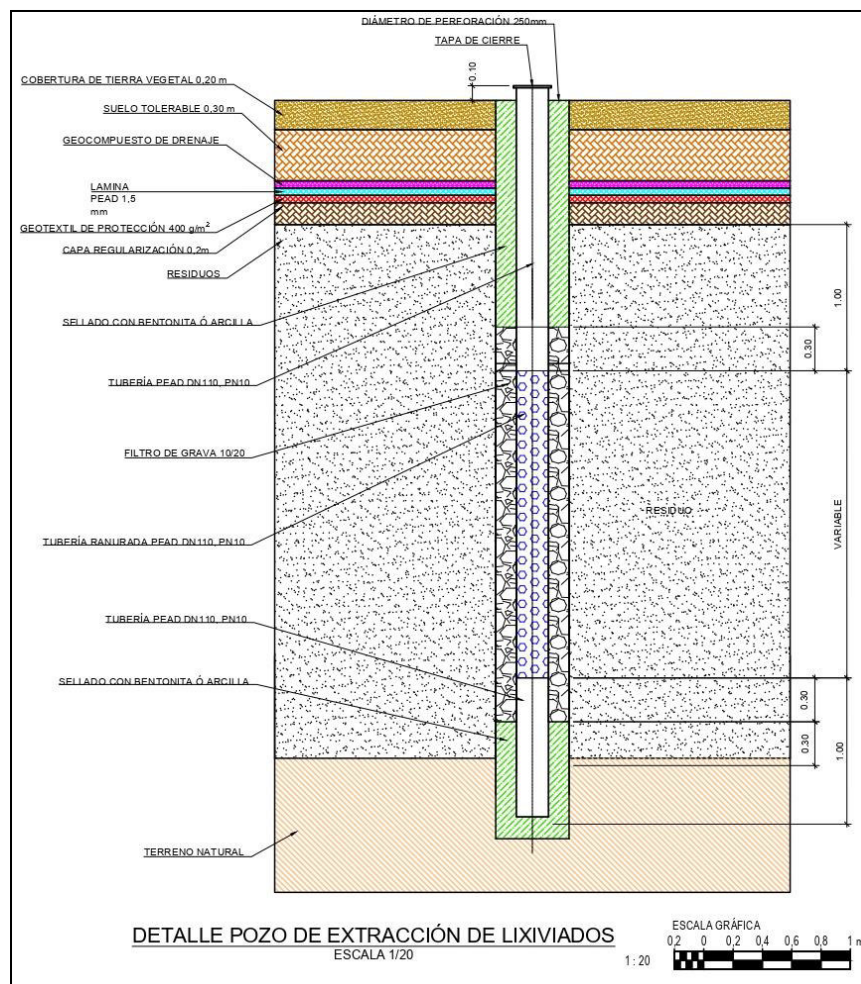
Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### 5.2.3.2.3. Pozos de extracción de lixiviado

Los pozos de extracción tienen por finalidad extraer el lixiviado retenido en el interior del botadero, el cual, según los estudios de geofísica, se encontró distribuido en una amplia superficie y a diferentes niveles que van desde la superficie donde se hallan las bolsonadas, hasta profundidades de más de 20 metros.

En ese sentido, se complementó el sistema de captación con dos pozos de extracción, PZ-1 de 7 metros y PZ-2 de 15 metros de profundidad, ubicados en los puntos donde la tomografía eléctrica ha constatado la presencia de lixiviados. De forma periódica, se deberá introducir una bomba sumergible en los pozos de extracción para el bombeo de lixiviados hacia un depósito; una vez lleno, éste deberá ser transportado y vaciado en la poza de lixiviados del botadero. Se descarta un bombeo directo de los pozos de extracción a la poza de lixiviados del botadero. Se descarta un bombeo directo de los pozos de extracción a la poza de lixiviados debido a su lejanía, teniendo una distancia de 120 metros entre ambos en el caso más desfavorable. Este componente se ve representado en la figura N°23.

**Figura N° 23: Pozo de extracción de lixiviados**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

### 5.2.3.3. Sistema de manejo de gases

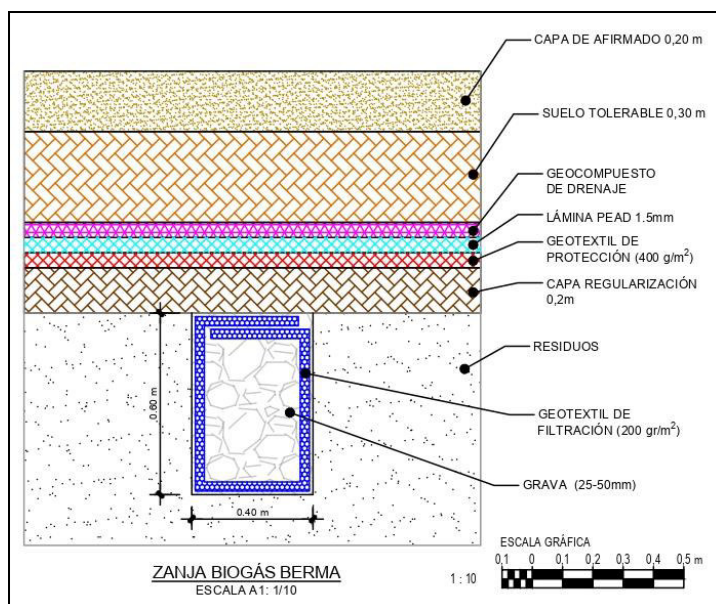
El botadero de Gramazú ha sido cubierto con material propio de la zona durante su operación, sin embargo, los gases producto de la degradación de la materia orgánica tienden a buscar las zonas con menor permeabilidad (grietas o material poroso) y continúan su flujo hacia el exterior. Estas emisiones, al no ser controladas, pueden ser un peligro por sus características de toxicidad y explosividad, además de ser principalmente gases de efecto invernadero (Llama et al, 2016).

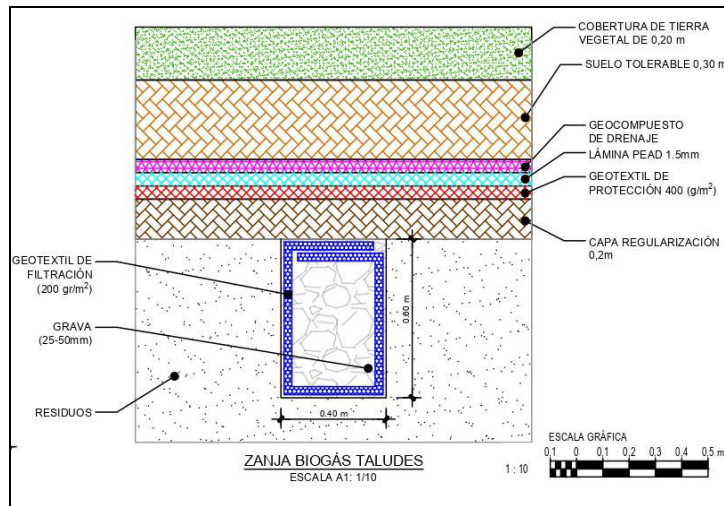
Para el manejo y control del flujo de salida del biogás se rediseñó el sistema estructural, estando conformado por: zanjas de drenaje, pozos y chimeneas; los cuales fueron habilitados previo a la cobertura final del botadero.

#### 5.2.3.3.1. Zanjas de drenaje

Las zanjas de drenaje serán los canales horizontales, interconectados entre sí, que recibirán y dirigirán el flujo del biogás al conducto vertical de salida del biogás (pozos). Para la habilitación de las zanjas se realizaron excavaciones, cuyo interior fue relleno con gravas de tamaño entre 25 a 50 mm y, a su vez, recubierto con un geotextil de filtración, tal como se muestra en la figura N°24.

Figura N° 24: Zanja de drenaje de biogás





Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Perú et al. (2021).

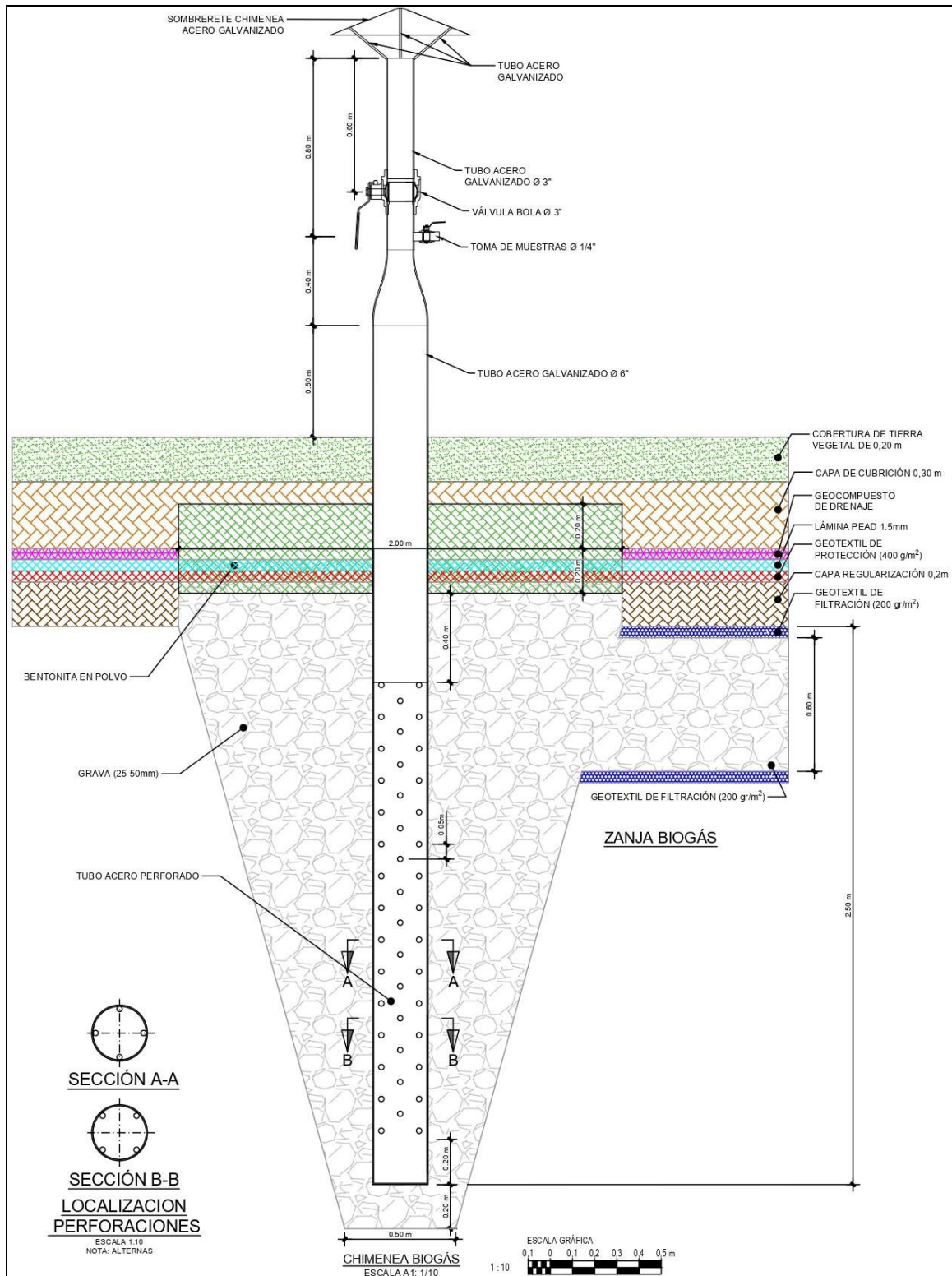
#### 5.2.3.3.2. Pozos y chimeneas

Se habilitaron ocho (8) pozos de captación ubicados en las zonas más elevadas para captar el flujo natural del biogás. Cada pozo cuenta con una chimenea, las cuales serán rodeadas bajo la superficie con grava de granulometría de 25 a 50 mm, y sobre esta se colocó bentonita en polvo como sellado para evitar fugas de biogás.

Las chimeneas son divisadas encima de la superficie, con la finalidad de tener una mayor accesibilidad al sistema. Están conformadas por tubos soldados entre sí: un tubo de acero perforado en la parte inferior y dos tubos de acero galvanizado en la parte superior, en el orden de 6" y 3" de diámetro, de abajo hacia arriba. En la parte más alta de la chimenea se instaló un quemador para la combustión del biogás y, en caso de identificar que la concentración de metano está por debajo del 20%, el manejo se realizará a través de una válvula que permita un quemado intermitente.

Además, se habilitó un punto de medición del biogás en la chimenea para su correcto seguimiento y control. Debe tenerse en cuenta que la generación de biogás puede continuar hasta diez (10) años posterior al cierre del botadero (Limachi et al, 2012). Este componente se ve representado en la figura N°25.

**Figura N° 25: Pozo de captación de biogás**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

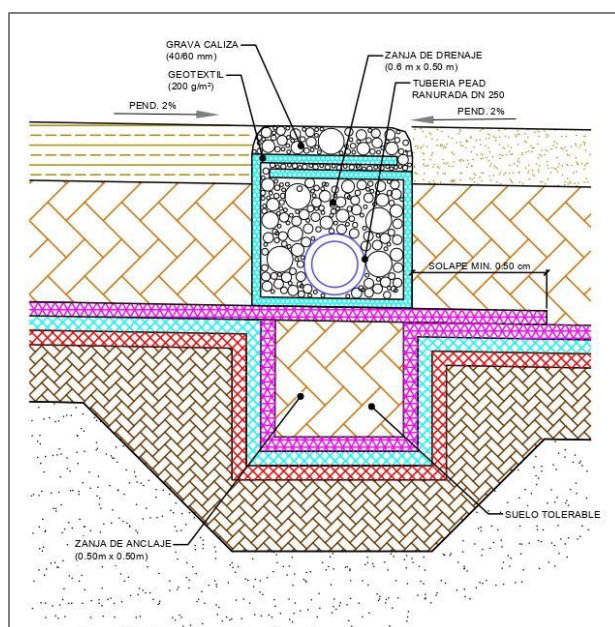
#### 5.2.3.4. Sistema de drenaje de aguas pluviales

El sistema estructural está conformado por cunetas de guarda perimetrales (trapeziales y triangulares) y una zanja drenante. Las cunetas trapeziales se ubican en la zona perimetral norte y este del botadero, mientras que las cunetas triangulares en la zona perimetral sur y oeste. Para la habilitación de la zanja de drenaje se realizó una excavación en la berma intermedia, las paredes se revistieron con geotextil filtrante y su interior fue provisto de un tubo PEAD ranurado, rellenando posteriormente la zanja con gravas de entre 40 a 60 mm de tamaño.

El agua de lluvia es conducida por la zanja de drenaje hacia el extremo sur del botadero, conectándose con la red de cunetas existente en el relleno sanitario.

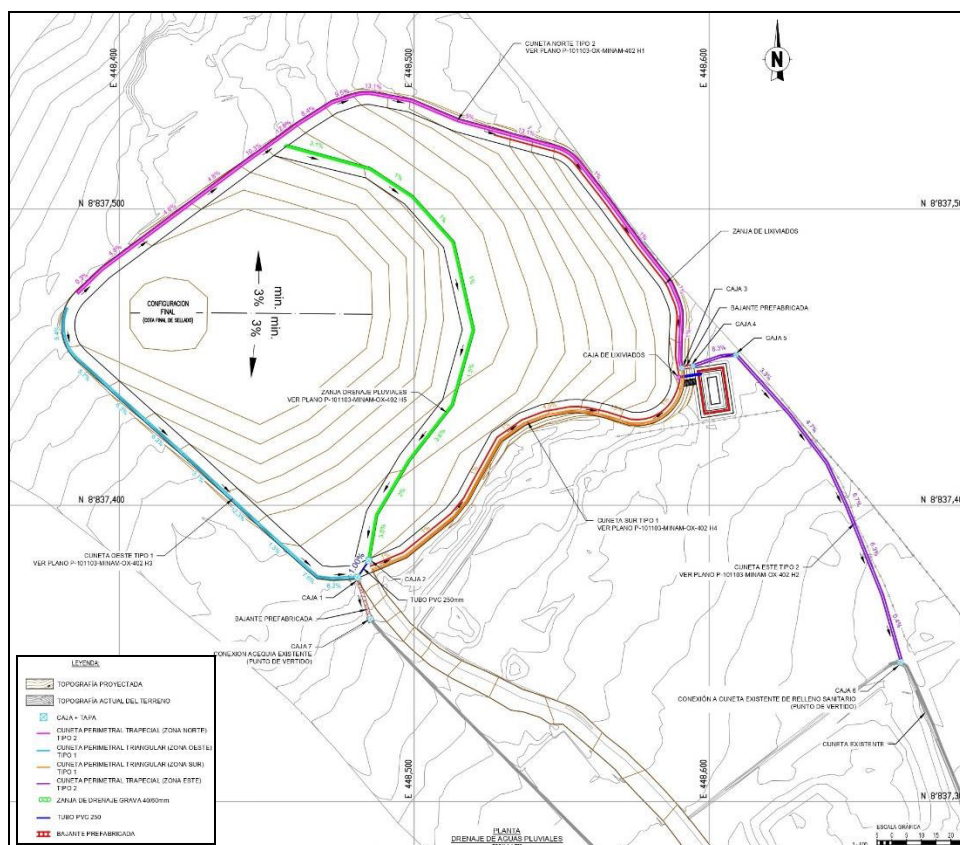
Este sistema de drenaje permitirá evacuar las aguas pluviales que discurren sobre el botadero del sector Gramazú, evitando así la saturación del material y garantizando la estabilidad de la configuración final. El sistema de drenaje de aguas pluviales se ve representado en las figuras N° 26 y N° 27.

**Figura N° 26: Zanja de drenaje de aguas pluviales**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

**Figura N° 27: Distribución estructural del sistema de drenaje**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

### 5.2.3.5. Cobertura final del botadero

La cobertura final del botadero tuvo lugar una vez se haya reperfilado y alcanzado las pendientes finales en la masa de residuos, con la finalidad de actuar como barrera ante la infiltración de agua, salida de olores, aparición de roedores y migración de gases. En ese sentido, el diseño de la cobertura final está estructurado por las siguientes capas, presentadas en orden ascendente:

#### 5.2.3.5.1. Capa de regularización

La capa de regularización es la primera capa de sellado, teniendo un espesor de 20 cm y estando conformada por material de cobertura (tierras). Esta capa fue compactada con maquinaria pesada para lograr una superficie homogénea y garantizar la estabilidad del sellado del botadero, además de estar libre de vegetación, piedras o cualquier material que infiera en el soporte de las capas subsiguientes.

#### **5.2.3.5.2. Capa de impermeabilización**

La capa de impermeabilización permitirá detener el flujo de aguas infiltradas hacia los residuos, por ello, está constituida por una lámina PEAD (polietileno de alta densidad) y un geotextil de protección. Para la colocación de los geosintéticos y evitar el deslizamiento de los mismos, se habilitaron zanjas de anclaje de 0,5 m de profundidad y anchura, ubicadas en la plataforma superior y la berma intermedia del botadero; una vez realizada la acción, se procedió a extender el geotextil de protección de 400 g/m<sup>2</sup>, seguido por la lámina PEAD de 1,5 mm de espesor que brindará la impermeabilidad al sistema de sellado.

#### **5.2.3.5.1. Capa de drenaje**

La capa de drenaje permitirá captar aquellas aguas que infiltraron la capa de cubrición de tierras y capa vegetal, y garantizar su evacuación. Para esta capa se pueden utilizar gravas o materiales sintéticos como el geocompuesto drenante o geodren (Limachi et al, 2012), por consiguiente, para el caso del botadero de estudio se utilizó un geocompuesto de drenaje, dado que se busca aminorar el aporte de volumen adicional al que posee el botadero y evitar generar carga sobre los geosintéticos inferiores.

#### **5.2.3.5.2. Capa de suelo tolerable**

La capa de suelo tolerable está conformada por tierra seleccionada de granulometría de 20 a 40 mm y de un espesor de 0.30 m, colocada previo a la capa vegetal o capa de afirmado, según corresponda.

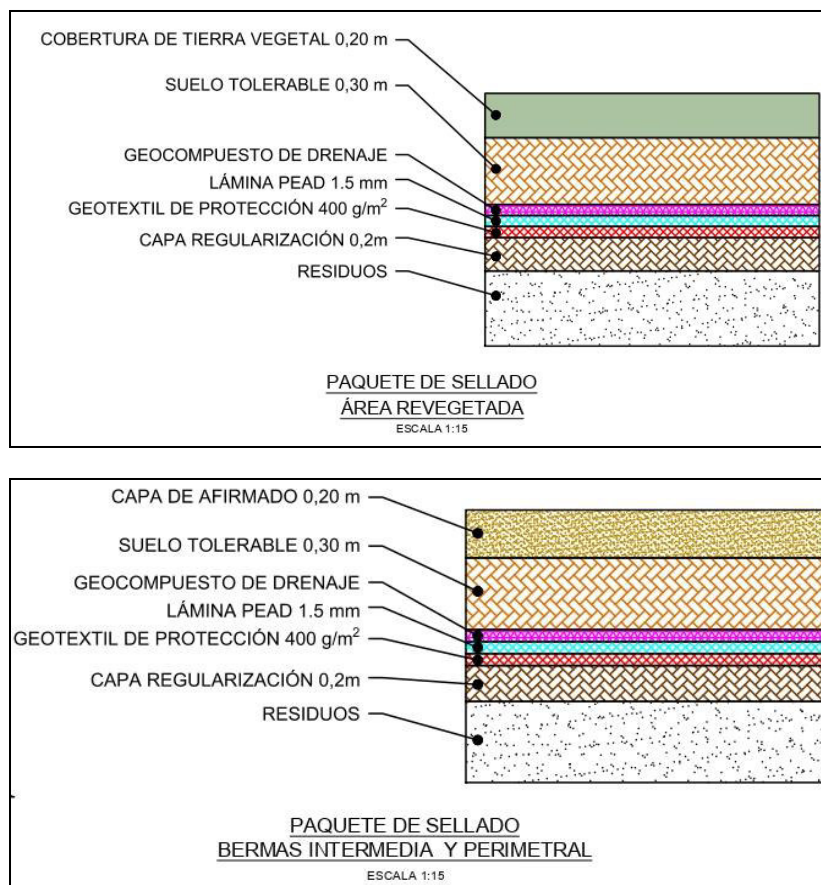
#### **5.2.3.5.3. Capa de tierra vegetal**

La capa vegetal actúa como barrera ante una posible erosión eólica e hídrica, además de ser la base del crecimiento de vegetación (Limachi et al, 2012). Esta capa fue implementada en toda aquella área recuperada que fue revegetada, incluyendo las zanjas de drenaje de biogás, y contando con un espesor de 0,20 m de tierra vegetal libre de malezas, troncos, raíces, piedras o residuos. Se promovió la revegetación con especies herbáceas propias del entorno con la finalidad de lograr una integración del paisaje, es por ello que, en base al estudio biológico realizado, se utilizó la especie *Pennisetum purpureum*, cuyo escaso desarrollo radicular no contempla una afectación a las capas de sellado.

#### 5.2.3.5.4. Capa de afirmado

La capa de afirmado se implementó en aquellas zonas de tránsito del personal o vehicular para el mantenimiento del diseño, es decir, la berma intermedia y perimetral. Es del mismo espesor que la capa vegetal (0,20 m) para dar continuidad a las capas de sellado, tal como se muestra en la figura N°28.

**Figura N° 28: Cobertura final del botadero**



Fuente: IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru et al. (2021).

#### 5.2.3.6. Cerco perimetral

El cerco perimetral tiene como objetivo proteger y delimitar el botadero Gramazú, así como limitar el ingreso de personas no autorizadas y evitar la presencia de animales que pudieran ocasionar daños; por consiguiente, se instaló una valla de cerramiento perimetral de altura aproximada de 2 metros y la cual se integra con el cerco ya existente en el relleno sanitario contiguo. Así también, se habilitó una puerta metálica para restringir el tránsito en el

camino específico hacia el botadero, independientemente de la existente en el ingreso principal a las instalaciones del relleno sanitario.

#### **5.2.3.7. Acciones de vigilancia y mantenimiento**

El diseño técnico contempla a su vez acciones de vigilancia y mantenimiento a ejecutarse posterior al cierre del botadero, con la finalidad de asegurar las condiciones adecuadas del área recuperada. Estas acciones se atribuyen a la municipalidad provincial de Oxapampa, quien es responsable de las operaciones de recuperación del área degradada, según el Decreto Legislativo N° 1278 y su reglamento Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, junto a sus modificatorias correspondientes (Decreto Legislativo N° 1501 y Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM).

En este sentido, se cuentan con las siguientes acciones de vigilancia y mantenimiento:

- Verificación del correcto funcionamiento y buen estado de las chimeneas de captación de gases.
- Verificación de posibles afloramientos de lixiviados en el área recuperada.
- Inspección de la poza de lixiviados para evitar derrames. En el caso se ubique a 0.5 m de la cota superior, se deberá proceder con su vaciado.
- Limpieza de los componentes estructurales del drenaje de aguas pluviales con la finalidad de evitar taponamientos.
- Instalación de piezómetros para el monitoreo de posibles aguas de infiltración en la configuración final del área recuperada.
- Instalación de hitos topográficos para el control de asentamientos o desplazamientos en la configuración final del diseño de cierre.
- Conservación y cuidado de la vegetación en el área de cobertura final.
- Inspección del estado del cerco perimetral y su respectivo mantenimiento.
- Monitoreos de calidad de suelo, aire y agua.

## 5.2.4. Análisis de los impactos ambientales del diseño técnico

### 5.2.4.1. Identificación de componentes e impactos ambientales

Para realizar la evaluación ambiental se desagregaron los componentes ambientales según el medio en el que se manifiestan los impactos, es decir, en medio físico, biológico y social (Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM, 2018).

En este sentido, en la Tabla N° 18 se presentan los componentes ambientales considerados para la identificación de los impactos ambientales.

**Tabla N° 18: Componentes ambientales considerados para la identificación de impactos**

| Medio     | Componente ambiental |
|-----------|----------------------|
| Físico    | Aire                 |
|           | Suelos               |
| Biológico | Ecosistema           |
|           | Vegetación           |
|           | Fauna terrestre      |
| Social    | Social               |

Fuente: Adaptado de la Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM (2018).

A partir de la evaluación de los componentes ambientales se identificaron los impactos ambientales, los cuales son expuestos en la Tabla N° 19.

**Tabla N° 19: Identificación de impactos ambientales**

| Medio      | Componente ambiental | Impactos ambientales                          |
|------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| Físico     | Aire                 | Alteración de la calidad del aire             |
|            | Suelos               | Alteración de la calidad del suelo            |
| Biológico  | Ecosistema           | Pérdida del ecosistema                        |
|            | Vegetación           | Existe una perturbación y pérdida de la flora |
|            | Fauna terrestre      | Existe una perturbación a la fauna terrestre  |
| Social     | Social               | Afectación de la salud pública                |
| Integrado* |                      | Existe una degradación paisajística.          |

(\*) Integrado: Se hace referencia a la interacción en conjunto de los medios físico, biológico y social.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

#### 5.2.4.2. Valoración cuantitativa de los impactos ambientales

A cada uno de los impactos ambientales se le asigna un valor de acuerdo al tipo y/o grado de afectación que genera en el componente ambiental; estos son descritos en la Tabla N° 20.

**Tabla N° 20: Valoración cuantitativa de los impactos ambientales**

| Impacto                            | Descripción                                                                 | Valor |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
| Alteración de la calidad del aire  | La manifestación del impacto se presenta de manera muy localizada.          | 1     |
|                                    | La manifestación del impacto se presenta de manera parcialmente localizada. | 2     |
|                                    | La manifestación del impacto se presenta de manera indeterminada.           | 3     |
|                                    |                                                                             |       |
| Impacto                            | Descripción                                                                 | Valor |
| Alteración de la calidad del suelo | La manifestación del impacto se presenta de manera puntual.                 | 1     |
|                                    | La manifestación del impacto se presenta de manera parcial.                 | 2     |
|                                    | La manifestación del impacto se presenta de manera extensa.                 | 3     |
|                                    |                                                                             |       |
| Impacto                            | Descripción                                                                 | Valor |
| Pérdida del ecosistema             | Afectación de uno o ningún componente (aire, suelo y biodiversidad).        | 1     |
|                                    | Afectación de dos componentes (aire, suelo y biodiversidad).                | 2     |
|                                    | Afectación de tres componentes (aire, suelo y biodiversidad)                | 3     |

| Impacto                                      | Descripción                                 | Valor |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------|
| Existe una perturbación a la fauna terrestre | Afectación de una o ninguna taxa de fauna.  | 1     |
|                                              | Afectación de dos taxas de fauna.           | 2     |
|                                              | Afectación de al menos tres taxas de fauna. | 3     |

| Impacto                                       | Descripción                           | Valor |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-------|
| Existe una perturbación y pérdida de la flora | Afectación en un área menor a 1 ha.   | 1     |
|                                               | Afectación en un área entre 1 a 2 ha. | 2     |
|                                               | Afectación en un área mayor a 2 ha.   | 3     |

| Impacto                        | Descripción                                         | Valor |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|-------|
| Afectación de la salud pública | 0 - 4 viviendas manifestaron al menos un enfermo.   | 1     |
|                                | 5 – 10 viviendas manifestaron al menos un enfermo.  | 2     |
|                                | 11 – 25 viviendas manifestaron al menos un enfermo. | 3     |

| Impacto                             | Descripción                                                   | Valor |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|
| Existe una degradación paisajística | Afectación de uno o ningún medio (físico, biológico, social). | 1     |
|                                     | Afectación de dos medios (físico, biológico, social).         | 2     |
|                                     | Afectación de tres medios (físico, biológico, social).        | 3     |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

### 5.2.4.3. Evaluación de los impactos ambientales

A continuación, se presenta la evaluación y análisis de los impactos ambientales en dos escenarios: (1) botadero sin diseño técnico y (2) botadero con diseño técnico.

**Tabla N° 21: Evaluación de los impactos ambientales en el botadero sin diseño técnico**

| Medio     | Componente ambiental | Impactos ambientales                          | Valor |
|-----------|----------------------|-----------------------------------------------|-------|
| Físico    | Aire                 | Alteración de la calidad del aire             | 3     |
|           | Suelos               | Alteración de la calidad del suelo            | 3     |
| Biológico | Ecosistema           | Pérdida del ecosistema                        | 3     |
|           | Vegetación           | Existe una perturbación y pérdida de la flora | 3     |

| Medio      | Componente ambiental | Impactos ambientales                         | Valor |
|------------|----------------------|----------------------------------------------|-------|
|            | Fauna terrestre      | Existe una perturbación a la fauna terrestre | 3     |
| Social     | Social               | Afectación de la salud pública               | 2     |
| Integrado* |                      | Existe una degradación paisajística.         | 3     |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Según la Tabla N° 21, de la evaluación de los impactos ambientales en el botadero sin diseño técnico se obtuvo una puntuación de 20.

**Tabla N° 22: Evaluación de los impactos ambientales en el botadero con diseño técnico**

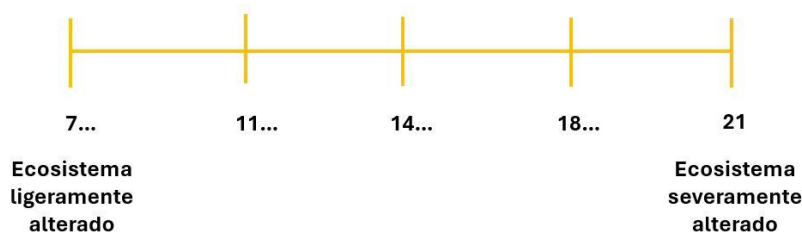
| Medio      | Componente ambiental | Impactos ambientales                          | Valor |
|------------|----------------------|-----------------------------------------------|-------|
| Físico     | Aire                 | Alteración de la calidad del aire             | 1     |
|            | Suelos               | Alteración de la calidad del suelo            | 1     |
| Biológico  | Ecosistema           | Pérdida del ecosistema                        | 1     |
|            | Vegetación           | Existe una perturbación y pérdida de la flora | 1     |
|            | Fauna terrestre      | Existe una perturbación a la fauna terrestre  | 1     |
| Social     | Social               | Afectación de la salud pública                | 1     |
| Integrado* |                      | Existe una degradación paisajística.          | 1     |

Fuente: Elaboración propia, 2024

Según la Tabla N° 22, de la evaluación de los impactos ambientales en el botadero con diseño técnico se obtuvo una puntuación de siete (7).

Las puntuaciones fueron analizadas mediante la escala de Likert, la cual tienen una puntuación mínima de 7 y máxima de 21, tal como se muestra en la figura N°29.

**Figura N° 29: Categorización del estado del ecosistema a través de la escala de Likert**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

**Tabla N° 23: Categorización del estado del ecosistema**

| Rango   | Estado del ecosistema             |
|---------|-----------------------------------|
| 17 – 21 | Ecosistema severamente alterado   |
| 12 – 17 | Ecosistema moderadamente alterado |
| 7 – 11  | Ecosistema ligeramente alterado   |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En este sentido, de acuerdo al análisis de impactos ambientales y la categorización del estado del ecosistema que se menciona en la tabla N° 23, se ha determinado que en el primer escenario donde el botadero no tiene intervención se manifiesta como resultado un ecosistema severamente alterado; por el contrario, en el segundo escenario se manifiesta como resultado un ecosistema ligeramente alterado, esto debido a la implementación de un diseño técnico en el botadero.

### **5.3. Validación de la sostenibilidad del diseño técnico**

#### **5.3.1. Evaluación de juicio de expertos**

##### **5.3.1.1. Características de juicios de expertos**

El juicio de expertos fue realizado por profesionales con más de ocho años de experiencia en residuos sólidos, y/o en diseño e implementación de infraestructuras de disposición final y su cierre.

### **5.3.1.2. Criterios para la validación**

La sostenibilidad del diseño técnico de cierre será evaluada por juicio de expertos, bajo criterios definidos en el eje económico, social y ambiental; siendo estos los presentados a continuación:

#### **A) Eje económico**

- El diseño de cierre del botadero es eficiente (relación entre tiempo, calidad y costos) y las acciones de mantenimiento y vigilancia post cierre del botadero no demandan costos elevados para la municipalidad provincial de Oxapampa.
- Las características del diseño de cierre de botadero, durante los próximos 5 años como mínimo luego de su ejecución, no requerirán costos elevados para reparaciones por algún daño estructural o por inadecuado funcionamiento.
- El cierre del botadero requerirá de mano de obra local, generando una fuente de ingresos económicos para la población.
- Las actividades de cierre del botadero generarán un dinamismo en la economía de la zona circundante y otros negocios a través del requerimiento de diferentes servicios e insumos.
- Al realizar el cierre del botadero, los predios aledaños podrán mejorar su valor predial.

#### **B) Eje social**

- La socialización del diseño de cierre del botadero evita los conflictos sociales con la municipalidad y facilita el proceso de ordenamiento ambiental del territorio que viene implementando.
- La implementación del diseño de cierre del botadero permitirá la mejora de la calidad de vida de la población circundante.
- La ejecución de las actividades de cierre del botadero promoverá la inclusión social de la población local al generar puestos de trabajo.

- El diseño de cierre del botadero y su implementación permitirá que la municipalidad mejore su imagen institucional en cuanto a la gestión de residuos sólidos, fortaleciendo la Política Ambiental del Gobierno Regional Pasco.
- El desarrollo de monitoreos participativos de calidad ambiental como parte de las acciones de mantenimiento y vigilancia post cierre del botadero, permiten un involucramiento de la población local.

### C) Eje ambiental

- La implementación adecuada del diseño de cierre de botadero se alinea al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 13, así como también a la Política Nacional del Ambiente 2021-2030.
- La implementación del diseño de cierre del botadero contribuye a la mejora de las condiciones ambientales de la zona de influencia.
- La implementación del diseño de cierre del botadero mejorará el aspecto paisajístico del entorno.
- La implementación del diseño de cierre del botadero permitirá la recuperación de la flora y fauna propia de la zona a largo plazo.
- La implementación del diseño del cierre del botadero contribuye a la recuperación del ecosistema.

#### 5.3.1.3. Resultados

A continuación, se presenta la evaluación de los criterios de validación para cada uno de los ejes: económico, social y ambiental, los cuales fueron sometidos a juicio de expertos.

**Tabla N° 24: Evaluación de los criterios para el eje económico**

| Eje Económico - Criterios de validación                                                                                                                                                                                                 | Experto 1 | Experto 2 | Experto 3 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| El diseño de cierre del botadero es eficiente (relación entre tiempo, calidad y costos) y las acciones de mantenimiento y vigilancia post cierre del botadero no demandan costos elevados para la municipalidad provincial de Oxapampa. | 1         | 1         | 1         |

| Eje Económico - Criterios de validación                                                                                                                                                                                          | Experto 1 | Experto 2 | Experto 3 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Las características del diseño de cierre de botadero, durante los próximos 5 años como mínimo luego de su ejecución, no requerirán costos elevados para reparaciones por algún daño estructural o por inadecuado funcionamiento. | 1         | 1         | 1         |
| El cierre del botadero requerirá de mano de obra local, generando una fuente de ingresos económicos para la población.                                                                                                           | 1         | 1         | 0         |
| Las actividades de cierre del botadero generarán un dinamismo en la economía de la zona circundante y otros negocios a través del requerimiento de diferentes servicios e insumos.                                               | 1         | 1         | 0         |
| Al realizar el cierre del botadero, los predios aledaños podrán mejorar su valor predial.                                                                                                                                        | 1         | 1         | 1         |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En el eje económico, tal como se muestra en la tabla N° 24, se ha evidenciado que por unanimidad en la evaluación de juicio de expertos, el diseño de cierre del botadero resulta eficiente (relación entre tiempo, calidad y costos) y permitirá mejorar el valor de los predios aledaños, esto se sustenta en que las actividades post cierre son puntuales, y los programas y medidas ambientales son menores a las de las primeras tres etapas, las cuales son: preliminar, ejecución y cierre de la ejecución; asimismo, el diseño se sustenta en el expediente técnico de obra, por ende las actividades de mantenimiento preventivo deben estar incluidas en los costos de la obra para evitar grandes deficiencias en el post cierre del botadero; por otro lado, al erradicar los focos infecciosos se mejorará las condiciones de saneamiento del área de influencia y esto permitirá mejorar el valor de los predios aledaños.

No obstante, los especialistas difieren en que exista un beneficio económico para la población por el desarrollo del cierre del botadero, ya que por la corta duración del proyecto no habría un ingreso en la población directa (comercios, alquileres de espacios, etc.), por consiguiente, se prevé que no se genere un beneficio económico, más sí un beneficio social.

**Tabla N° 25: Evaluación de los criterios para el eje social**

| <b>Eje Social - Criterios de validación</b>                                                                                                                                                           | <b>Experto 1</b> | <b>Experto 2</b> | <b>Experto 3</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| La socialización del diseño de cierre del botadero evita los conflictos sociales con la municipalidad y facilita el proceso de ordenamiento ambiental del territorio que viene implementando.         | 1                | 1                | 1                |
| La implementación del diseño de cierre del botadero permitirá la mejora de la calidad de vida de la población circundante.                                                                            | 1                | 1                | 1                |
| La ejecución de las actividades de cierre del botadero promoverá la inclusión social de la población local al generar puestos de trabajo.                                                             | 1                | 1                | 1                |
| El diseño de cierre del botadero y su implementación permitirá que la municipalidad mejore su imagen institucional en cuanto a la gestión de residuos sólidos.                                        | 1                | 1                | 1                |
| El desarrollo de monitoreos participativos de calidad ambiental como parte de las acciones de mantenimiento y vigilancia post cierre del botadero, permiten un involucramiento de la población local. | 1                | 1                | 0                |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En el eje social, tal como se muestra en la tabla N° 25, se ha evidenciado que por unanimidad en la evaluación de juicio de expertos, la socialización del diseño de cierre del botadero permitirá que la población tenga conocimiento del proyecto y sus impactos positivos y negativos, y esto a su vez generará confianza entre la población y las autoridades evitando así conflictos sociales. De igual manera, se tiene por conformidad que con la implementación del cierre del botadero se logrará una mejora en la calidad de vida de la población circundante, la generación de puestos de trabajo permitirá la inclusión social de la población local y, de forma global, la municipalidad mejorará su imagen institucional en cuanto a la gestión de residuos sólidos; esto se sustenta en que se eliminarán aspectos latentes tales como la proliferación de vectores (moscas, roedores) que causan enfermedades, así como los malos olores que se incrementan cuando hay mayores temperaturas, considerando que el proyecto se encuentra en la selva del Perú. Asimismo, se tiene que en la etapa de ejecución se

requerirá mano de obra priorizando a la población local, aunque por la envergadura del proyecto será en un corto tiempo y; por otro lado, el municipio tiene un papel fundamental en la etapa de post cierre dado que es el responsable del desarrollo de la misma, por lo tanto, se reflejará en una mejora de la imagen institucional por su adecuada gestión y manejo de residuos sólidos.

No obstante, los especialistas difieren en que el desarrollo de monitoreos participativos de calidad ambiental permite un involucramiento de la población local, debido a que si bien una población informada se convierte en un importante aliado, su involucramiento solo tiene un papel importante al inicio y durante la ejecución del proyecto pues es en estas etapas donde podrían generarse impactos negativos significativos que tienen que manejarse adecuadamente, sin embargo, en la etapa de post cierre se puede prever que los impactos negativos están controlados.

**Tabla N° 26: Evaluación de los criterios para el eje ambiental**

| <b>Eje Ambiental - Criterios de validación</b>                                                                                                                                                           | <b>Experto 1</b> | <b>Experto 2</b> | <b>Experto 3</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| La implementación adecuada del diseño de cierre de botadero se alinea al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 13, así como también a la Política Nacional del Ambiente 2021-2030. | 1                | 1                | 1                |
| La implementación del diseño de cierre del botadero contribuye a la mejora de las condiciones ambientales de la zona de influencia.                                                                      | 1                | 1                | 1                |
| La implementación del diseño de cierre del botadero mejorará el aspecto paisajístico del entorno.                                                                                                        | 1                | 1                | 1                |
| La implementación del diseño de cierre del botadero permitirá la recuperación de la flora y fauna propia de la zona a largo plazo.                                                                       | 1                | 1                | 1                |
| La implementación del diseño del cierre del botadero contribuye a la recuperación del ecosistema.                                                                                                        | 1                | 1                | 1                |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En el eje ambiental, tal como se muestra en la tabla N° 26, se ha evidenciado que existe unanimidad en todos los criterios de validación. En primer lugar, mediante la implementación del diseño de cierre de botadero se haría frente a una problemática ambiental a nivel nacional en la actualidad peruana, que son los botaderos, ya que esto implica la adopción de medidas y estrategias con influencia a nivel local y nacional, a fin de proteger y salvaguardar el ambiente, en consecuencia, esto se alinea al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 13 así como también a la Política Nacional del Ambiente 2021-2030. Por otra parte, la implementación del diseño de cierre del botadero también contribuye a la mejora de las condiciones ambientales y del aspecto paisajístico del entorno, así como a la eventual recuperación del ecosistema, asociado también a la aparición de flora y fauna propias de la zona; esto se sustenta en que los impactos negativos generados por los residuos sólidos expuestos, así como por sus subproductos generados (gases y lixiviados), serán controlados y mitigados a través del encapsulamiento de los residuos y los sistemas de manejo de gases y lixiviados, no obstante, debe considerarse que el beneficio ecosistémico resultante será relativo, dado que por las actividades del relleno sanitario ubicado colindante al botadero aún se tiene la intervención del ser humano en la zona.

**Tabla N° 27: Evaluación de los criterios de validación**

| Eje          | Experto 1 | Experto 2 | Experto 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Económico    | 5         | 5         | 3         |
| Social       | 5         | 5         | 4         |
| Ambiental    | 5         | 5         | 5         |
| <b>Total</b> | <b>15</b> | <b>15</b> | <b>12</b> |

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Del análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de la escala de Likert, como se muestra en la tabla N° 27, se obtuvo un puntaje promedio de 14, lo que representa un valor en el rango de la categoría de «sostenible», por lo que se puede inferir que el diseño del cierre

del botadero del sector Gramazú es óptimo de acuerdo a los aspectos sociales, ambientales y económicos.

### 5.3.2. Evaluación de la percepción de la población

#### 5.3.2.1. Criterios para la validación

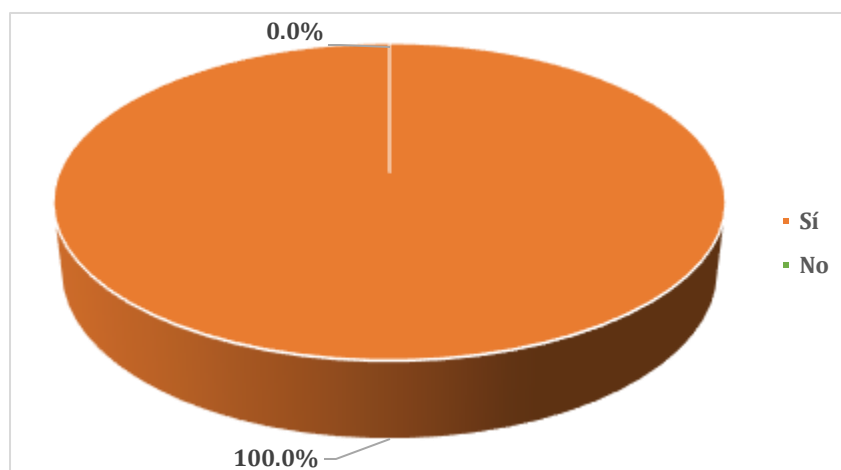
Se utilizaron los criterios en el eje económico, social y ambiental definidos en la evaluación de juicio de expertos, no obstante, se seleccionó los criterios más pertinentes para integrarlos en una encuesta cuyo público objetivo fue la población (grupo no técnico).

#### 5.3.2.2. Resultados

La sistematización del total de encuestas realizadas a la ciudadanía, respecto a la sostenibilidad del diseño del cierre del botadero, permitió obtener los siguientes resultados:

- Respecto a la generación de ingresos económicos para la población por la demanda de mano de obra local para el cierre de botadero, la totalidad de los encuestados manifestaron estar de acuerdo (100%), señalando que sí contrataron personal de la zona. Esto se ve representado en la figura N° 30.

**Figura N° 30: En su opinión, ¿Considera que la demanda de mano de obra local para el cierre de botadero generó ingresos económicos para la población?**

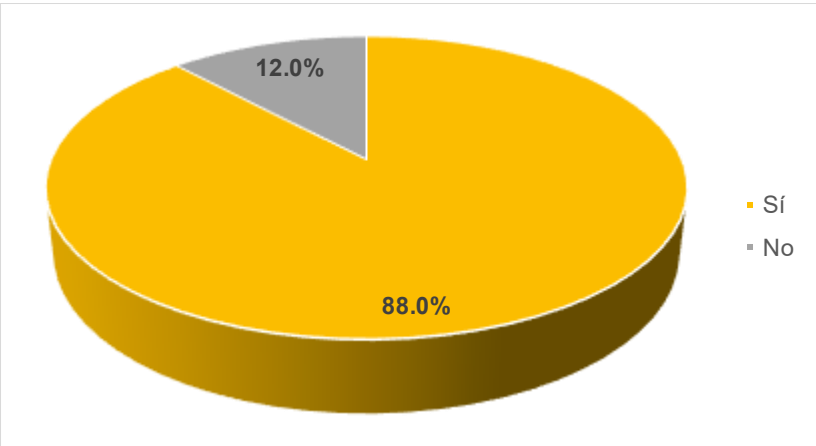


Fuente: Elaboración propia, 2024.

- En relación a la generación de un dinamismo en los negocios locales de la zona por el requerimiento de servicios e insumos para el cierre del botadero, el 88% de los

encuestados estuvieron de acuerdo pero consideran que han sido pocos los beneficiados por el número de comercios cercanos, mientras el 12% restante mencionó no estar de acuerdo debido a que consideran que no hay negocios por la zona. Esto se ve representado en la figura N° 31.

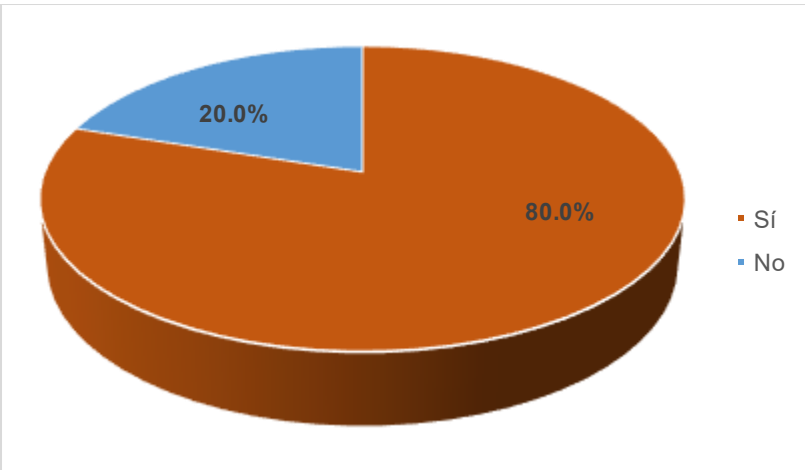
**Figura N° 31: ¿Considera que se generó un dinamismo en los negocios locales de la zona por el requerimiento de servicios e insumos para el cierre del botadero?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Sobre si consideran que hubo una mejora en el valor de los predios aledaños al botadero posterior a su cierre, el 80% de los encuestados manifestaron estar de acuerdo, mientras que el porcentaje restante señaló que desconocen y no podrían asegurarlo (20%). Esto se ve representado en la figura N° 32.

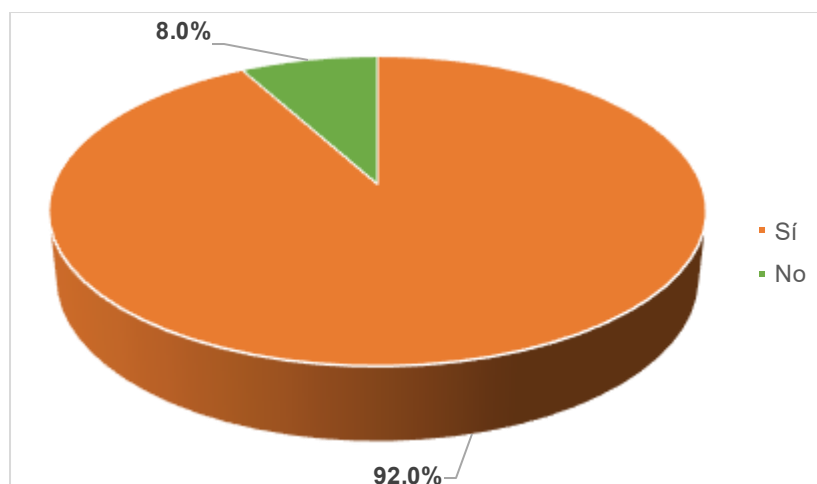
**Figura N° 32: ¿Considera que hubo una mejora en el valor de los predios aledaños al botadero posterior a su cierre?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- El 92% de los encuestados considera que la socialización del diseño de cierre del botadero evitó que se generen conflictos sociales posterior al cierre del botadero; por el contrario, el 8% señaló que no pueden afirmarlo porque no se encuentran en la zona. Esto se ve representado en la figura N° 33.

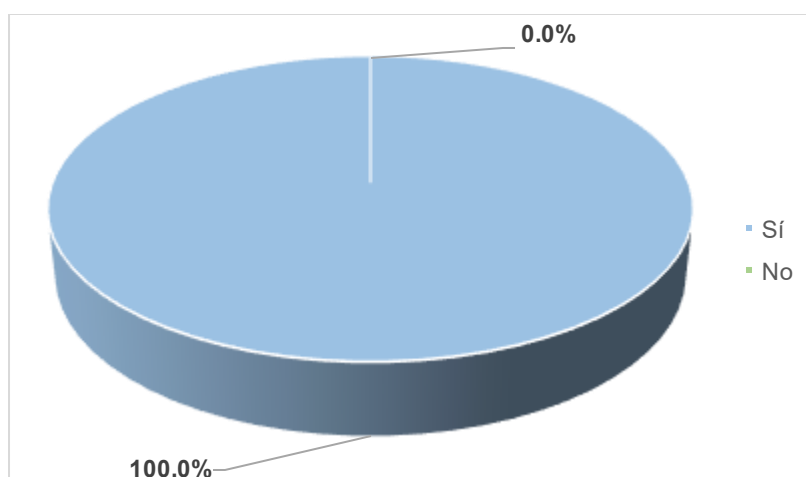
**Figura N° 33: ¿Considera que la socialización del diseño de cierre del botadero evitó que se generen conflictos sociales posterior al cierre del botadero?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Frente a si consideran que ha habido una mejora en la calidad de vida de la población posterior al cierre del botadero, el 100% de los encuestados asegura estar de acuerdo. Esto se ve representado en la figura N° 34.

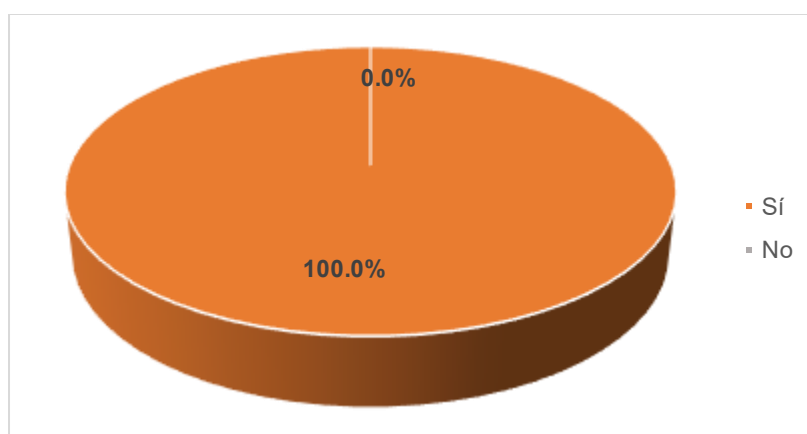
**Figura N° 34: Desde su perspectiva, ¿Cree que ha habido una mejora en la calidad de vida de la población posterior al cierre del botadero?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- El 100% de los encuestados considera importante la participación de la población local en el proceso de los monitoreos participativos de calidad ambiental como parte del cierre del botadero, para que puedan mantenerse debidamente informados. Esto se ve representado en la figura N° 35.

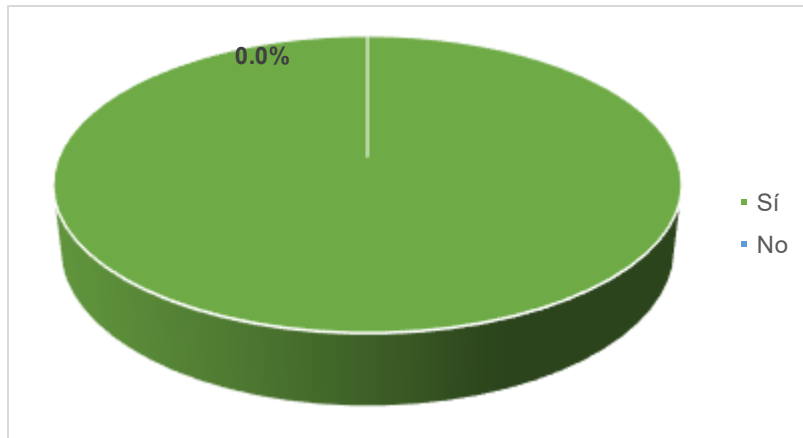
**Figura N° 35: ¿Considera importante la participación de la población local en el proceso de los monitoreos participativos de calidad ambiental como parte de la recuperación del área (cierre del botadero)?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Respecto a si cree que el cierre del botadero ha contribuido a la mejora de las condiciones ambientales de la zona, la totalidad de los encuestados manifestó estar de acuerdo (100%). Esto se ve representado en la figura N° 36.

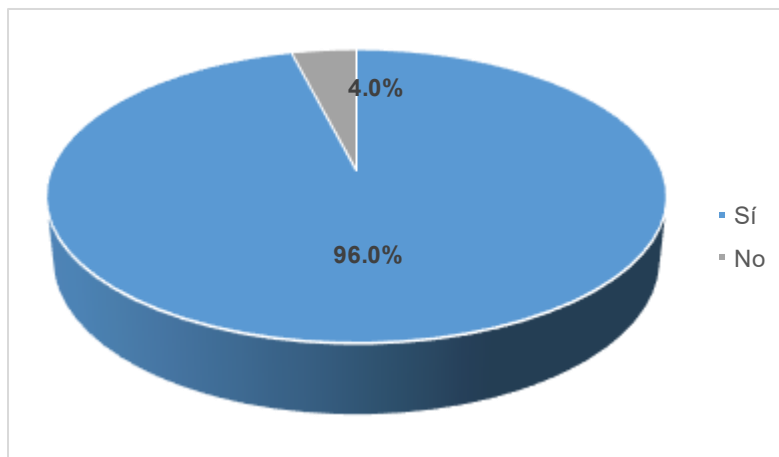
**Figura N° 36: ¿Cree que el cierre del botadero ha contribuido a la mejora de las condiciones ambientales de la zona?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Sobre si consideran que el cierre del botadero ha permitido la mejora el aspecto paisajístico del entorno, el 96% de los encuestados mencionó estar de acuerdo puesto que antes se encontraban todos los residuos y ahora se tiene un mejor panorama, por otro lado, el 4% restante señaló que no podría confirmarlo debido a que no ha pasado por la zona. Esto se ve representado en la figura N° 37.

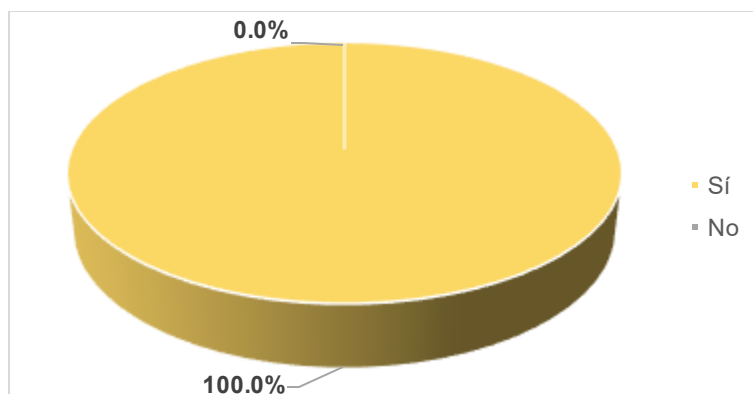
**Figura N° 37: ¿Cree que el cierre del botadero ha permitido la mejora el aspecto paisajístico del entorno?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- El 100% de los encuestados considera que el cierre del botadero ha permitido o permitirá la recuperación de la flora y fauna propia de la zona debido a la mejora del ambiente. Esto se ve representado en la figura N° 38.

**Figura N° 38: ¿Considera usted que el cierre del botadero ha permitido o permitirá la recuperación de la flora y fauna propia de la zona?**



Fuente: Elaboración propia, 2024.

- Como comentarios adicionales, los encuestados señalaron que se debe continuar monitoreando en el área recuperada ya que se debe dar prioridad a la calidad ambiental, además sugieren campañas o capacitaciones por parte de la municipalidad hacia la población relacionado a la clasificación de los residuos sólidos.

## 6. DISCUSIÓN

A nivel nacional, el «*porcentaje de hectáreas de áreas degradadas por residuos sólidos sin intervención*» (MINAM, 2023) surge como una problemática que constituye una de las brechas en el sector ambiente, por lo que se tiene la prioridad de buscar alternativas de solución que no solo permitan contribuir al cierre de esta brecha sino que también posean un nivel de sostenibilidad idóneo para su aplicación, considerando las características singulares que presenta el Perú al ser un país megadiverso.

El diagnóstico situacional desarrollado en el botadero del sector Gramazú permitió tener un panorama de las características del entorno, así como de la percepción social en relación con el mencionado botadero. Lobo (2016) hace énfasis en los diversos residuos que pueden haber sido almacenados y que complejizan la operatividad y el tratamiento de los subproductos, sin embargo, los residuos depositados en el botadero del sector Gramazú desde su operación en el año 2007 se han circunscrito al ámbito municipal del tipo doméstico con una composición física de inorgánicos, orgánicos e inservibles, no existiendo mezclas por descomposición alarmantes que pudieran afectar el entorno.

Por otro lado, para conocer los impactos sociales ocasionados ante la existencia del botadero, tal como lo plantea Chamba y Coque (2021) es importante considerar a los recicladores que trabajan dentro del botadero; no obstante, a diferencia de los autores citados, para la presente investigación se determinó que es factible considerar a la población, en ausencia de recicladores, como agente para determinar los impactos en el ámbito social; en ese sentido, se aplicaron técnicas de recolección de datos, tipo encuestas, a la población circundante al botadero del sector Gramazú.

Dicho diagnóstico permitió conocer además factores del entorno determinantes en la formulación de componentes del diseño técnico de cierre, tal es así que teniendo en cuenta las características del suelo del botadero del sector Gramazú se hace necesario un encapsulamiento de los residuos sólidos considerando la estabilización e impermeabilización de las capas de sellado así como la colocación de elementos estructurales para el manejo de

los subproductos generados en el botadero, es decir, biogás y lixiviados. Para el cálculo de la generación de lixiviados, Pérez (2017) aplicó en el botadero de San José el método de balance hídrico, sin embargo, para el caso del botadero del sector Gramazú se recurrió al método suizo debido a su empleo generalizado y dependencia a variables conocidas tales como la precipitación y el grado de compactación de los residuos; por otro lado, para la presente investigación, considerando las características de disposición de los residuos sólidos y la información histórica obtenida del botadero, se recurrió al método «*Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site*» de la UNFCC, el cual resultó con mayor precisión.

Durante la operación del botadero los residuos sólidos se depositaban diariamente y posteriormente eran cubiertos, pese a ello, las condiciones climáticas de elevada temperatura y alta humedad de la zona, favorecieron la conformación de bolsonadas de lixiviados en el botadero identificados hasta los 18 metros de profundidad desde la base y cuya extracción, como parte de la recuperación del área degradada, tiene como propuesta implementar una zanja que capte por gravedad el flujo de los lixiviados y los redirija hacia la poza de almacenamiento, lo que propicia en términos operativos un incremento de costos; autores como Álvarez Reyna (2016) plantea además la importancia de controlar la contaminación del aire por la emanación de gases e implementar sistemas de captación de drenaje natural del agua producto de la precipitación pluvial; que en zonas de alta pluviometría incrementa la generación del lixiviado. Estas recomendaciones fueron aplicadas en el botadero del sector Gramazú.

Tal como mencionan Arbulu y Delgado (2019), se debe emplear una metodología para la evaluación de los impactos ambientales generados por un botadero, considerándose, en este contexto, la empleabilidad de la matriz de Leopold; no obstante, para la presente investigación, se planteó la evaluación de impactos ambientales a través de la elaboración de una matriz adaptada a las particularidades del botadero del Sector Gramazú, lo que permitió la realización de un análisis comparativo entre dos escenarios del botadero: el primero, sin diseño técnico y el segundo, con diseño técnico.

El primer escenario, con una valoración de 20 en términos de impactos ambientales, permitió determinar que nos encontrábamos ante un ecosistema severamente alterado, al no cumplir con las condiciones y operaciones mínimas de una infraestructura de disposición final de residuos sólidos, según lo estipula el Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM en sus artículos 114 y 115. En contraste, con una valoración de 7 en el segundo escenario, se constató un ecosistema ligeramente alterado, atribuible a la implementación de sistemas estructurales que aseguran el encapsulamiento de los residuos sólidos y un manejo sanitario y ambientalmente adecuado de sus subproductos; en este sentido, el diseño técnico permite mitigar los impactos ambientales generados, mas es importante señalar que esto no implica la restauración total del ecosistema.

Para la valoración de la sostenibilidad del proceso de cierre, se ha considerado, como sugiere Foladori et al (2000), la evaluación de criterios en los ejes económico, social y ambiental, y cuyo análisis debe evidenciar un equilibrio armónico entre los tres ejes. La evaluación de los criterios de validación mediante juicio de expertos permitió determinar, en el eje social, los beneficios para los actores involucrados; esto es, para la población en términos de calidad de vida por la mejora de su entorno y la generación de puestos laborales por el desarrollo de un proyecto local; y, para las autoridades locales, en términos de fortalecimiento institucional y la ausencia de conflictos sociales ante la mejora en la gestión y manejo de residuos sólidos.

Además, en el eje ambiental, la adopción de medidas para la mitigación de los impactos ambientales negativos y la recuperación progresiva de los componentes del ecosistema se alinea al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (Acción por el clima), y a la Política Nacional del Ambiente 2021-2030. Por último, en el eje económico, se contrasta la eficiencia del diseño técnico dado que implica una inversión que proyecta los menores costos a mediano y largo plazo, esto se refleja en que al asegurar una adecuada calidad del diseño desde las etapas preliminar, ejecución y cierre de la ejecución, se puedan reducir costos en las actividades post cierre del botadero; asimismo, se evidenciará una mejora en el valor predial de las viviendas aledañas

debido a que se realizará un saneamiento en el área de influencia del botadero que permitirá mejorar las condiciones salubres del lugar. Es así que se infiere que el diseño técnico, valorado con una puntuación de 14 en la escala de Likert, es óptimo de acuerdo a los aspectos sociales, ambientales y económicos.

Finalmente, similar a lo planteado por diversos actores, es importante considerar la participación de la población asentada en el área de influencia directa del botadero después de recuperada el área del botadero. Los resultados de las encuestas aplicadas post cierre reflejan un resultado positivo por las mejores ambientales que han podido percibir y, por ende, afirman una mejora en su calidad de vida; de igual manera han demostrado interés por continuar conociendo el correcto proceso de operación y mantenimiento del botadero a cargo de la municipalidad provincial de Oxapampa, en ese sentido, se identificó como estrategia su participación en los monitoreos de calidad ambiental con una frecuencia anual, resultado que sería reportado a la autoridad competente de acuerdo a normativa.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

- El diseño técnico para el cierre del botadero del sector Gramazú es una propuesta sostenible y permite mitigar el impacto ambiental causado en el área de influencia, debido a que prevé el control y manejo, a corto y largo plazo, de los principales contaminantes generados en el botadero: lixiviados y gases. Por consiguiente, propicia una serie de beneficios en los factores sociales y ambientales, reduciendo la afectación a la calidad del suelo y aire a través de un sistema de recolección de lixiviados y un sistema de captación de gases, respectivamente; así como evita la generación de olores y vectores que afectan la salud pública, mediante la aplicación del sellado de los residuos sólidos.
- La evaluación del área de influencia del botadero permitió identificar que las condiciones ambientales resultan en la alteración paisajística del ecosistema por la inadecuada disposición de residuos sólidos y consiguio la proliferación de vectores, tales como moscas y ratas, la pérdida de valor del suelo agrícola de la zona y la generación de olores; lo que, a su vez, causa malestar en la población circundante al botadero reflejado en los resultados de las encuestas de percepción social. Por otra parte, a través de los estudios básicos de ingeniería, se determinó que el botadero es inestable, tiene un volumen de 61 069 m<sup>3</sup> de residuos sólidos dispuestos y se demostró la presencia de lixiviados en cantidades de 10 765 m<sup>3</sup> y biogás en 4,91 m<sup>3</sup>/h, lo cual se ve favorecido por el clima del entorno del botadero al ser moderadamente lluvioso (1 674 mm/anual) y muy húmedo (86,1%), además de que los residuos sólidos municipales dispuestos se caracterizan por tener una composición principal de materia orgánica (65,16%).
- Los criterios para elaborar el diseño técnico de cierre del botadero del sector Gramazú son, principalmente, las características climatológicas y geomorfológicas del sitio de estudio, composición de los residuos sólidos dispuestos, configuración actual del botadero y la estimación de la generación de gases y lixiviados contenidos en el botadero; estos criterios propiciaron la definición de los componentes idóneos para su cierre y que,

al mismo tiempo, el impacto ambiental ocasionado por el botadero sea el mínimo posible, mitigando el efecto perjudicial al ambiente y salud, y permitiendo su reinserción al paisaje natural de la zona mediante una revegetación con especies endémicas.

- Los criterios de validación propuestos para el eje ambiental, social y económico permitieron validar la sostenibilidad del diseño técnico a través de la evaluación de juicio de expertos, en donde se obtuvo una puntuación de 14, que se ubica en la categoría de «sostenible» dentro de la escala de Likert modificada (0 – 15) y, a su vez, por la percepción de la población, la cual dio a conocer su satisfacción posterior al cierre del botadero debido a que han podido percibir un dinamismo económico y una mejora en su calidad de vida, así como en las condiciones ambientales; de esta manera, se concluye que el diseño propuesto resulta una alternativa sostenible para el cierre del botadero del sector Gramazú por abordar oportunamente cada uno de los ejes de sostenibilidad.

## **7.2. Recomendaciones**

- Considerar la participación de la población del área de influencia en los monitoreos ambientales participativos con la finalidad de que se evidencie el correcto funcionamiento del cierre del botadero y evitar conflictos sociales.
- Se sugiere que los funcionarios de la municipalidad provincial de Oxapampa asuman la responsabilidad a cabalidad de la operación y mantenimiento del área recuperada, a fin de asegurar la sostenibilidad del diseño técnico, reportando al OEFA el cumplimiento de los tópicos asumidos en el instrumento de gestión de la recuperación del área degradada por residuos sólidos.
- Se recomienda que la presente investigación sirva como un antecedente para proyectos que ejecute el Estado y que busquen reducir la brecha asociada a las áreas degradadas por residuos sólidos sin intervención, no obstante, se deben considerar las características particulares de cada zona.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abubakar, I., Maniruzzaman, K., Dano, U., AlShihri, F., AlShammari, M., Ahmed, S., Al-Gehlani, W., & Alrawaf T. (2022). Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 1 -26. DOI: 10.3390/ijerph191912717.
- Álvarez, R. (2016). «*Diagnóstico y propuesta de mejora del tiradero municipal de Villa Victoria Estado de México*» [Tesis para optar el título de licenciado en ciencias ambientales, Universidad Autónoma del Estado de México].
- Arbulu, D. y Delgado, J. (2019). «*Propuesta de un Plan de clausura para el botadero “Pampas de Reque” para proteger al ambiente, seguridad y salud a la población aledaña, Reque, 2019*» [Tesis para optar el título de ingeniero ambiental, Universidad de Lambayeque].
- Baldarrago, H. (2021). «*Propuesta del plan de cierre y saneamiento del área degradada por residuos sólidos en el botadero Chuñasampa del distrito de Chivay, provincia de Caylloma*» [Tesis para optar el título de ingeniero ambiental, Universidad Católica de Santa María].
- Banco Interamericano de Desarrollo. (1997). Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental para Proyectos de Residuos Sólidos Municipales: Procedimientos Básicos.
- Barles, S. (2014). History of Waste Management and the Social and Cultural Representations of Waste. En Agnoletti, M y Serneri, S. (Eds) *The Basic Environmental History* (4a ed., Vol. 4, pp. 199-226) [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09180-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09180-8_7)
- Bilitewski, B., Hardtle, G. & Marek, K. (1997). Introduction to Waste Management in Germany. En Bilitewski, B., Hardtle, G. y Marek, K. (Eds.) *Waste Management* (pp. 1-20). [https://doi.org/10.1007/978-3-662-03382-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-03382-1_1)
- Buendía, N., Calizaya, K., Castillo, R., Neira, E. y Vidarte, J. (2021). Propuesta metodológica para el muestreo de lixiviados en rellenos sanitarios operativos. [https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/161/GRUPON\\_12.DOC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/161/GRUPON_12.DOC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.
- Chamba, G. y Coque, A. (2021). «*Propuesta de cierre técnico del botadero a cielo abierto del cantón Balzar basado en la evaluación de los impactos socio-ambientales*» [Tesis para optar el título de ingeniero ambiental, Universidad Agraria de Ecuador].
- Colomer-Mendoza, F. y Szantó-Narea, M. (2012). Evolución histórica. En Márquez-Benavides (Ed.), *Residuos sólidos: un enfoque multidisciplinario* (pp. 19-58). Libros en Red.
- Consejo Nacional del Ambiente (2004). Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/337/BIV00141.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Decreto Legislativo N° 1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 23 de diciembre de 2016. El Peruano. No. 6074732.
- Decreto Legislativo N° 1501. Decreto Legislativo que modifica el Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 11 de mayo de 2020. El Peruano.
- Decreto Supremo N° 008-2016-MINAM. Aprueban Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía 2016 – 2030. 21 de julio de 2016. El Peruano. No. 593739.
- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 21 de diciembre de 2017. El Peruano.
- Defensoría del Pueblo. (2019). Informe Defensorial N°181 ¿Dónde va nuestra basura? Recomendaciones para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales. <https://static.legis.pe/wp-content/uploads/2019/11/D%C3%B3nde-va-nuestra-basura-LP.pdf>
- Fernández, A. (2005). La Gestión Integral de los residuos sólidos urbanos en el desarrollo sostenible local. *Revista Cuban de Química*, XVII, 35-39. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543687013>

- García, C. y Urrego, C. (2015). «*Plan De Cierre Para El Botadero A Cielo Abierto De Residuos Sólidos Del Municipio De Inirida – Guainia*» [Tesis para optar el título de Tecnólogo en Gestión Ambiental y Servicios Públicos, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
- García, J., Pozo, J., y Vásquez, Y. (2020). Estimación del caudal medio de lixiviados generados en el vertedero de Viñales, Pinar del Río. *Avances*, 22(3), 325-341.  
[://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/555/1618](http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/555/1618)
- Grupo de Investigación de Economía Ecológica (14 de abril de 2016). La basura: consecuencias ambientales y desafíos. Universidad Nacional de Mar del Plata.  
<https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1611-la-basura-consecuencias-ambientales-y-desafios>
- Hernández, S. y Corredor, L. (2016). Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Revista de Tecnología*, 15(1), 57 - 76.  
 DOI:10.18270/rt.v15i1.2039
- Hernández, S. y Duana, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 9 (17), 51 – 53.  
<https://doi.org/10.29057/icea.v9i17>
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. México: McGrawHill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Huanca, J. (2020). «Diagnóstico situacional de áreas degradadas por residuos sólidos y propuesta de cierre de botaderos a cielo abierto en la ciudad de Arequipa» [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12773/11719>
- IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A. Sucursal del Peru y Peru Waste Innovation S.A.C. (2021). Programa de Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos en Zonas Prioritarias: Elaboración de seis Estudios Definitivos de Ingeniería para la Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos en los Sectores de Chancay, Pozuzo, Oxapampa, Bagua, Yauyos y Andahuaylas.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. <http://censo2017.inei.gob.pe/publicaciones/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2023). Perú: Indicadores de Gestión Municipal 2022.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4572173/Per%C3%BA%3A%20Indicadores%20de%20Gesti%C3%B3n%20Municipal%202022.pdf?v=1690990687>

International Solid Waste Association (2015). Wasted Health: The tragic case of dumpsites.

Kaza, S., Lisa, Y. & Perinaz, B. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>

Khan, M., Siddiqui, F. & Rajaram, V. (2011). From Landfill Gas to Energy: Technologies and Challenges. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11598>

Limachi, G., Peñaranda, L., y Realp, E. (2012). Guía para el Cierre Técnico de Botaderos. Bolivia.

Lobo, A., Szantó, M., y Llamas, S. (2017). Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en Iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 123-139. DOI: 10.20937/RICA.2016.32.05.09

Ministerio de Energía y Minas. (2001). Guía de Relaciones Comunitarias.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2012). Guía para el Cierre Técnico de Botaderos. Colombia.

Ministerio del Ambiente (2019). Guía para la Formulación del Plan de Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/728826/Producto\\_4\\_-\\_Guia\\_para\\_la\\_formulacion\\_del\\_plan\\_de\\_recuperacion\\_de\\_areas\\_degradadas\\_por\\_residuos\\_solidos\\_municipales\\_\\_002\\_.pdf?v=1590168657](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/728826/Producto_4_-_Guia_para_la_formulacion_del_plan_de_recuperacion_de_areas_degradadas_por_residuos_solidos_municipales__002_.pdf?v=1590168657)

Ministerio del Ambiente (2023). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2000-2019. [https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2023/01/Informe-INGEI-2019-VF\\_2.pdf](https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2023/01/Informe-INGEI-2019-VF_2.pdf)

Ministerio del Ambiente. 27 de julio de 2023. *Resolución Ministerial N° 245-2023-MINAM*. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/4478251-245-2023-minam>

Montejo, J. (2010). Elaboración de una herramienta en Excel que permita el cálculo de la cantidad de gas metano y lixiviados producido en un relleno sanitario, aplicado al municipio de Saba de Torres, Santander, Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.

Municipalidad Provincial de Oxapampa (2013). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la provincia de Oxapampa.

Nathanson, J. (15 de octubre de 2023). *Land pollution*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/land-pollution>

Norma Técnica Peruana 900.058: 2019 GESTIÓN AMBIENTAL. Gestión de residuos. Código de colores para los dispositivos de almacenamiento de residuos.

O'Leary, P. & Tchobanoglous, G. (2002). Landfilling. En Kreith & Tchobanoglous (Ed.), *Handbook of solid waste management* (pp. 14.1-14.88). McGraw-Hill. DOI: 10.1036/0071356231

ONU Medio Ambiente (2018). *Perspectivas de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Ciudad de Panamá, Panamá. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/26448>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2016). Fiscalización Ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial: Informe 2014-2015. Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional. <https://hdl.handle.net/20.500.12788/57>

- Pérez, R. (2017). «*Plan de cierre y recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos municipales en el botadero de “San José” - Andahuaylas, Apurímac*» [Tesis para optar el título de ingeniero ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Quintero, A., Valencia, Y. y Lara, L. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. *DYNA*, 84(203), pp. 283-290. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.63875>
- Resolución N° 00112-2023-OEFA/DSIS [Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental]. 03 de enero de 2024.
- Resolución de Consejo Directivo N° 026-2018-OEFA/CD [Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental]. 25 de octubre de 2018.
- Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Aprueban la Guía para la Elaboración de la Línea Base y la Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales, en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental – SEIA. 04 de enero de 2019. El Peruano.
- Tacchetti, M., Arriagada, M., González, L., Falkowski, V., Romero, F., Encinas, A., ... y Silva Filho, C. (2021). Hoja de ruta para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y El Caribe.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., y Vigil, S. A. (1998). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. México: McGraw-Hill.
- Ucharico, A. (2018). Informe de trabajo de recubrimiento (soterrado) del área degradada por residuos sólidos Cancharani del distrito de Puno, Provincia de Puno. Sub Gerencia de Gestión Ambiental y Salud Pública.

## **9. ANEXOS**

### **Anexo N° 01: Fotografías**

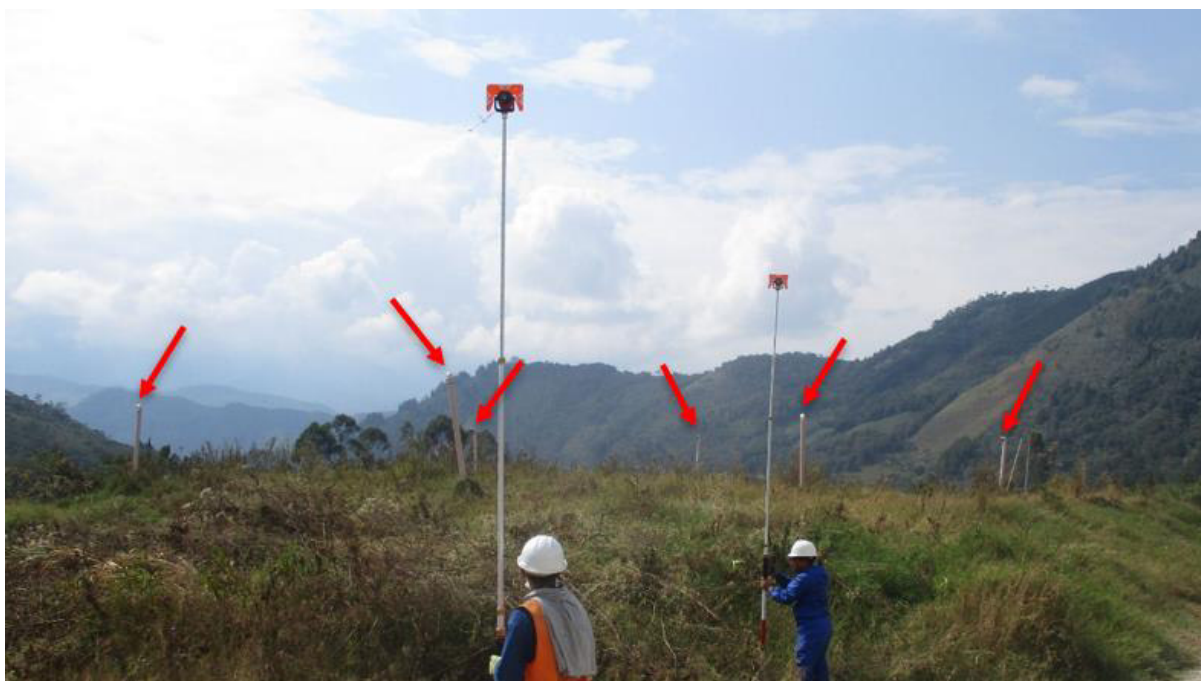
Zona de ingreso al botadero y relleno sanitario de Oxapampa



Poza de lixiviados del botadero



Distribución de las seis (06) chimeneas del botadero



Área del botadero Gramazú en proceso de clausura



Tesistas en el área del botadero Gramazú en proceso de clausura



## Aplicación de encuestas



## **Anexo N° 02: Encuestas**

## Anexo N° 02-1: Diseño de encuesta de percepción social ante el cierre del botadero

### ENCUESTA DE PERCEPCIÓN SOCIAL

Tesis: «Diseño técnico del cierre del botadero para mitigar el impacto ambiental en su área de influencia en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa - Pasco»

#### I. INFORMACIÓN BÁSICA

|                                   |                |                                     |                                                                          |                                 |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1.1. Departamento                 | 1.2. Provincia | 1.3. Distrito                       | 1.4. Urbanización / Comunidad Campesina / Centro Poblado / Sector / Otro | 1.5. Tiempo que vive en la zona |
|                                   |                |                                     |                                                                          |                                 |
| 1.6. Nombre del entrevistado (a): |                |                                     |                                                                          |                                 |
| 1.7. Edad en años:                |                | 1.8. Sexo: 1. Masculino 2. Femenino |                                                                          |                                 |

#### II. CONOCIMIENTO Y OPINIÓN

|                                                                                                                                                                        |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2.1. ¿Qué problemas ha presenciado en el lugar donde se almacenan, sin ningún control, los residuos sólidos generados en la ciudad (botadero)?</b>                  |                                                                                                    |
| 1. Aparición de moscas, cucarachas y/o ratas<br>3. Afectación a la salud de la población<br>Si marcó Otro por favor especifique:                                       | 2. Acumulación excesiva de basura<br>4. Otro                                                       |
| <b>2.2. ¿Cuál cree que podría ser la solución(es) a los problemas ocasionados por el botadero?</b>                                                                     |                                                                                                    |
| 1. Cierre del botadero<br>3. Otro<br>Si marcó Otro por favor especifique:                                                                                              | 2. Fumigación del botadero                                                                         |
| <b>2.3. ¿Ha presenciado algún problema social a causa de la operación del botadero?</b>                                                                                |                                                                                                    |
| 1. SI<br>Si marcó SI en la pregunta anterior, explique:                                                                                                                | 2. NO                                                                                              |
| <b>2.4. ¿Estaría de acuerdo con la recuperación del área (cierre del botadero)?</b>                                                                                    |                                                                                                    |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                     | 2. NO                                                                                              |
| <b>2.5. ¿Cuál cree que sea el principal beneficio que traerá la recuperación del área (cierre del botadero)?</b>                                                       |                                                                                                    |
| 1. Mejorará las condiciones ambientales<br>3. Recuperará la belleza paisajística del entorno<br>5. Disminución de enfermedades<br>Si marcó Otro por favor especifique: | 2. Permitirá la recuperación económica<br>4. Disminuirá la cantidad de botaderos<br>6. Otro        |
| <b>2.6. ¿Cree que habría algún impacto negativo en el proceso de recuperación del área (cierre del botadero)?</b>                                                      |                                                                                                    |
| 1. SI<br>Si responde SI pasar a la pregunta 2.7, si responde NO se pasa a la pregunta 2.8.                                                                             | 2. NO                                                                                              |
| <b>2.7. ¿Qué impactos identifica?</b>                                                                                                                                  |                                                                                                    |
| 1. Generación de ruido<br>3. Generación de olores<br>Si marcó Otro por favor especifique:                                                                              | 2. Generación de polvo<br>4. Otro                                                                  |
| <b>2.8. ¿Cree que la población tendría interés en que se ejecute la recuperación del área (cierre del botadero)?</b>                                                   |                                                                                                    |
| 1. SI<br>Si responde SI pasar a la pregunta 3.0, si responde NO se pasa a la pregunta 2.9.                                                                             | 2. NO                                                                                              |
| <b>2.9. ¿Por qué cree que la población no tendría interés en que se ejecute la recuperación del área (cierre del botadero)?</b>                                        |                                                                                                    |
| 1. Desconocimiento<br>3. Elevación de impuestos<br>5. Otro<br>Si marcó Otro por favor especifique:                                                                     | 2. Temor de contaminación ambiental en su operación<br>4. Afectación en sus actividades económicas |
| <b>3.0. ¿Qué cree usted que se debería hacer en el terreno posterior a la recuperación del área (cierre del botadero)?</b>                                             |                                                                                                    |
| 1. Áreas de cultivo<br>3. Zona para viviendas<br>5. Otro<br>Si marcó Otro por favor especifique:                                                                       | 2. Espacio recreativo<br>4. Restringir el uso solo para áreas verdes                               |
| <b>Si marco cualquier alternativa a excepción de la 4, explicar al encuestado que no procede lo que está pensando y citar la normativa que prohíbe los otros usos</b>  |                                                                                                    |
| <b>3.1. Tiene algún comentario adicional:</b>                                                                                                                          |                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                        |                                                                                                    |

## Anexo N° 02-2: Diseño de encuesta de percepción social posterior al cierre del botadero

### ENCUESTA DE PERCEPCIÓN SOCIAL POST CIERRE DEL BOTADERO

Tesis: «Diseño técnico del cierre del botadero para mitigar el impacto ambiental en su área de influencia en el sector Gramazú, distrito de Huancabamba, Oxapampa - Pasco»

#### I. INFORMACIÓN BÁSICA

|                                   |                |               |                                                                          |                                 |
|-----------------------------------|----------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1.1. Departamento                 | 1.2. Provincia | 1.3. Distrito | 1.4. Urbanización / Comunidad Campesina / Centro Poblado / Sector / Otro | 1.5. Tiempo que vive en la zona |
|                                   |                |               |                                                                          |                                 |
| 1.6. Nombre del entrevistado (a): |                |               |                                                                          |                                 |
| 1.7. Edad en años:                |                | 1.8. Sexo:    | 1. Masculino                                                             | 2. Femenino                     |

#### II. CONOCIMIENTO Y OPINIÓN

|                                                                                                                                                                                                            |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>2.1. En su opinión, ¿Considera que la demanda de mano de obra local para el cierre de botadero generó ingresos económicos para la población?</b>                                                        |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.2. ¿Considera que se generó un dinamismo en los negocios locales de la zona por el requerimiento de servicios e insumos para el cierre del botadero?</b>                                              |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.3. ¿Considera que hubo una mejora en el valor de los predios aledaños al botadero posterior a su cierre?</b>                                                                                          |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.4. ¿Considera que la socialización del diseño de cierre del botadero evitó que se generen conflictos sociales posterior al cierre del botadero?</b>                                                   |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.5. Desde su perspectiva, ¿Cree que ha habido una mejora en la calidad de vida de la población posterior al cierre del botadero?</b>                                                                   |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.6. ¿Considera importante la participación de la población local en el proceso de los monitoreos participativos de calidad ambiental como parte de la recuperación del área (cierre del botadero)?</b> |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.7. ¿Cree que el cierre del botadero ha contribuido a la mejora de las condiciones ambientales de la zona?</b>                                                                                         |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.8. ¿Cree que el cierre del botadero ha permitido la mejora el aspecto paisajístico del entorno?</b>                                                                                                   |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>2.9. ¿Considera usted que el cierre del botadero ha permitido o permitirá la recuperación de la flora y fauna propia de la zona?</b>                                                                    |       |
| 1. SI<br>Explique:                                                                                                                                                                                         | 2. NO |
| <b>3.0. Tiene algún comentario adicional:</b>                                                                                                                                                              |       |
|                                                                                                                                                                                                            |       |