

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Caracterización físico-química y microbiológica de lixiviados generados en el botadero municipal de residuos sólidos de Izcutaco, distrito Huanta, Ayacucho.**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN UNAH:**

Ciencias de Medio Ambiente

**AUTOR:**

Cárdenas Rojas, David

**ASESOR:**

Dr. Herrera Díaz Santos Clemente

**HUANTA – PERÚ**

**2025**

NOMBRE DEL TRABAJO

**Informe final David Cárdenas Rojas.pdf**

RECUENTO DE PALABRAS

**18523 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**107329 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**108 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 31, 2026 8:19 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 31, 2026 8:21 AM GMT-5****● 12% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente  
por HERRERA DIAZ  
Santos Clemente FAU  
20574653798 soft  
Fecha: 2026.03.31  
08:29:51 -05'00'

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LIXIVIADOS  
GENERADOS EN EL BOTADERO MUNICIPAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE  
IZCUTACO, DISTRITO HUANTA**

**AUTOR:**

Cárdenas Rojas David

**ASESOR:**

Dr. Herrera Díaz Santos Clemente



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA**  
Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

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

En la ciudad de Huanta, en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en la autopista Carlos Ch. Hiraoka, desvío a Ccollana, a los 02 días del mes de junio de 2026, siendo las 16:00 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

**Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz**  
**Mtro. Yomer Cisneros Aguirre**  
**Dr. Santos Clemente Herrera Díaz**

**Miembro titular 1 (Presidente)**  
**Miembro titular 2**  
**Miembro titular 3**

Acto seguido, se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 073-2026-CO-UNAH, mediante la cual señala la fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis de la **Bach. David Cardenas Rojas**, titulada: "**Caracterización Físico - Química y microbiológica de lixiviados generados en el botadero municipal de residuos sólidos de Izcutaco, Distrito Huanta, Ayacucho.**", asesorado por el Dr. Santos Clemente Herrera Díaz, para optar el Título profesional de Ingeniero Ambiental.

**Observaciones:**

.....  
.....

Terminada la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte de los miembros del jurado evaluador, las cuales fueron defendidas y absueltas por el tesista. Acto seguido se procedió a deliberar y calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	( )
Aprobado Bueno	(x)
Aprobado Muy Buenos	( )
Aprobado Excelente	( )

Con la calificación de Quince ..... (15)

Siendo las 17:10 horas, se da por finalizado el acto académico de sustentación de tesis, procediendo a firmar la presente acta los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE HUANTA

**Dra. Karina M. Ordoñez Ruiz**

DOCENTE PRINCIPAL

**Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz**  
**Miembro titular 1 (Presidente)**



Yomer Cisneros Aguirre  
INGENIERO EN AMBIENTE  
Y DESARROLLO  
CIP N° 303048

**Mtro. Yomer Cisneros Aguirre**  
**Miembro titular 2**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

**Dr. Santos Clemente Herrera Díaz**

DOCENTE ORDINARIO PRINCIPAL

**Dr. Santos Clemente Herrera Díaz**  
**Miembro titular 3**

## ÍNDICE

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Descripción y formulación del problema.....	15
1.2. Antecedentes .....	18
1.2.1. Antecedentes internacionales.....	18
1.2.2. Antecedentes nacionales .....	21
1.3. Objetivos .....	25
1.4. Justificación e importancia.....	26
1.5. Hipótesis.....	28
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	30
2.1. Bases teóricas .....	30
2.1.1. Lixiviados generados en el botadero.....	30
2.1.2. Impacto ambiental en el suelo y agua .....	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	33
3.1. Tipo de investigación .....	33
3.2. Enfoque de la investigación .....	33
3.3. Diseño de la investigación .....	33
3.4. Nivel.....	34
3.5. Alcance.....	34
3.6. Población.....	34
3.7. Muestra .....	34
3.8. Técnicas e instrumentos de investigación.....	39
3.9 Validación, confiabilidad y control de calidad.....	40
3.9.1 Validación metodológica .....	40
3.9.2 Calibración de equipos .....	40
3.9.3 Control de calidad de laboratorio.....	40

3.9.4 Repetibilidad y trazabilidad de resultados.....	40
3.10 Procesamiento de datos y análisis estadístico.....	42
3.11. Criterios éticos de la investigación.....	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
4.1. Resultados.....	45
4.1.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos principales como pH, conductividad eléctrica, Sólidos Totales, DBO, DQO, Nitrógeno, Fosforo y Metales Pesados en los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco. ....	45
4.1.2 Determinación de los parámetros microbiológicos como coliformes totales, coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos y levaduras presente en los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco.....	56
4.1.3 Evaluación del grado de contaminación y el potencial impacto ambiental de los lixiviados sobre el suelo y los cuerpos de agua cercanos.....	64
4.1.4 Evaluación de la relación entre la composición de los lixiviados y el tipo de residuos sólidos dispuestos en el botadero .....	72
4.1.5 Contrastación de hipótesis.....	82
4.2. Discusión .....	86
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	95
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	98
CAPITULO VII: REFERENCIAS .....	101
CAPITULO VIII: ANEXO .....	107

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	29
<b>Tabla 2</b> Distribución de las muestras .....	35
<b>Tabla 3</b> Frecuencia y cantidad de muestras en lixiviados .....	36
<b>Tabla 4</b> Frecuencia y cantidad de muestras para suelos y recurso hídrico .....	37
<b>Tabla 5</b> Parámetros por categoría .....	41
<b>Tabla 6</b> Valores pH mensual en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	45
<b>Tabla 7</b> Concentración mensual de Sólidos Totales (mg/L) en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	48
<b>Tabla 8</b> Valores de Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	50
<b>Tabla 9</b> Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (mg/L) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	52
<b>Tabla 10</b> Valores de Demanda Química de Oxígeno (mg/L) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	54
<b>Tabla 11</b> Valores de Coliformes Totales (NMP/100 mL) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	57
<b>Tabla 12</b> Valores de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	59
<b>Tabla 13</b> Valores de Escherichia coli mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	61
<b>Tabla 14</b> Recuento de Hongos y Levaduras mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco .....	62
<b>Tabla 15</b> Comparación del pH del suelo con el rango óptimo típico para suelos agrícolas .....	64
<b>Tabla 16</b> Comparación de la concentración de cadmio (Cd) en suelo con el ECA para Suelo Agrícola .....	65
<b>Tabla 17</b> Comparación de la concentración de cromo (Cr) en suelo con el ECA para Suelo Agrícola .....	65
<b>Tabla 18</b> Comparación de la concentración de plomo (Pb) en suelo con el ECA para Suelo Agrícola .....	66

<b>Tabla 19</b> Comparación del pH del agua con los ECA para Agua, Categoría 3. ....	68
<b>Tabla 20</b> Comparación de la conductividad eléctrica (CE) del agua con los ECA para Agua, Categoría 3. ....	69
<b>Tabla 21</b> Comparación de concentración de manganeso (Mn) en agua con los ECA para Agua, Categoría 3. ....	70
<b>Tabla 22</b> Comparación de coliformes termotolerantes en agua con los ECA para Agua, Categoría 3. ....	71
<b>Tabla 23</b> Composición física de los residuos sólidos municipales .....	72
<b>Tabla 24</b> Análisis de correlación de parámetros .....	79
<b>Tabla 25</b> Prueba de normalidad Shapiro Wilk.....	83
<b>Tabla 26</b> Resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los parámetros de calidad de lixiviados .....	84
<b>Tabla 27</b> Resumen de los resultados de las pruebas estadísticas .....	85

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Muestreo de lixiviados .....	36
<b>Figura 2</b> Muestreo de suelo .....	37
<b>Figura 3</b> Muestreo de agua.....	38
<b>Figura 4</b> Monitoreo de la calidad de agua en laboratorio.....	38
<b>Figura 5</b> Mapa de ubicación de puntos de muestreo dentro del botadero.....	41
<b>Figura 6</b> Mapa de ubicación de muestreo fuera del botadero.....	42
<b>Figura 8</b> Evolución temporal del pH en lixiviados durante seis meses de monitoreo .....	46
<b>Figura 9</b> Evolución temporal de la concentración de Sólidos Totales en lixiviados durante el periodo de seis meses.....	48
<b>Figura 10</b> Evolución temporal de la Conductividad Eléctrica en lixiviados durante seis meses de monitoreo.....	50
<b>Figura 11</b> Evolución temporal de la DBO <sub>5</sub> en lixiviados durante el periodo de seis meses.....	52
<b>Figura 12</b> Resultados de la demanda química de oxígeno.....	55
<b>Figura 13</b> Evolución temporal de Coliformes Totales en lixiviados durante el periodo de seis meses .....	57
<b>Figura 14</b> Evolución temporal de Coliformes Termotolerantes en lixiviados durante el periodo de seis meses.....	59
<b>Figura 15</b> Evolución temporal de E. coli en lixiviados durante el periodo de seis meses.....	61
<b>Figura 16</b> Evolución temporal del recuento de Hongos y Levaduras en lixiviados durante el periodo de seis meses.....	63
<b>Figura 17</b> Composición física de los residuos sólidos .....	75

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1</b> Cadena de custodia del monitoreo del agua .....	107
<b>Anexo 2</b> Evidencia de trabajo en campo .....	107
<b>Anexo 3</b> Informe de ensayo de laboratorio .....	111
<b>Anexo 4</b> Código de laboratorio XERTEX y SGS – Suelo y Agua. ....	114
<b>Anexo 5</b> Código de laboratorio XERTEX y SGS – Lixiviado.....	115

## RESUMEN

La contaminación generada por los lixiviados del botadero municipal de Izcutaco (Huanta, Ayacucho) representan un riesgo para el suelo y los recursos hídricos circundantes. El objetivo general fue caracterizar estos lixiviados mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos para evaluar su impacto ambiental. La metodología incluyó un monitoreo bimestral durante seis meses de lixiviados, suelo y agua, analizando parámetros como pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales (ST), DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes, complementado con una caracterización física de residuos sólidos y análisis de correlación estadística. Los resultados mostraron que los lixiviados evolucionaron hacia una fase alcalina estable (pH hasta 9.58), con alta carga orgánica (DBO<sub>5</sub> hasta 5 785 mg/L, DQO hasta 28 887 mg/L) y contaminación fecal creciente (coliformes totales hasta 1 100 NMP/100 mL). En suelo, se detectó alcalinización (pH hasta 8.66) y enriquecimiento de manganeso, mientras que en agua se registró pH alcalino (9.52), CE elevada (2849.67  $\mu$ S/cm) y exceso de manganeso (0.26 mg/L), superando los Estándares de Calidad Ambiental para riego y bebida animal. El análisis de correlación reveló asociaciones significativas entre el pH, la DQO y los indicadores fecales, confirmando que la composición predominante de residuos orgánicos explica la alta carga contaminante de los lixiviados. Se concluye que los lixiviados representan un impacto ambiental significativo por alcalinización y carga orgánica, requiriéndose sistemas de tratamiento y mejores prácticas de manejo de residuos.

**Palabras clave:** lixiviados, impacto ambiental, contaminación orgánica.

## ABSTRACT

The pollution generated by leachates from the Izcutaco municipal waste dump (Huanta, Ayacucho) poses a risk to the soil and surrounding water resources. The general objective was to characterize these leachates through physicochemical and microbiological analyses to assess their environmental impact. The methodology included bimonthly monitoring over six months of leachates, soil, and water, analyzing parameters such as pH, electrical conductivity (EC), total solids (TS), BOD<sub>5</sub>, COD, and coliforms, complemented by a physical characterization of solid waste and statistical correlation analysis. The results showed that the leachates evolved into a stable alkaline phase (pH up to 9.58), with a high organic load (BOD<sub>5</sub> up to 5 785 mg/L, COD up to 28 887 mg/L) and increasing fecal contamination (total coliforms up to 1 100 MPN/100 mL). In soil, alkalization (pH up to 8.66) and manganese enrichment were detected, while in water, alkaline pH (9.52), elevated EC (2849.67  $\mu$ S/cm), and excess manganese (0.26 mg/L) were recorded, exceeding Environmental Quality Standards for irrigation and animal drinking water. Correlation analysis revealed significant associations between pH, COD, and fecal indicators, confirming that the predominant composition of organic waste explains the high pollutant load of the leachates. It is concluded that the leachates represent a significant environmental impact due to alkalization and organic load, requiring treatment systems and better waste management practices.

**Keywords:** leachates; environmental impact; organic pollution.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción y formulación del problema

A nivel global, la gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos ha generado una preocupación ambiental significativa, haciendo énfasis en lo que respecta a la producción de lixiviados en los botaderos a cielo abierto. Los lixiviados son efluentes líquidos altamente contaminantes que resultan de la descomposición de los residuos y la infiltración de agua de lluvia, conteniendo una mezcla compleja de metales pesados, compuestos orgánicos, nutrientes y microorganismos patógenos. Estos contaminantes pueden filtrarse al suelo y llegar a cuerpos de agua subterráneos y superficiales, generando riesgos ambientales y sanitarios de gran magnitud. Según el Banco Mundial (2018), se prevé que para el año 2050 la estimación de producción de residuos sólidos logrará los 3.4 mil millones de toneladas anuales. Un problema fundamental es el inadecuado manejo de estos residuos, particularmente en países en desarrollo, donde la mayoría de desechos se depositan en los botaderos sin tener algún tratamiento previo, agravando la contaminación ambiental y contribuyendo al cambio climático (Kaza et al., 2018). Además, cabe mencionar que las sustancias que contienen estos lixiviados son emergentes, comprometiendo la calidad del agua y la biodiversidad (Renou et al., 2008).

A nivel nacional, la inadecuada gestión de los residuos sólidos en Perú ha generado serios problemas ambientales y de salud pública, especialmente en lo que respecta a la contaminación por lixiviados provenientes de botaderos a cielo abierto. Estos efluentes líquidos, producto de la descomposición de los residuos y la

filtración de agua de lluvia, contienen altas concentraciones de metales pesados, compuestos orgánicos, microorganismos patógenos y otras sustancias tóxicas que pueden infiltrarse en el suelo y cuerpos de agua cercanos, afectando ecosistemas y poblaciones humanas. En el Perú, la gestión de residuos sólidos sigue siendo un reto importante. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2021), en el país más de 23 mil toneladas de R.S se genera al día y solo el 64% recibe una disposición final adecuada en rellenos sanitarios, siendo el resto depositado en botaderos informales. El tratamiento de estos lixiviados con sustancias elevadas de carga orgánica y metales pesados, es limitada y costosa debido a la escasez de infraestructura y recursos financieros (MINAM, 2021).

Diversos estudios han evidenciado que la carencia de un tratamiento adecuado de lixiviados ha provocado la degradación de ecosistemas acuáticos y terrestres en múltiples regiones del mundo. Zegarra (2022) determinó que la contaminación del agua por lixiviados en la quebrada Grande afectó su calidad y potabilidad, mientras que Quintero (2022) identificó impactos negativos en suelos y fuentes hídricas cercanas al botadero municipal de Huanta. Estos hallazgos coinciden con estudios internacionales que han reportado efectos similares en países de América Latina, Asia y Europa, donde el inadecuado manejo de residuos ha derivado en la contaminación de recursos hídricos y la pérdida de biodiversidad.

El botadero de Izcutaco, ubicado en el distrito de Huanta, Ayacucho, genera lixiviados que constituyen una amenaza ambiental y sanitaria significativa para la población circundante. Estos lixiviados, producto de la descomposición de residuos sólidos generados en el botadero constituyen una amenaza ambiental por tres

razones fundamentales. Primero, como lo describe León y Andrade (2021), su capacidad de infiltración en suelos y acuíferos, alterando las propiedades edáficas y reduciendo la biodiversidad al degradar los ecosistemas terrestres. Segundo, Orellana (2023) constituye una amenaza porque, contienen metales pesados, patógenos y compuestos orgánicos persistentes, que al alcanzar fuentes hídricas provocan eutrofización, mortalidad acuática y riesgos de bioacumulación en la cadena trófica. Y por último Díaz et al. (2022) indica su impacto sinérgico en la salud pública, ya que bacterias como *Escherichia coli* y hongos toxigénicos presentes en estos fluidos pueden contaminar pozos de agua para consumo humano, vinculándose a enfermedades gastrointestinales y dermatológicas en poblaciones aledañas.

La ausencia de una caracterización físico-química y microbiológica detallada de estos lixiviados limita el conocimiento técnico necesario para plantear medidas adecuadas y efectivas de gestión y control ambiental. Esta situación expone a la población a riesgos de contaminación del agua potable, propagación de enfermedades y deterioro ambiental, sin que existan medidas concretas basadas en evidencia científica para su control. Este estudio busca la caracterización de lixiviados para identificar sus principales contaminantes y determinar el nivel exacto del impacto ambiental que genera en el entorno. Los resultados contribuirán en mejorar la gestión de residuos, proteger los recursos hídricos y brindar información clave para el desarrollo de políticas ambientales. Ante lo dicho, se formula la siguiente interrogante: ¿Cuáles son las características físico-químicas y microbiológicas de los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco y cuál es el

nivel del impacto ambiental que generan en el suelo y cuerpos de agua cercano?

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Antecedentes internacionales**

Díaz et al. (2022) Se evaluó la eficiencia de humedales artificiales de flujo vertical para tratar lixiviados de compostaje, monitoreando parámetros como DQO, DBO, SST, Nitrógeno y fósforo. Los resultados mostraron reducciones significativas en estos parámetros, indicando que los humedales son una alternativa viable y sostenible para el tratamiento de lixiviados de compostaje, contribuyendo a la protección ambiental.

Orellana (2023) evaluó la eficacia de combinaciones de precipitantes químicos y polímeros para tratar lixiviados del relleno sanitario Pichacay, buscando reducir la carga contaminante y mejorar la calidad del efluente. En ensayos de laboratorio con muestras del sitio, se aplicaron distintos tipos y concentraciones de estos reactivos, midiendo parámetros como DQO, DBO y SST antes y después del tratamiento. Los hallazgos evidencian que ciertas combinaciones lograron reducciones significativas en contaminantes, especialmente en DQO y DBO, indicando mejor biodegradabilidad del efluente. Además, se observó una disminución en sólidos suspendidos y otros compuestos nocivos. La investigación concluyó que el uso de precipitantes y polímeros es una estrategia efectiva para el tratamiento de lixiviados en Pichacay, contribuyendo a mitigar el impacto ambiental asociado a la disposición de residuos sólidos y protegiendo los ecosistemas cercanos.

Podlasek et al. (2023) Un estudio comparó la contaminación por lixiviados en

vertederos de Polonia (Łubna) y República Checa (Zdounky) usando el Índice de Contaminación por Lixiviados (LPI). Analizando muestras de 2019 a 2022 en diferentes fases de madurez (acidogénica, metanogénica y estabilizada), se observó que el LPI disminuyó significativamente en Łubna tras la estabilización de residuos, mientras que en Zdounky fluctuó. Se encontraron correlaciones entre el LPI y parámetros como la conductividad eléctrica y la DQO. A pesar de la baja carga orgánica en los lixiviados maduros, se detectaron metales como níquel y plomo. El estudio concluye que el LPI es útil para priorizar la remediación, y que la evolución temporal y composición de los lixiviados son cruciales para su gestión ambiental.

Asouam et al. (2021) evaluaron la gestión de residuos sólidos y la carga contaminante de los lixiviados en el vertedero de Tamelast, Grand Agadir, Marruecos, debido a molestias olfativas y riesgos ambientales por su alta carga orgánica y mineral. Se muestrearon lixiviados jóvenes, medianos y antiguos, realizando análisis físico-químicos que revelaron valores elevados de conductividad eléctrica (hasta 130 mS/cm),  $\text{DBO}_5$  (43,251  $\text{mgO}_2/\text{L}$ ), DQO (90,240  $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) y sólidos secos totales (hasta 9,696  $\text{mg}/\text{L}$ ), superando los límites permitidos. Además, se detectaron concentraciones altas de metales pesados como hierro, plata, níquel y manganeso, también por encima de los estándares ambientales. El estudio concluyó que, sin un tratamiento adecuado, estos lixiviados representan un grave riesgo ambiental y sanitario, destacando la necesidad urgente de un vertedero que cumpla con las normativas vigentes.

Zhao et al. (2021) investigaron la composición y funciones metabólicas de las

comunidades microbianas en lixiviados de vertederos de 11 ciudades chinas, buscando comprender mejor su diversidad y factores que la afectan. Usaron secuenciación Illumina MiSeq para analizar muestras representativas, identificando 26 filos bacterianos dominados por Bacteroidetes, Firmicutes y Proteobacteria, y detectaron géneros con funciones clave como bacterias celulolíticas, acidificantes y reductoras de sulfato. La comunidad arqueal estuvo dominada por Methanomicrobiales y Methanosarcinales, con 17 géneros metanogénicos. El análisis mostró correlaciones significativas entre la estructura microbiana y variables como la edad del vertedero y niveles de Nitrógeno. Además, predijeron 41 vías metabólicas, destacando el metabolismo KEGG. El estudio ofrece una visión integral de la diversidad y funciones microbianas en lixiviados, esenciales para entender la degradación de residuos y su impacto ambiental.

Mojiri et al. (2021) analizaron las características físico-químicas y biológicas de los lixiviados de vertedero, caracterizados por alta demanda química y biológica de oxígeno y presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos, y evaluaron la efectividad de diversas técnicas de tratamiento biológicas y físico-químicas. Mediante una revisión sistemática de la literatura, compararon tecnologías como biorreactores, biorremediación, fitorremediación, oxidación avanzada, adsorción, coagulación/floculación y filtración por membranas. Los resultados mostraron que los biorreactores de membrana y técnicas biológicas integradas lograron eliminar más del 90% de amonio y Nitrógeno, mientras que la coagulación/floculación mejoró la remoción de sólidos y turbidez. La combinación de métodos permitió eliminar metales con eficiencias entre 40% y 100%. Concluyeron que, aunque las técnicas

combinadas son efectivas dada la alta demanda química de oxígeno y baja biodegradabilidad de los lixiviados, se requiere seguir investigando para optimizar y maximizar la eficiencia en la eliminación de contaminantes.

Shen et al. (2023) se encargaron de evaluar la eficacia de la ultrafiltración y la ósmosis inversa para eliminar patógenos y genes de resistencia a antibióticos (ARGs) en lixiviados, así como su impacto en aguas subterráneas. Utilizando secuenciación metagenómica, analizaron lixiviados sin tratar, tratados y muestras de aguas subterráneas, identificando una persistencia significativa de contaminantes. Aunque la ultrafiltración redujo parcialmente algunos patógenos y ARGs, la ósmosis inversa en ciertos casos aumentó su abundancia, incluyendo bacterias como *Acinetobacter baumannii* y *Escherichia coli*. Además, se evidenció la migración de estos contaminantes hacia las aguas subterráneas, representando un riesgo ambiental y sanitario. Los autores concluyeron que es esencial optimizar los tratamientos y mantener un monitoreo continuo para controlar la dispersión de estos agentes y proteger la salud pública y medio ambiente.

### **1.2.2. Antecedentes nacionales**

Zegarra (2022) analizó la repercusión de los lixiviados de residuos sólidos en la calidad del agua de la quebrada Grande mediante el muestreo y análisis de parámetros físicos y químicos como pH, conductividad, DBO, DQO y metales pesados. Los resultados mostraron niveles elevados de contaminantes que superan los límites ambientales, con alta carga orgánica y presencia de metales tóxicos como plomo y cadmio, representando riesgos para la salud humana y la biodiversidad acuática. El estudio concluyó que la disposición inadecuada de

residuos ha deteriorado significativamente la calidad del agua y recomendó implementar estrategias de control y tratamiento de lixiviados para mitigar su impacto ambiental.

Quintero (2022) evaluó los efectos negativos de la disposición inapropiada de residuos sólidos en los recursos naturales cercanos al botadero municipal de Huanta. Mediante el análisis físico-químico de muestras de suelo y agua, se detectaron aumentos significativos en materia orgánica y metales pesados en el suelo, afectando su fertilidad, así como niveles elevados de conductividad y compuestos tóxicos en el agua, superando los límites permitidos para consumo humano y uso agrícola. El estudio concluyó que la mala gestión de residuos ha contaminado los ecosistemas locales, poniendo en riesgo la biodiversidad y la salud pública. Se recomendó implementar sistemas de tratamiento de lixiviados y estrategias de remediación ambiental para mitigar estos impactos.

Ortiz (2022) evaluó la eficacia del sistema de tratamiento de lixiviados en la planta de disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, analizando muestras antes y después del tratamiento mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos como DBO, DQO, metales pesados, pH, conductividad y coliformes. Los hallazgos evidenciaron una disminución significativa en DBO, DQO y algunos metales pesados, pero ciertos parámetros, como nitratos y coliformes, superaron los límites permisibles, indicando la necesidad de optimizar el proceso. En conclusión, aunque el sistema es funcional y reduce contaminantes, presenta deficiencias que requieren mejoras y la incorporación de tecnologías complementarias para lograr una depuración más eficiente y minimizar el impacto

ambiental.

Soto (2023) evaluó la eficiencia del carbón activado hecho de cáscara de coco para reducir contaminantes en lixiviados de un botadero. Diseñó un sistema de filtración con este material y analizó muestras antes y después del tratamiento, midiendo parámetros como DBO, DQO, turbidez, pH, metales pesados y microorganismos patógenos. Hallando una disminución significativa en la concentración de contaminantes, especialmente en DBO, DQO y turbidez, además de una disminución en metales pesados y patógenos, aunque algunos parámetros aún superaban los límites normativos. El estudio concluyó que el carbón activado de cáscara de coco es una alternativa viable y sostenible para mejorar la calidad del efluente, recomendando ajustes en el sistema y la integración con otras tecnologías para optimizar su eficiencia y lograr un tratamiento más completo.

León y Andrade (2021) Se comparó la contaminación de lixiviados de vertederos en Polonia (Łubna) y República Checa (Zdounky) usando el Índice de Contaminación por Lixiviados (LPI). El estudio, que abarcó muestras de 2019 a 2022, analizó la variabilidad temporal del LPI y su relación con parámetros fisicoquímicos (DBO, DQO, Nitrógeno, metales). En Łubna, el LPI bajó significativamente tras la estabilización de residuos; en Zdounky fluctuó sin tendencia definida. Se encontraron correlaciones entre el LPI y parámetros como la conductividad eléctrica. Aunque los lixiviados maduros mostraron pH alcalino y presencia de metales (níquel, plomo), la carga orgánica era baja. El LPI se mostró útil para priorizar la remediación, subrayando la importancia de considerar la evolución temporal y composición de los lixiviados para su gestión.

Chura (2019), estudió en el botadero de Cancharani (Puno) investigó la contaminación por lixiviados y gases, evaluando la efectividad de la coagulación-floculación con dodecibenceno sulfato de sodio para el tratamiento de lixiviados con alta concentración de hierro (45 mg/L). Se optimizó el proceso variando pH, dosis de coagulante, velocidad de agitación y tiempo de mezcla, alcanzando una eficiencia de remoción de hierro del 95.86% a pH 7.5. Se detectaron también importantes emisiones de metano y dióxido de carbono. El estudio concluye que el uso de tensioactivos es una alternativa eficaz para reducir la contaminación por metales pesados en lixiviados, destacando la importancia del control del pH.

Fernández y Villanueva (2020) Un estudio en San Antonio de Cumbaza (San Martín) evaluó el impacto de los lixiviados del botadero municipal en la calidad del suelo agrícola. Se encontraron niveles elevados de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) superando los límites permitidos, indicando una significativa contaminación del suelo con consecuencias negativas para la flora, el ecosistema y la salud humana. Se propuso un plan de mitigación integral para la gestión de residuos, con un presupuesto estimado de 183,500 soles.

Merino (2022) analizó las características fisicoquímicas de los lixiviados generados en la Poza N° 8 de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, con el objetivo de evaluar su composición y concentración para determinar su potencial impacto ambiental. Se tomaron muestras de la Poza N° 8 y se realizaron análisis de laboratorio a cargo de FORP INGENIEROS S.R.L., los cuales permitieron identificar niveles elevados de algunos parámetros en los lixiviados. Estos resultados indican un riesgo ambiental que puede variar de leve a

moderado, afectando significativamente el entorno. La investigación concluye que es necesario implementar medidas de control y tratamiento eficientes para mitigar los efectos negativos de estos lixiviados, destacando la importancia de una gestión responsable para proteger la salud de los ecosistemas circundantes.

### **1.3. Objetivos**

#### **Objetivo General**

Caracterizar los lixiviados generados en el botadero municipal de residuos sólidos de Izcutaco, distrito Huanta, Ayacucho, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para evaluar su impacto ambiental en el suelo y cuerpos de agua cercanos.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros fisicoquímicos principales como pH, conductividad eléctrica, Sólidos Totales, DBO, DQO, Nitrógeno total, Fósforo total y metales pesados de los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco.
- Determinar los parámetros microbiológicos como coliformes totales, coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos y levaduras presente en los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco.
- Evaluar el grado de contaminación y el potencial impacto ambiental de los lixiviados sobre el suelo y los cuerpos de agua cercanos.
- Evaluar la relación entre la composición de los lixiviados y el tipo de residuos sólidos dispuestos en el botadero.

#### **1.4. Justificación e importancia**

Desde una perspectiva técnica y metodológica, esta investigación aborda la necesidad de generar datos científicos sistemáticos y localmente contextualizados sobre la composición de los lixiviados en el botadero de Izcutaco. Dada la ausencia de información cuantitativa específica, la aplicación de protocolos estandarizados para el análisis fisicoquímico y microbiológico permitirá establecer una línea base confiable y reproducible. Este enfoque metodológico no solo diagnostica la situación actual, sino que proporciona un procedimiento aplicable para futuros monitoreos; además, al correlacionar el tipo de residuos con la composición del lixiviado, se genera conocimiento técnico esencial para optimizar los sistemas locales de manejo y disposición de residuos sólidos.

En el ámbito ambiental, el estudio responde a la problemática de los lixiviados como un vector de contaminación constante. Estos efluentes, con cargas significativas de materia orgánica, nutrientes, sales y posibles patógenos, presentan un riesgo latente de infiltración en el suelo y de escorrentía hacia los cuerpos de agua adyacentes. La evaluación propuesta busca dimensionar con precisión este impacto; la identificación y cuantificación de los contaminantes prioritarios constituye el fundamento técnico necesario para diseñar estrategias de control, remediación y protección de los recursos suelo y agua en la zona de influencia del botadero.

La justificación económica se sustenta en el principio de prevención y planificación informada. La degradación ambiental no mitigada genera externalidades negativas y costos futuros elevados, relacionados con la

rehabilitación de suelos y fuentes de agua, así como con impactos en la productividad agrícola y la salud pública. Los resultados de esta investigación proveerán datos concretos para la toma de decisiones en la gestión municipal de residuos, permitiendo una asignación de recursos más eficiente; asimismo, la caracterización detallada de los lixiviados puede orientar la exploración de tecnologías de tratamiento, transformando un pasivo ambiental en una potencial oportunidad de manejo sostenible.

En el plano social, el estudio se vincula directamente con la salud pública y la calidad de vida de la comunidad de Huanta. La población en el área de influencia del botadero puede estar expuesta a los contaminantes a través de diversos medios; por consiguiente, generar evidencia científica clara sobre los riesgos ambientales existentes es un paso necesario para informar a la ciudadanía y a las autoridades. Este conocimiento facilitará la promoción de una mayor conciencia ambiental y la participación comunitaria en la búsqueda de soluciones; en última instancia, la investigación contribuye al derecho a un ambiente sano, proporcionando una base técnica para acciones y políticas públicas que salvaguarden el bienestar de la población.

## 1.5. Hipótesis

La presencia de lixiviados generados tanto fisicoquímica y microbiológicos superan los límites máximos permisibles en el botadero de Izcutaco permitiendo identificar los contaminantes presentes y su grado de afectación ambiental, así como evaluar el impacto ambiental y sanitario en el equilibrio ambiental y la salud de las comunidades aledañas.

### Hipótesis específicas

- Los parámetros fisicoquímicos principales como pH, conductividad eléctrica, Sólidos Totales, DBO, DQO, Nitrógeno total, Fosforo total y metales pesados de los lixiviados generados difieren significativamente de los límites permisibles.
- Los niveles de los parámetros microbiológicos como coliformes totales, coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos y levaduras son significativamente altos en los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco.
- Los lixiviados generan un impacto ambiental significativo sobre el suelo y los cuerpos de agua cercanos.
- Existe una relación significativa entre la composición de los lixiviados y el tipo de residuos sólidos.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable Independiente</b> Características fisicoquímicas y microbiológicas de los lixiviados	Mezcla líquida residual procedente de la percolación de agua residuos sólidos, conteniendo sustancias químicas y biológicas potencialmente tóxicas (Abad, 2023).	Líquido percolado obtenido de puntos estratégicos del botadero, analizado en laboratorio	Composición fisicoquímica  Carga microbiológica	-pH -Conductividad eléctrica -Sólidos totales -DBO5(mg/L) -DQO (mg/L)  -Coliformes totales -coliformes termotolerantes - <i>Escherichia coli</i>	-Potenciómetro -Conductímetro -Gravimetría Espectrofotometría -Método filtración de por membrana
<b>Variable dependiente:</b> Impacto ambiental en el suelo y agua	Alteración significativa en las características naturales del suelo y agua por acción antrópica (León y Andrade, 2021)	Modificación de parámetros en muestras de suelo y agua, comparadas con normativas vigentes.	Contaminación edáfica Degradación hídrica	- Metales pesados en suelo (mg/kg) - pH y conductividad del suelo - Nitratos en agua - Presencia de patógenos	Absorción Atómica -Método colorimétrico -Winkler modificado -Métodos estandarizados

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Lixiviados generados en el botadero

##### Lixiviados

Los lixiviados, un residuo líquido, causan varios efectos negativos en el medio ambiente cerca de los vertederos. Por ejemplo, pueden contaminar las aguas subterráneas con metales pesados y sustancias orgánicas tóxicas, además de afectar la calidad del aire al liberar gases como el metano, que es un fuerte gas de efecto invernadero (Puerta et al., 2024).

El lixiviado de vertedero es un producto que se forma a partir de los residuos que se tiran al aire libre y en vertederos artificiales. Es un agua sucia que se forma cuando la lluvia o las aguas de superficie se mezclan con los residuos de un vertedero. Contiene varias sustancias dañinas y debe ser tratado antes de que contamine la tierra, el suelo, las aguas subterráneas o los cuerpos de agua en la superficie (Kumar et al., 2025).

##### Propiedades del lixiviado de vertedero

En general, el lixiviado de vertedero se describe por medidas comunes, como la demanda química de oxígeno (DQO), el carbono orgánico total (COT), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos, el pH, el amoníaco ( $\text{NH}_4 + \text{-N}$ ) y las cantidades de metales pesados. Las relaciones  $\text{DBO}_4 / \text{DQO}$  y  $\text{DQO}/\text{COT}$  son medidas comunes de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos y del estado de oxidación del carbono orgánico. La calidad del lixiviado

de un vertedero depende de varios factores, como el tipo de basura y las condiciones de operación (Teng et al., 2021).

### **Composición**

La mezcla de los lixiviados cambia según la antigüedad del basurero, el tipo de desechos y el clima, pero siempre representan un peligro para el suelo y el agua. La entrada de lixiviados en tierras de cultivo reduce la fertilidad, cambia el pH, altera la estructura del suelo y causa la acumulación de metales pesados en plantas y animales (Díaz et al., 2023).

### **Parámetros básicos**

Las características del lixiviado de un vertedero se definen generalmente con parámetros básicos, como la DQO, la DBO, la relación DBO/DQO, el COT, el pH, los sólidos en suspensión, el  $\text{NH}_3\text{-N}$ , el Nitrógeno total Kjeldahl y las concentraciones de metales pesados (Teng et al., 2021).

#### **2.1.2. Impacto ambiental en el suelo y agua**

##### **Lixiviados y sus impactos en el medio ambiente**

La contaminación del suelo por lixiviados puede afectar la salud humana de forma directa e indirecta. Las poblaciones cercanas a botaderos presentan mayor incidencia de enfermedades gastrointestinales, respiratorias y dérmicas debido a la exposición constante a contaminantes. Además, el impacto ambiental incluye pérdida de biodiversidad, desaparición de fauna edáfica y alteración de ciclos biogeoquímicos. La contaminación puede incorporarse a la cadena trófica, provocando acumulación de sustancias tóxicas en organismos superiores y

afectando incluso a consumidores finales (Díaz et al., 2023). Los lixiviados que se producen en los vertederos de basura urbana son una de las mayores causas de daño ambiental al agua y al suelo, debido a su composición complicada y muy contaminante. Cuando los lixiviados tocan el suelo, causan acumulación de metales pesados, cambios en el pH y en la salinidad, lo que afecta la fertilidad, la actividad de los microorganismos y la estabilidad de los procesos biogeoquímicos. Esto puede llevar a que los contaminantes se transfieran a las plantas y a la cadena alimentaria. Estos impactos pueden durar décadas, incluso después de que el vertedero cierre, por lo que es importante gestionar, recolectar y tratar bien los lixiviados para evitar la contaminación del agua y del suelo.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de investigación**

Fue aplicada, puesto que estuvo orientada a generar conocimiento útil y práctico para atender y comprender un problema ambiental específico, a través de la caracterización físico-química y microbiológica de los lixiviados del botadero de Izcutaco y la evaluación detallada de su impacto ambiental y sanitario en el entorno.

### **3.2. Enfoque de la investigación**

Este estudio, de enfoque cuantitativo, analizó datos numéricos de análisis físico-químicos y microbiológicos de muestras de lixiviados, suelo y agua para describir la composición de los lixiviados, evaluar su impacto ambiental y generar información técnica de base para la gestión y toma de decisiones. Siguiendo a Hernández et al. (2014), se utilizaron datos cuantificables y análisis estadísticos para responder a la pregunta de investigación, centrándose en la caracterización numérica de los lixiviados del botadero Izcutaco.

### **3.3. Diseño de la investigación**

Fue no experimental, puesto que se observaron y analizaron las características de los lixiviados sin manipular variables y se buscó establecer relaciones entre su composición, impacto ambiental y métodos de tratamiento.

El tipo de estudio fue aplicado, ya que tuvo como objetivo resolver una problemática en un contexto real. No se quedó solo en la teoría, sino que requirió soluciones prácticas para resolver el conflicto, como la caracterización físico-química y microbiológica de los lixiviados generados en el botadero.

### **3.4. Nivel**

Es descriptivo- correlacional, porque no solo se describió la composición físico-química y microbiológica de los lixiviados, sino que también se analizaron sus efectos en el suelo y los acuíferos, identificando causas, efectos y relaciones entre variables, para explicar el origen y la magnitud del problema ambiental y sanitario.

### **3.5. Alcance**

El estudio tuvo un alcance local, centrado en el botadero de Izcutaco y sus alrededores inmediatos. Sin embargo, los resultados pudieron ser extrapolables a otros botaderos con características similares en la región o en contextos análogos.

### **3.6. Población**

Estuvo constituida por los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco, así como por los suelos y cuerpos de agua cercanos que pudieron estar afectados por la contaminación derivada de estos lixiviados.

### **3.7. Muestra**

La selección de puntos de muestreo se realizó mediante un muestreo intencional y estratificado, considerando la dinámica del botadero y las posibles vías de dispersión de los lixiviados. Se seleccionaron tres puntos dentro del botadero (área de acumulación, punto de descarga y punto cercano a cuerpos de agua) y tres puntos adicionales en suelo y agua a diferentes distancias (100 m, 300 m y 500 m) para evaluar la dispersión de contaminantes. Se tomaron muestras de lixiviados, agua y suelo siguiendo protocolos estandarizados (NTP-ISO 5667-10:2012, Protocolo Nacional para el Monitoreo de Recursos Hídricos y Guía para el Muestreo

de Suelos, 2014) para asegurar la representatividad y evitar la contaminación. Se utilizaron recipientes apropiados (2–4 litros para lixiviados y recipientes estériles y herméticos para agua y suelo), con preservación adecuada (4 °C para análisis microbiológicos) y transporte a laboratorios acreditados. La cantidad de muestras se detalló en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Distribución de las muestras*

<b>Tipo de muestra</b>	<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Total de muestras</b>
Lixiviados	3	3
Suelos	3	3
Agua superficial y subterránea	3	3

Caracterización de los lixiviados: Parámetros físico-químicos: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), Metales pesados (Pb, Cd, Hg, etc.). Parámetros microbiológicos: recuento de Coliformes Totales y termotolerantes, presencia de bacterias patógenas (E. coli, Salmonella), hongos y levaduras.

**Tabla 3***Frecuencia y cantidad de muestras en lixiviados*

<b>Tipo de muestra</b>	<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Volumen por muestra</b>	<b>Frecuencia de muestreo</b>	<b>Total muestras</b>
<b>Lixiviados</b>	3	2-4 litros	Mensual durante 6 meses	18

**Figura 1****Muestreo de lixiviados**

Para complementar, la evaluación del grado de contaminación en el suelo y en las fuentes hídricas adyacentes valoró parámetros clave de cada uno de estos, aplicando los protocolos de monitoreo correspondientes. Los parámetros evaluados en suelo fueron: pH, Conductividad eléctrica (CE) y Metales pesados. Para las fuentes hídricas se evaluaron los siguientes parámetros: pH del agua, Conductividad eléctrica (CE), Metales Pesados y Coliformes Fecales.

**Tabla 4***Frecuencia y cantidad de muestras para suelos y recurso hídrico*

<b>Tipo de muestra</b>	<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Volumen por muestra</b>	<b>Frecuencia de muestreo</b>	<b>Total muestras</b>
Suelos	3	500 gramos (profundidad 20 cm)	Bimestral durante 6 meses	9
Agua superficial y subterránea	3	1 litro	Bimestral durante 6 meses	9

**Figura 2***Muestreo de suelo*

Figura 3



Muestreo de agua

Figura 4



Monitoreo de la calidad de agua en laboratorio

En la Figura 4, muestra la evaluación de la calidad del agua, iniciando con el muestreo y medición en campo mediante un equipo multiparamétrico portátil, donde se registran parámetros como pH, Oxígeno Disuelto y Conductividad directamente en el lugar de estudio y se recolecta la muestra en un frasco debidamente rotulado; posteriormente, la muestra es llevada a una etapa de análisis en condiciones más controladas, donde se emplea un pH/conductímetro con electrodos fijados en un soporte y sumergidos en un vaso de precipitados, permitiendo obtener mediciones más estables y precisas de los parámetros fisicoquímicos, asegurando así la confiabilidad de los resultados obtenidos.

### **3.8. Técnicas e instrumentos de investigación**

- **Técnicas:** Se realizó un muestreo sistemático de lixiviados, suelos y aguas siguiendo protocolos estandarizados (APHA, EPA, Normas Técnicas Peruanas). Se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos en laboratorio, mediante el uso de potenciómetros, conductímetros, espectrofotometría y métodos normalizados para la determinación de parámetros. Los análisis microbiológicos se efectuaron mediante cultivo en medios selectivos, filtración por membrana y conteo en placa. Asimismo, se realizó una revisión documental para contextualizar normativas y estudios previos relacionados con caracterización y evaluación de impacto ambiental.
- **Instrumentos:** Se emplearon equipos de laboratorio debidamente calibrados para la medición y análisis de pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, metales pesados y presencia de microorganismos indicadores de contaminación, así como espectrofotómetros y registro de datos, para sistematizar la calidad de la información obtenida.

### **3.9 Validación, confiabilidad y control de calidad**

#### **3.9.1 Validación metodológica**

Los protocolos de muestreo, fichas de recolección de datos y metodologías analíticas fueron revisados y validados por tres profesionales expertos en Ingeniería Ambiental, Química y Microbiología, garantizando que los procedimientos sean adecuados para los objetivos del estudio.

#### **3.9.2 Calibración de equipos**

Todos los equipos utilizados (medidor de pH, conductímetro, balanza analítica, espectrofotómetro, entre otros) fueron calibrados previo a cada campaña de muestreo y análisis, utilizando patrones de referencia certificados, siguiendo las indicaciones del fabricante y normativas vigentes (APHA).

#### **3.9.3 Control de calidad de laboratorio**

En el laboratorio se aplicaron medidas de control estricto que incluyeron: análisis de blancos de reactivos, análisis de duplicados de muestra y uso de materiales de referencia certificados, para asegurar la precisión, exactitud y reproducibilidad de los resultados obtenidos.

#### **3.9.4 Repetibilidad y trazabilidad de resultados**

Todos los procedimientos analíticos siguieron rigurosamente los estándares internacionales establecidos en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF), asegurando que los datos sean, comparables, aceptados y técnicamente por la comunidad científica.

Tabla 5

Parámetros por categoría

Categoría	Parámetros evaluados	Método/Normativa
Físicos	conductividad eléctrica, sólidos totales.	APHA 4500-H <sup>+</sup> B, SM 2510 B
Químicos	pH, DBO, DQO, Nitrógeno, Fósforo, metales pesados	EPA 600/4-79/020, APHA 5210 D
Microbiológicos	Coliformes, E. coli, Salmonella, hongos	ISO 9308-1, APHA 9215 D

Fuente: Elaboración propia según protocolos estandarizados (APHA, 2017; EPA).

Figura 5

Mapa de ubicación de puntos de muestreo dentro del botadero.



Nota: Con color azul se señala los puntos de muestreo dentro del botadero. Fuente: Google Earth Pro.

**Figura 6**

*Mapa de ubicación de muestreo fuera del botadero.*



*Nota:* La figura representa los puntos de muestreo dentro y fuera del botadero, con color rojo, los puntos a evaluar alrededor para medir el impacto. Fuente: Google Earth Pro.

### 3.10 Procesamiento de datos y análisis estadístico

El análisis de datos se realizó con SPSS y Excel, incluyendo análisis descriptivos y correlacionales para determinar las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los lixiviados y la contaminación del suelo y el agua. Se utilizó un sistema de información geográfica (SIG) para georreferenciar los puntos de muestreo. Los resultados se procesaron e interpretaron mediante procedimiento estadístico estandarizado, para el análisis se aplicaron los siguientes procedimientos estadísticos.

- **Prueba de normalidad:**

Se usó la prueba de Shapiro-Wilk, por ser la más adecuada para estudios con pocas muestras (menos de 50 datos). Se trabajó con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ). Se consideró que los datos tenían distribución normal cuando el valor de significancia fue mayor a 0.05; si fue menor, se usaron métodos estadísticos no paramétricos.

- **Análisis de correlación:**

Se revisó la relación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para los datos con distribución normal se aplicó el coeficiente de Pearson, y para los que no la tuvieron, el coeficiente de Spearman. En ambos casos se evaluó qué tan fuerte era la relación y si era directa o inversa.

- **Estadística descriptiva:**

Se calcularon valores como el promedio, la mediana, la desviación estándar y el rango, para conocer el comportamiento y la variación de cada parámetro analizado. El número de muestras se definió siguiendo las normas técnicas vigentes para muestreo de residuos y efluentes.

- **Análisis comparativo:**

Todos los resultados obtenidos se compararon directamente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Suelo que rigen en el Perú, para identificar el nivel de contaminación y el impacto ambiental que se genera en la zona.

### **3.11. Criterios éticos de la investigación**

- Cumplimiento estricto de normativas ambientales y protocolos de bioseguridad para el manejo y análisis de lixiviados.
- Transparencia y honestidad en la recolección, procesamiento y presentación de datos.
- Respeto y comunicación constante con la comunidad local y autoridades ambientales, informando sobre los resultados y posibles riesgos.
- Uso responsable de la información para proponer soluciones que beneficien a la población y al ambiente, evitando daños adicionales.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

4.1.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos principales como pH, conductividad eléctrica, Sólidos Totales, DBO, DQO, Nitrógeno, Fosforo y Metales Pesados en los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco.

- pH

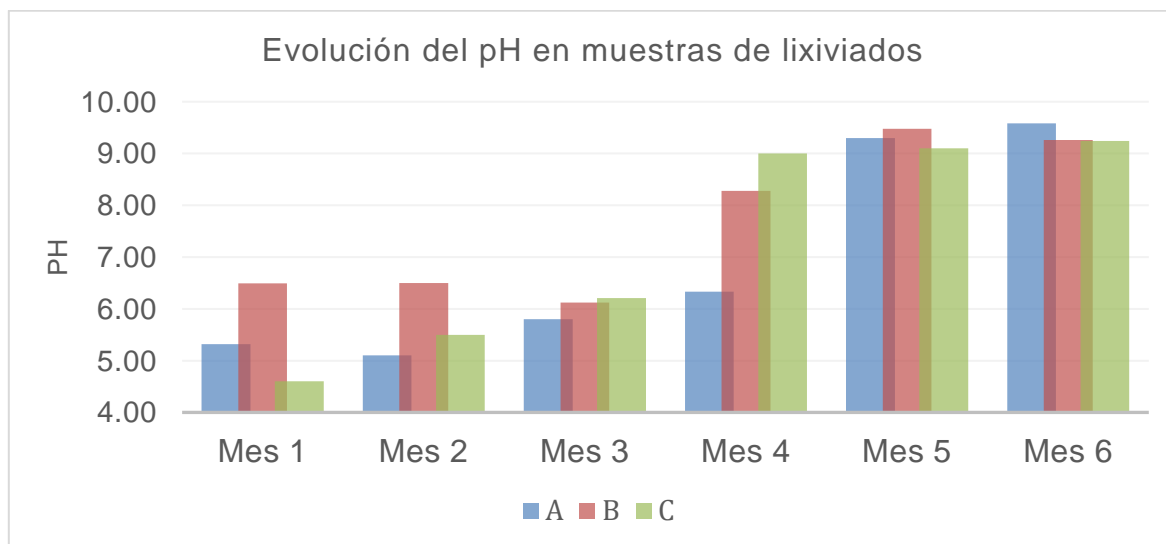
**Tabla 6**

*Valores pH mensual en lixiviados del botadero de Izcutaco*

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	5.32	6.49	4.60
<b>Mes 2</b>	5.10	6.50	5.50
<b>Mes 3</b>	5.80	6.12	6.21
<b>Mes 4</b>	6.33	8.28	9.00
<b>Mes 5</b>	9.30	9.48	9.10
<b>Mes 6</b>	9.58	9.26	9.24

**Figura 6**

*Evolución temporal del pH en lixiviados durante seis meses de monitoreo*



En la tabla 6, muestran que, durante los primeros tres meses, los valores de pH se mantuvieron en un rango ligeramente ácido a cercano a la neutralidad, con valores entre 4.60 y 6.50. Este comportamiento es característico de lixiviados en etapas iniciales de degradación, donde predominan procesos de fermentación y producción de ácidos orgánicos.

A partir del cuarto mes, se observa un incremento significativo en los valores de pH, especialmente en las muestras B y C, alcanzando valores de 8.28 y 9.00, respectivamente. Esta tendencia continúa durante los meses cinco y seis, donde el pH alcanza valores máximos de 9.58 en la muestra A, 9.48 en la muestra B y 9.24 en la muestra C, indicando una transición hacia condiciones alcalinas.

Este cambio progresivo del pH sugiere que los lixiviados del botadero están pasando de una fase acidogénica a una fase metalogénica, proceso común en la

descomposición de residuos sólidos, donde la degradación de compuestos orgánicos y la formación de amonio contribuyen al aumento de la alcalinidad.

En términos ambientales, los valores elevados de pH registrados en los últimos meses pueden alterar las propiedades del suelo y de los cuerpos de agua cercanos, favoreciendo la movilización de ciertos metales y afectando la calidad del recurso hídrico. Por lo tanto, estos resultados evidencian la presencia de condiciones fisicoquímicas que pueden generar impactos ambientales en el entorno del botadero de Izcutaco.

En la Figura 6, se observa el monitoreo del pH en las muestras de lixiviado durante seis meses mostró una tendencia creciente en todas las muestras. Inicialmente, se registraron valores ácidos (4.5–6.5) propios de las primeras etapas de degradación. En el tercer mes se observó una transición hacia la neutralidad, indicando disminución de compuestos ácidos. A partir del cuarto mes, el pH aumentó significativamente hasta alcanzar valores alcalinos (8.2–9.6), estabilizándose en los últimos meses. En general, el comportamiento refleja el paso de una fase ácida inicial a una etapa alcalina más estable, característica de la maduración del lixiviado.

- **Sólidos Totales**

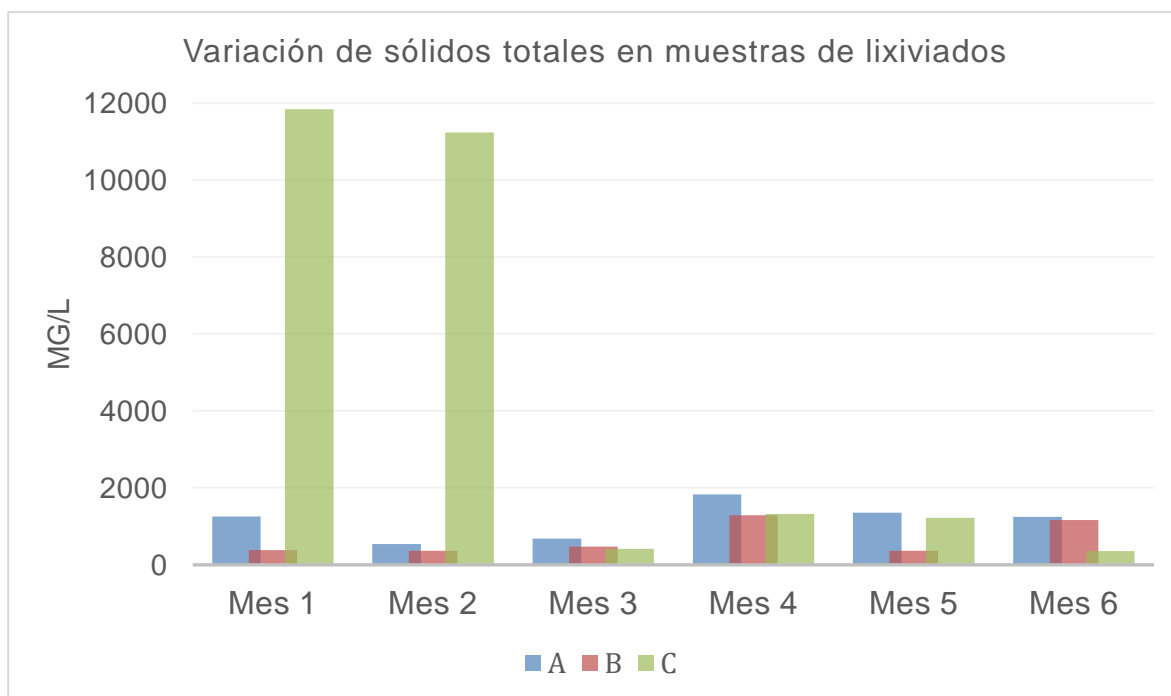
**Tabla 7**

*Concentración mensual de Sólidos Totales (mg/L) en lixiviados del botadero de Izcutaco*

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	1259	382	11840
<b>Mes 2</b>	542	362	11234
<b>Mes 3</b>	678	476	418
<b>Mes 4</b>	1826	1289	1322
<b>Mes 5</b>	1356	362	1223
<b>Mes 6</b>	1245	1168	357

**Figura 7**

*Evolución temporal de la concentración de Sólidos Totales en lixiviados durante el periodo de seis meses*



La Tabla 7 presenta en los meses 1 y 2 se observa una concentración considerablemente elevada en la muestra C (11840 y 11234 mg/L), superando ampliamente los valores registrados en A y B. Esta condición sugiere una alta carga de materia disuelta y suspendida al inicio del periodo, posiblemente asociada a una fase activa de lixiviación y arrastre de compuestos orgánicos e inorgánicos. En el mes 3 se registra una disminución significativa en la muestra C (418 mg/L), así como valores moderados en A (678 mg/L) y B (476 mg/L), lo que podría indicar un efecto de dilución, cambios en las condiciones hidráulicas o una reducción temporal en la liberación de sólidos. Durante el mes 4 se presenta un incremento generalizado en las tres muestras, destacando la muestra A con el valor máximo del periodo (1826 mg/L). Este aumento podría estar relacionado con procesos de remoción y movilización de materiales acumulados o variaciones en la dinámica de degradación de los residuos. En los meses 5 y 6 las concentraciones muestran fluctuaciones sin una tendencia definida, manteniéndose en rangos intermedios (357–1356 mg/L). Se observa una menor disparidad entre muestras en comparación con los primeros meses.

La Figura 7, evidencia una alta variabilidad en la concentración de sólidos totales, particularmente en la muestra C al inicio del monitoreo, seguida de una tendencia hacia valores más estables. Este comportamiento es consistente con sistemas de lixiviados en proceso de estabilización, donde la carga contaminante puede verse influenciada por factores ambientales, operativos y por la evolución de la degradación anaerobia de los residuos.

- **Conductividad**

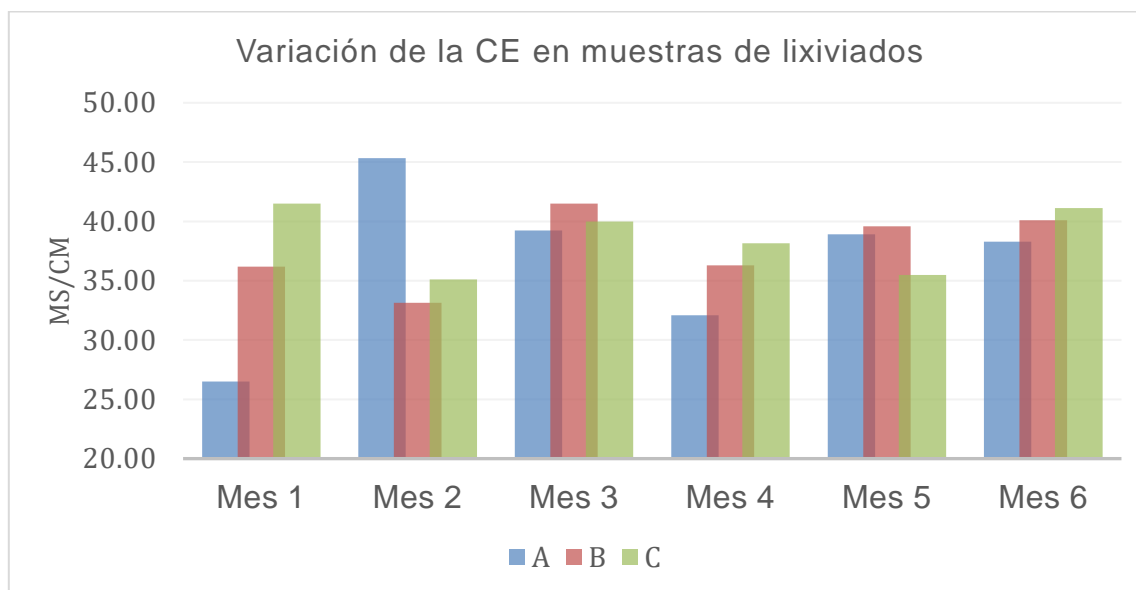
**Tabla 8**

*Valores de Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco*

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	26.50	36.20	41.50
<b>Mes 2</b>	45.33	33.15	35.10
<b>Mes 3</b>	39.23	41.50	40.00
<b>Mes 4</b>	32.10	36.30	38.17
<b>Mes 5</b>	38.90	39.60	35.50
<b>Mes 6</b>	38.30	40.10	41.12

**Figura 8**

*Evolución temporal de la Conductividad Eléctrica en lixiviados durante seis meses de monitoreo*



En la Tabla 8, se muestra una variabilidad notable durante los seis meses de monitoreo, reflejando cambios en la concentración de sales y otros iones disueltos en los lixiviados. En el primer mes, los valores oscilaron entre 26.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (muestra A) y 41.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (muestra C), lo cual indica diferencias iniciales en la composición iónica entre puntos de muestreo; no obstante, en el segundo mes se observó un incremento marcado en la muestra A (45.33  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mientras que las muestras B y C disminuyeron ligeramente, sugiriendo una posible redistribución de lixiviados o variaciones en la tasa de lixiviación. A partir del tercer mes, las tres muestras mostraron valores más homogéneos y relativamente estables, fluctuando entre 32.10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (muestra A, cuarto mes) y 41.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (muestra B, tercer mes). Esta estabilización posterior podría indicar una fase de maduración en la descomposición de los residuos, con una liberación más constante de electrolitos al medio. Cabe resaltar que, en los últimos meses (quinto y sexto), los valores se mantuvieron en un rango entre 35.50 y 41.12  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que refuerza la hipótesis de una estabilización relativa del efluente.

La Figura 8, muestra la variación mensual de la Conductividad Eléctrica (CE) en lixiviados del Botadero de Izcutaco en tres puntos de muestreo (A, B y C). Los valores se mantienen altos durante todo el periodo, lo que indica una elevada concentración de sales disueltas. Se observan variaciones entre meses y puntos de muestreo, destacando el máximo en el punto A durante el mes 2, mientras que en los meses finales los valores tienden a estabilizarse.

- DBO<sub>5</sub>

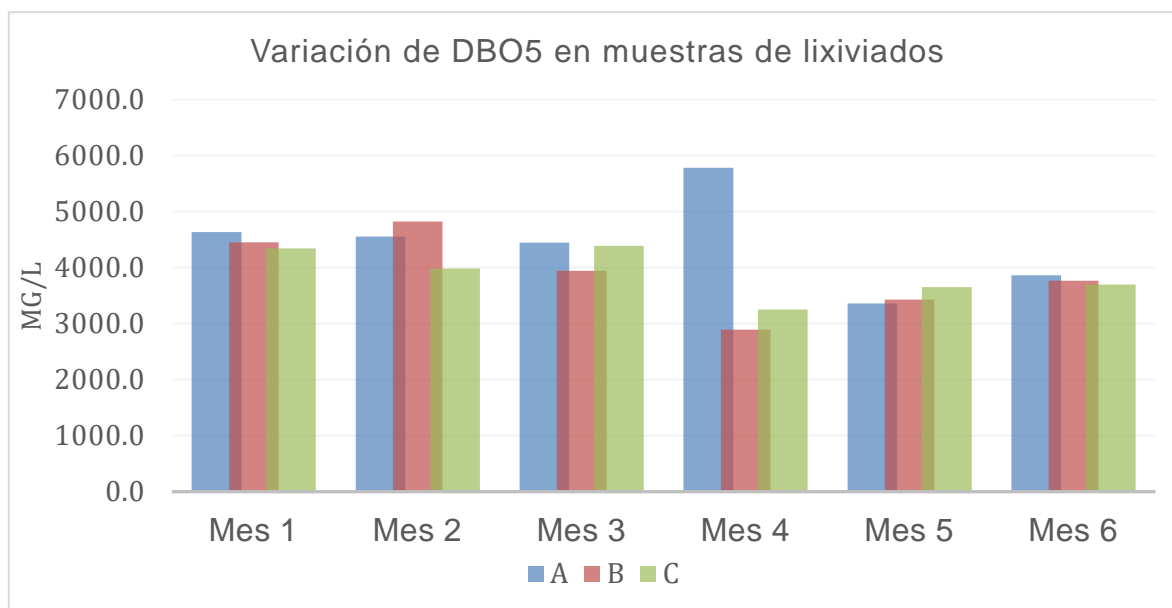
**Tabla 9**

Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (mg/L) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco.

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	4635.0	4454.7	4342.0
<b>Mes 2</b>	4555.6	4822.4	3984.0
<b>Mes 3</b>	4450.4	3945.0	4392.0
<b>Mes 4</b>	5785.0	2894.5	3254.5
<b>Mes 5</b>	3362.5	3431.5	3651.5
<b>Mes 6</b>	3862.5	3766.0	3699.0

**Figura 9**

Evolución temporal de la DBO<sub>5</sub> en lixiviados durante el periodo de seis meses



La Tabla 9, muestra las concentraciones obtenidas en los tres puntos de muestreo (A, B y C) varían entre 2894.5 mg/L y 5785.0 mg/L, valores que son característicos de lixiviados provenientes de la descomposición de residuos sólidos urbanos. En el punto de muestreo A se observan concentraciones generalmente superiores respecto a los otros puntos, destacando el mes 4 con 5785.0 mg/L, el valor máximo registrado en todo el periodo de evaluación. Este incremento podría estar asociado a una mayor acumulación de residuos orgánicos, así como a procesos intensificados de degradación biológica dentro del botadero. En el punto B se evidencia una variabilidad más marcada, con un valor máximo de 4822.4 mg/L en el mes 2 y un descenso significativo en el mes 4 con 2894.5 mg/L, mientras que el punto C presenta valores relativamente más estables, con concentraciones que fluctúan entre 3254.5 mg/L y 4392.0 mg/L. Desde el punto de vista temporal, durante los tres primeros meses se registran valores elevados y relativamente similares entre los tres puntos de muestreo; sin embargo, en el cuarto mes se observa una diferencia significativa entre las muestras, principalmente debido al incremento registrado en el punto A y la disminución en los puntos B y C. Posteriormente, en los meses cinco y seis se aprecia una ligera reducción y tendencia a la estabilización de las concentraciones. En términos generales, los altos valores de  $\text{DBO}_5$  reflejan la presencia de una considerable cantidad de materia orgánica en los lixiviados, lo que representa un potencial riesgo ambiental, ya que su posible infiltración o descarga hacia cuerpos de agua superficiales o subterráneos podría provocar una disminución del oxígeno disuelto y afectar negativamente la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

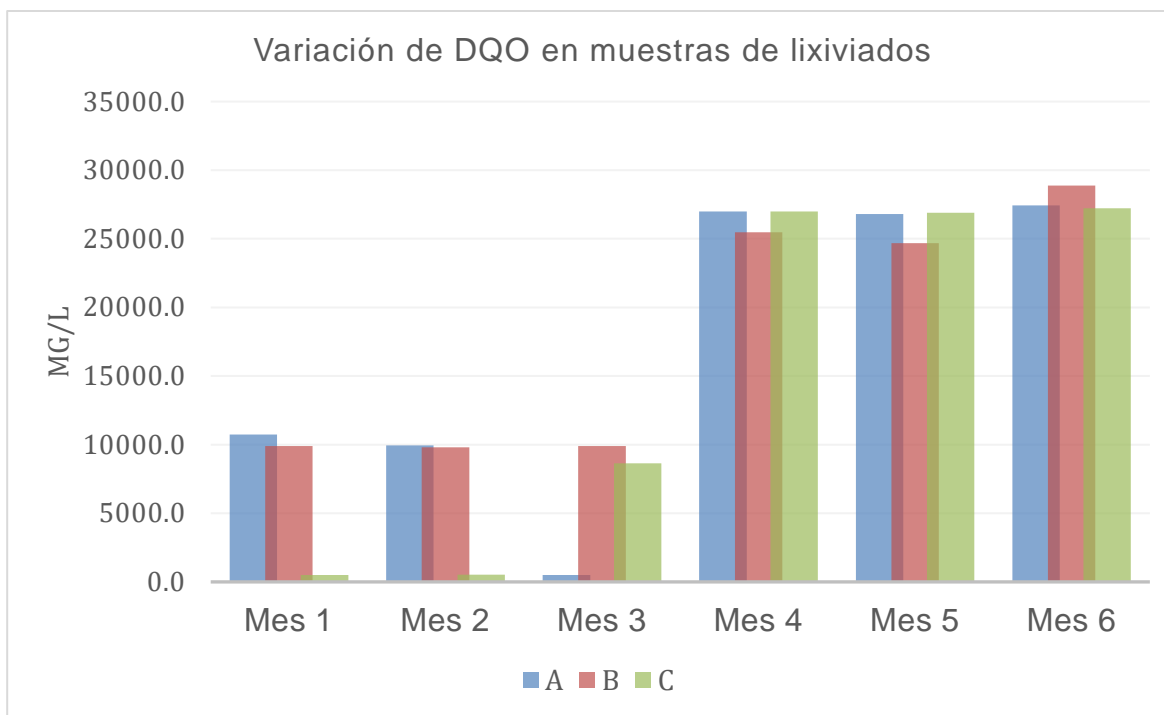
La Figura 9, muestra la variación mensual de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ) en lixiviados del Botadero de Izcutaco en tres puntos de muestreo (A, B y C). En general, se observan valores elevados de  $DBO_5$ , lo que indica una alta presencia de materia orgánica. El punto A presenta el valor máximo en el mes 4, mientras que en los meses 5 y 6 se evidencia una ligera disminución y estabilización de las concentraciones en los tres puntos de muestreo.

- **DQO**

**Tabla 10**

*Valores de Demanda Química de Oxígeno (mg/L) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco*

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	10728.0	9910.0	491.0
<b>Mes 2</b>	9950.0	9815.0	526.0
<b>Mes 3</b>	502.0	9903.0	8640.0
<b>Mes 4</b>	26998.0	25466.0	26998.0
<b>Mes 5</b>	26797.9	24688.0	26886.0
<b>Mes 6</b>	27431.9	28887.0	27221.0

**Figura 10***Resultados de la demanda química de oxígeno*

La Tabla 10 presenta que en los meses 1 y 2, los puntos A y B presentan valores elevados que oscilan entre 9815 y 10728 mg/L, mientras que el punto C muestra concentraciones considerablemente menores (491 y 526 mg/L), lo que evidencia una diferencia espacial en la carga orgánica y de compuestos oxidables presentes en los lixiviados. En el mes 3 se observa una variación significativa, ya que el punto A registra un valor muy bajo (502 mg/L), mientras que el punto C incrementa notablemente hasta 8640 mg/L, lo que podría estar asociado a cambios en la generación o acumulación de lixiviados dentro del botadero. A partir del mes 4 se evidencia un incremento marcado en los tres puntos de muestreo, alcanzando valores superiores a 25000 mg/L, con concentraciones que continúan elevadas durante los meses 5 y 6, llegando hasta 28887 mg/L en el punto B. En términos

generales, la tendencia muestra un aumento considerable de la DQO en los últimos meses, lo que indica una mayor presencia de materia orgánica y sustancias químicamente oxidables producto de la descomposición de los residuos sólidos, evidenciando una alta carga contaminante en los lixiviados generados en el botadero.

En la Figura 10, muestra la variación mensual de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en lixiviados del Botadero de Izcutaco en tres puntos de muestreo (A, B y C). Durante los primeros tres meses se observan variaciones marcadas entre los puntos, mientras que a partir del mes 4 se registra un incremento significativo de la DQO, superando los 25000 mg/L y manteniéndose elevada hasta el mes 6. Esto indica una alta carga de materia orgánica y compuestos oxidables en los lixiviados.

**4.1.2 Determinación de los parámetros microbiológicos como coliformes totales, coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos y levaduras presente en los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco.**

- **Coliformes Totales**

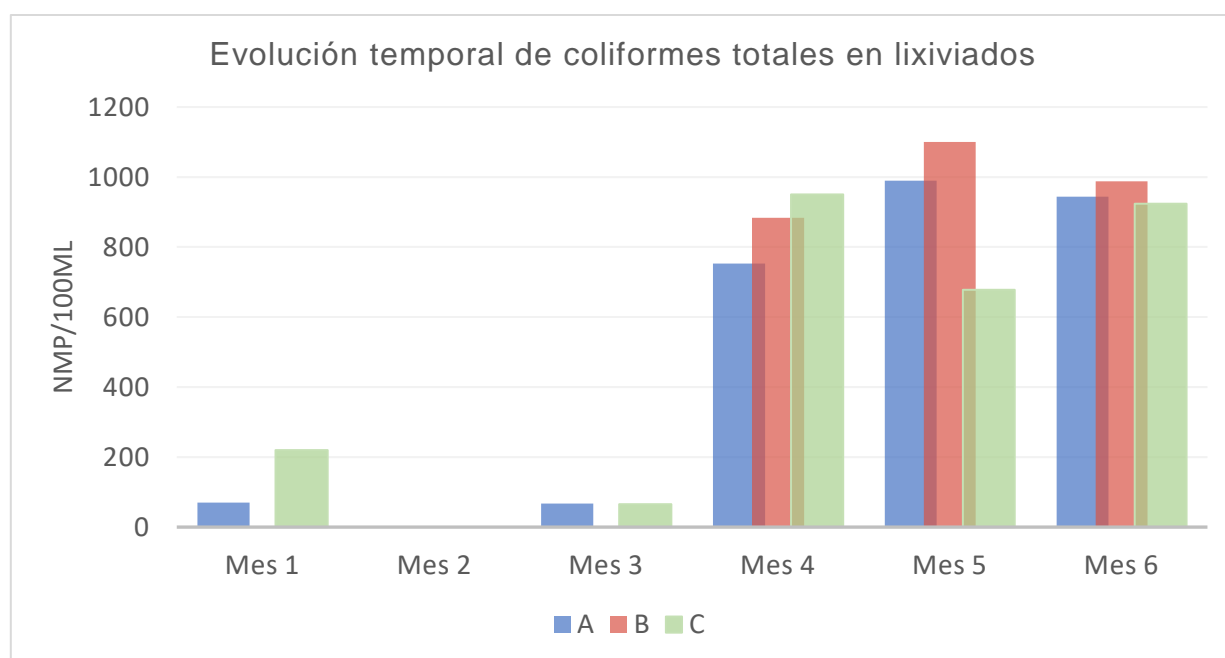
**Tabla 11**

Valores de Coliformes Totales (NMP/100 mL) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	70.0	<1.8	220.0
<b>Mes 2</b>	<1.8	<1.8	<1.8
<b>Mes 3</b>	67.0	<1.8	65.0
<b>Mes 4</b>	753.0	884.0	950.0
<b>Mes 5</b>	990.0	1100.0	678
<b>Mes 6</b>	944.0	988.0	924.0

**Figura 11**

Evolución temporal de Coliformes Totales en lixiviados durante el periodo de seis



La Tabla 11 presenta en los meses 1, 2 y 3 se registran concentraciones bajas, con valores menores a 70 NMP/100 mL e incluso resultados inferiores a 1.8 NMP/100 mL, lo que indica una presencia reducida de microorganismos indicadores en ese periodo. A partir del mes 4 se observa un incremento notable en los tres puntos de muestreo, alcanzando 753, 884 y 950 NMP/100 mL en A, B y C respectivamente. En el mes 5 se registran los valores más altos del monitoreo, destacando el punto B con 1100 NMP/100 mL, mientras que en el mes 6 las concentraciones se mantienen elevadas, con valores entre 924 y 988 NMP/100 mL. Estos resultados evidencian un aumento significativo de la carga microbiológica en los lixiviados durante los últimos meses del periodo evaluado.

La Figura 11 muestra la variación mensual de Coliformes Totales en los lixiviados del Botadero de Izcutaco para los puntos de muestreo A, B y C. En el gráfico se observa que durante los primeros tres meses las concentraciones son bajas o casi nulas, mientras que a partir del mes 4 se evidencia un incremento marcado en los tres puntos de muestreo. El mes 5 presenta los valores más altos, especialmente en el punto B, y en el mes 6 las concentraciones se mantienen elevadas. En general, la figura evidencia una tendencia creciente en la presencia de coliformes totales hacia los últimos meses, lo que refleja un incremento en la actividad microbiológica asociada a la descomposición de materia orgánica en los lixiviados.

- **Coliformes Termotolerantes**

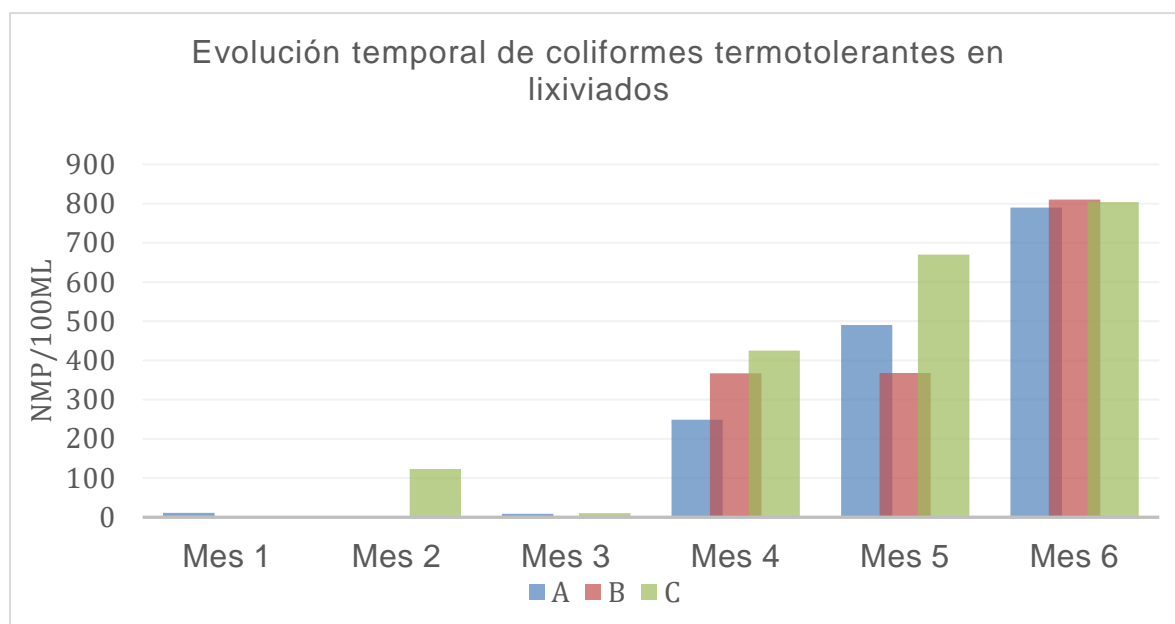
**Tabla 12**

*Valores de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco*

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	11	<1.8	<1.8
<b>Mes 2</b>	<1.8	<1.8	123
<b>Mes 3</b>	9	<1.8	10.5
<b>Mes 4</b>	249	367	425
<b>Mes 5</b>	490	368	670
<b>Mes 6</b>	790	810	804

**Figura 12**

*Evolución temporal de Coliformes Termotolerantes en lixiviados durante el periodo de seis meses.*



La Tabla 12 presenta los valores durante los meses 1, 2 y 3 se observan concentraciones bajas, con valores menores a 11 NMP/100 mL en la mayoría de los puntos e incluso resultados inferiores a 1.8 NMP/100 mL, lo que indica una presencia limitada de bacterias indicadoras de contaminación fecal en el periodo inicial. No obstante, a partir del mes 4 se evidencia un incremento considerable en los tres puntos de muestreo, registrándose 249, 367 y 425 NMP/100 mL en A, B y C respectivamente. Esta tendencia continúa en el mes 5, donde se alcanzan valores de 490 NMP/100 mL en A, 368 NMP/100 mL en B y 670 NMP/100 mL en C. Finalmente, en el mes 6 se presentan las concentraciones más elevadas del monitoreo, con valores cercanos o superiores a 800 NMP/100 mL en los tres puntos evaluados. En conjunto, los resultados evidencian un incremento progresivo de la carga microbiológica en los lixiviados durante los últimos meses del periodo analizado.

La Figura 12 se observa que durante los primeros tres meses las concentraciones son bajas o casi nulas, reflejando una escasa presencia de estos microorganismos. Sin embargo, a partir del mes 4 se aprecia un incremento notable en los tres puntos de muestreo, tendencia que continúa durante los meses 5 y 6, donde se alcanzan los valores más altos del periodo. En términos generales, la figura evidencia una tendencia creciente en la presencia de coliformes termotolerantes, lo que sugiere un aumento en la actividad microbiológica asociada a la descomposición de residuos orgánicos en los lixiviados del botadero.

- **Escherichia Coli**

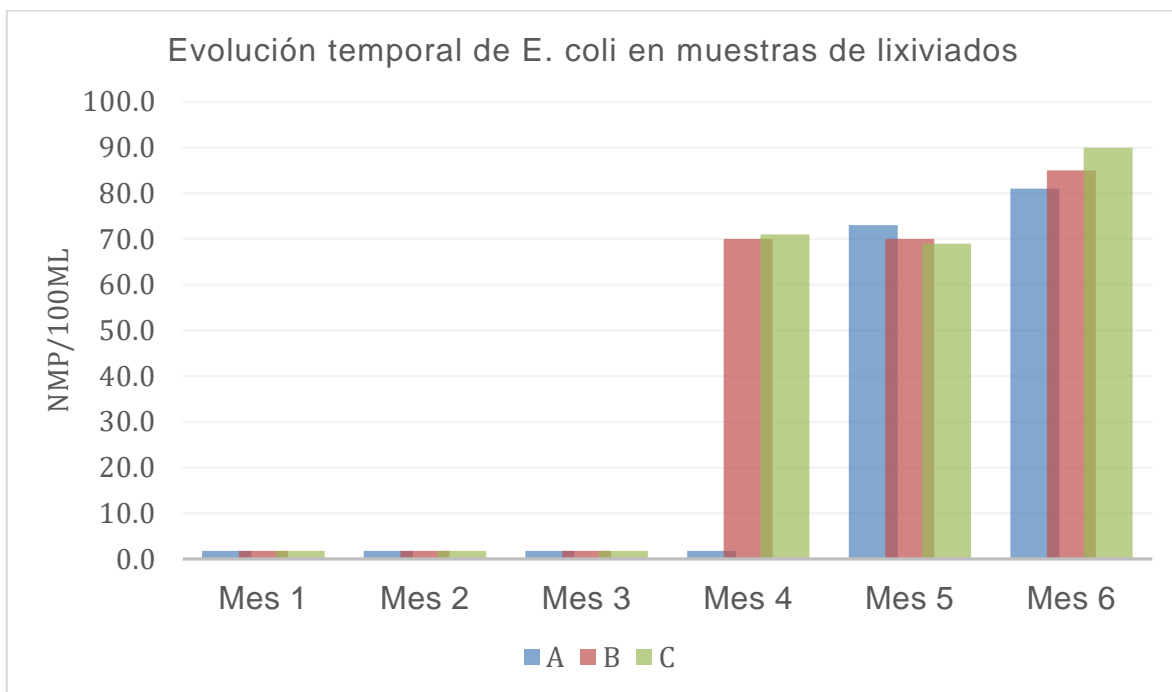
**Tabla 13**

*Valores de Escherichia coli mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco*

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	<1.8	<1.8	<1.8
<b>Mes 2</b>	<1.8	<1.8	<1.8
<b>Mes 3</b>	<1.8	<1.8	<1.8
<b>Mes 4</b>	1.8	70.0	71.0
<b>Mes 5</b>	73.0	70.0	69.0
<b>Mes 6</b>	81.0	85.0	90.0

**Figura 13**

*Evolución temporal de E. coli en lixiviados durante el periodo de seis meses*



La Tabla 13 presenta los valores durante los meses 1, 2 y 3 se observa la ausencia o presencia no detectable de *E. coli*, con valores inferiores a 1.8 NMP/100 mL en todos los puntos evaluados. Sin embargo, a partir del mes 4 se evidencia la aparición de esta bacteria indicadora de contaminación fecal, registrándose 1.8 NMP/100 mL en el punto A, 70.0 NMP/100 mL en el punto B y 71.0 NMP/100 mL en el punto C. En el mes 5 se observa un incremento generalizado en las concentraciones, alcanzando 73.0, 70.0 y 69.0 NMP/100 mL en los puntos A, B y C respectivamente. Finalmente, en el mes 6 se registran los valores más altos del periodo evaluado, con 81.0 NMP/100 mL en A, 85.0 NMP/100 mL en B y 90.0 NMP/100 mL en C. En conjunto, los resultados evidencian una tendencia creciente en la presencia de *E. coli* a partir del cuarto mes, lo que sugiere un aumento de la contaminación microbiológica asociada a los procesos de descomposición de residuos orgánicos en los lixiviados del botadero.

- **Hongos y Levaduras**

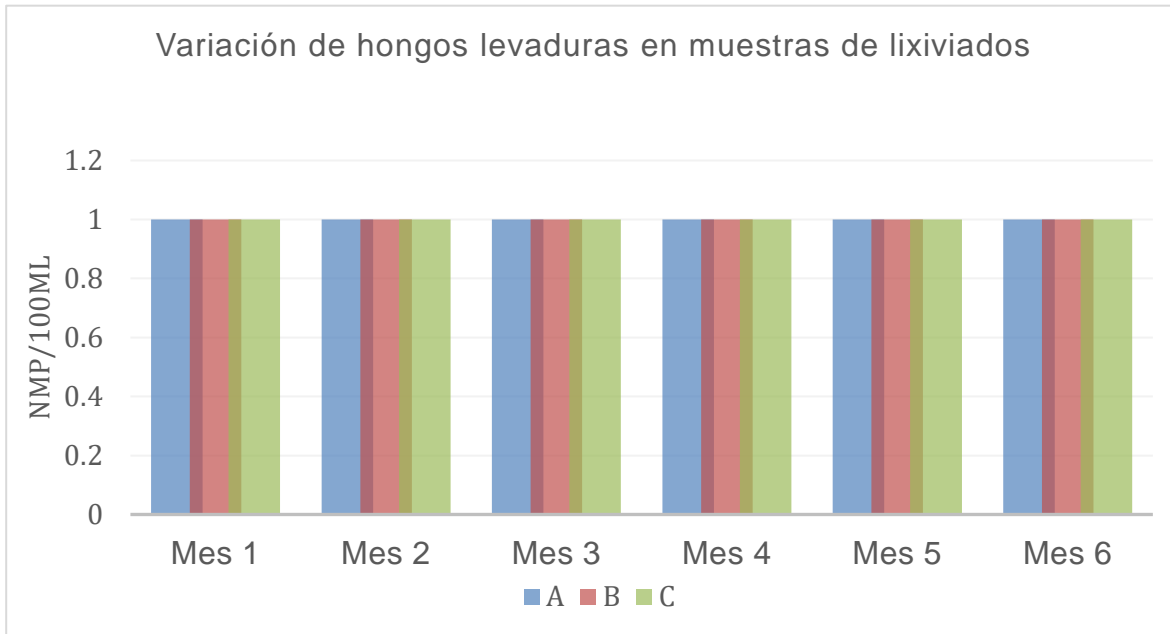
**Tabla 14**

*Recuento de Hongos y Levaduras mensuales en lixiviados del botadero de Izcutaco*

Tiempo	Muestras		
	A	B	C
<b>Mes 1</b>	<1	<1	1
<b>Mes 2</b>	<1	1	<1
<b>Mes 3</b>	1	<1	<1
<b>Mes 4</b>	<1	<1	<1
<b>Mes 5</b>	<1	<1	<1
<b>Mes 6</b>	1	1	1

### Figura 14

*Evolución temporal del recuento de Hongos y Levaduras en lixiviados durante el periodo de seis meses.*



La Tabla 14, muestra bajas concentraciones de estos microorganismos a lo largo del periodo de monitoreo. Durante los meses 1, 2 y 3 se registran valores muy bajos, con resultados inferiores a 1 UFC en la mayoría de los puntos y solo algunos registros puntuales de 1 en determinadas muestras. En los meses 4 y 5 se observa ausencia o niveles no detectables en los tres puntos de muestreo, lo que indica una escasa presencia de hongos y levaduras en los lixiviados durante ese periodo. Finalmente, en el mes 6 se registran valores de 1 en los tres puntos evaluados, evidenciando una ligera presencia de estos microorganismos. En términos generales, los resultados indican que la presencia de hongos y levaduras en los lixiviados es mínima y relativamente constante, sin variaciones significativas entre los puntos de muestreo ni a lo largo del periodo analizado.

#### 4.1.3 Evaluación del grado de contaminación y el potencial impacto ambiental de los lixiviados sobre el suelo y los cuerpos de agua cercanos

**Tabla 15**

*Comparación del pH del suelo con el rango óptimo típico para suelos agrícolas*

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>pH</b>	<b>Rango óptimo agrícola</b>	<b>Estado</b>
S1	6.58	6.0 - 7.5	Aceptable
S2	8.66	6.0 - 7.5	Excede (Alcalino)
S3	8.26	6.0 - 7.5	Excede (Alcalino)

Respecto al cadmio, las concentraciones medidas fueron considerablemente bajas en todos los puntos, con valores de 0.13, 0.14 y 0.08 mg/kg para los S1, S2 y S3, respectivamente; estos resultados se ubican muy por debajo del límite máximo permisible establecido en el ECA para suelo agrícola (1.4 mg/kg), lo que indica que, para este parámetro, no existe un riesgo de contaminación metálica significativa en el área evaluada.

**Tabla 16**

*Comparación de la concentración de cadmio (Cd) en suelo con el ECA para Suelo Agrícola*

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Cd (mg/kg)</b>	<b>ECA - Suelo agrícola</b>	<b>Estado</b>
S1	0.13	1.4	Aceptable
S2	0.14	1.4	Aceptable
S3	0.08	1.4	Aceptable

En el caso del cromo total, se observó un comportamiento similar al del cadmio, con concentraciones que no representan riesgo según la normativa vigente; los valores obtenidos fueron de 5.74, 4.04 y 5.01 mg/kg para los S1, S2 y S3, respectivamente, los cuales se encuentran muy inferiores al límite establecido de 400 mg/kg para suelo agrícola, confirmando la ausencia de contaminación relevante por este metal en los suelos muestreados.

**Tabla 17**

*Comparación de la concentración de cromo (Cr) en suelo con el ECA para Suelo Agrícola*

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Cr (mg/kg)</b>	<b>ECA - Suelo agrícola</b>	<b>Estado</b>
S1	5.74	400	Aceptable
S2	4.04	400	Aceptable
S3	5.01	400	Aceptable

Mientras, para el plomo, se registraron las concentraciones más altas entre los metales normados, con valores de 7.78, 23.19 y 21.03 mg/kg en los puntos S1, S2 y S3, respectivamente; no obstante, todos estos se mantuvieron por debajo del límite máximo permisible de 70 mg/kg establecido para suelo agrícola. Aunque S2 y S3 presentaron contenidos notablemente mayores que el S1, en ningún caso se superó el estándar de calidad ambiental, lo que sugiere que, si bien existe una variabilidad espacial en la distribución de este metal, su presencia no constituye aún un incumplimiento normativo.

**Tabla 18**

*Comparación de la concentración de plomo (Pb) en suelo con el ECA para Suelo Agrícola.*

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Pb (mg/kg)</b>	<b>ECA - Suelo agrícola</b>	<b>Estado</b>
S1	7.78	70	Aceptable
S2	23.19	70	Aceptable
S3	21.03	70	Aceptable

Por otro lado, se presenta los resultados de calidad de agua para los parámetros pH, Conductividad Eléctrica (CE), Manganeseo (Mn) y Coliformes Termotolerantes, comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3 (D.S. N° 004-2017-MINAM). La evaluación considera los usos más relevantes para el contexto del área de estudio que son el riego de vegetales

(Subcategoría D1) y bebida de animales (Subcategoría D2). Cabe señalar que, además de los parámetros aquí analizados, se evaluaron otros metales como arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc; sin embargo, sus concentraciones resultaron ser muy bajas o no detectables, ubicándose en todos los casos muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa para ambos usos, por lo que no representan un riesgo significativo.

Respecto al pH, se observó una condición heterogénea entre los puntos de muestreo; el punto G2 presentó un valor de 7.02, el cual se encuentra dentro del rango aceptable tanto para riego (6.5 – 8.5) como para bebida de animales (6.5 – 8.4). En contraste, los puntos G1 y G3 registraron valores de 8.42 y 9.52, respectivamente, los cuales exceden el límite superior de ambos estándares, indicando una marcada alcalinización. Esta condición puede afectar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos y la palatabilidad del agua para el ganado, además de sugerir una posible influencia de los lixiviados alcalinos caracterizados.

**Tabla 19**

*Comparación del pH del agua con los ECA para Agua, Categoría 3.*

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>pH</b>	<b>ECA - Riego de vegetales (D1)</b>	<b>ECA - Bebida de Animales (D2)</b>	<b>Estado</b>
G1	8.42	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	Excede (Alcalino)
G2	7.02	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	Aceptable
G3	9.52	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	Excede (Alcalino)

En cuanto a la Conductividad Eléctrica (CE), los resultados mostraron una variabilidad significativa; el punto G1 presentó un valor de 2849.67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el cual excede el límite establecido para riego no restringido de vegetales (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), aunque se mantiene dentro del límite para riego restringido y para bebida de animales (5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Este valor elevado indica una alta concentración de sales disueltas, lo que puede generar problemas de salinidad en suelos regados con esta agua, afectando la productividad agrícola. Por otro lado, los puntos G2 y G3 registraron valores de 623.50 y 668.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente, los cuales se encuentran muy por debajo de todos los límites normativos, indicando una baja salinidad y, por tanto, un menor riesgo de impacto por este parámetro.

**Tabla 20**

*Comparación de la conductividad eléctrica (CE) del agua con los ECA para Agua, Categoría 3.*

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>ECA - Riego de vegetales (D1)</b>	<b>ECA - Bebida de Animales (D2)</b>	<b>Estado</b>
G1	2849.67	2500	5000	Excede
G2	623.50	2500	5000	Aceptable
G3	668.00	2500	5000	Aceptable

Para el Manganeso (Mn), las concentraciones medidas mostraron que el punto G2 (0.26 mg/L) excede el límite permisible tanto para riego de vegetales como para bebida de animales (0.2 mg/L). Esta superación podría representar un riesgo de toxicidad para las plantas y de bioacumulación en forrajes, afectando indirectamente a los animales que los consumen. Los puntos G1 y G3, con valores de 0.06 y 0.03 mg/L respectivamente, se mantuvieron dentro de los límites normativos, no representando un riesgo significativo por este metal.

**Tabla 21**

*Comparación de concentración de manganeso (Mn) en agua con los ECA para Agua, Categoría 3.*

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Mn (mg/)</b>	<b>ECA - Riego de Vegetales (D1)</b>	<b>ECA - Bebida de Animales (D2)</b>	<b>Estado</b>
G1	0.06	0.2	0.2	Aceptable
G2	0.26	0.2	0.2	Excede
G3	0.03	0.2	0.2	Aceptable

Finalmente, en relación con los Coliformes Termotolerantes, todos los puntos de muestreo (G1: 4.43, G2: 2.13, G3: 4.67 NMP/100 mL) presentaron concentraciones muy por debajo de los límites establecidos para riego de vegetales (1000 NMP/100 mL para riego no restringido y 2000 para riego restringido) y para bebida de animales (1000 NMP/100 mL). Estos resultados indican una baja carga de contaminación fecal en el agua muestreada, lo que sugiere un riesgo microbiológico mínimo para los usos evaluados en el contexto de la normativa vigente.

**Tabla 22**

*Comparación de coliformes termotolerantes en agua con los ECA para Agua, Categoría 3.*

<b>Punto de Muestra</b>	<b>CT (NMP /100 mL)</b>	<b>ECA - Riego No restringido (D1)</b>	<b>ECA - Riego restringido (D1)</b>	<b>ECA - Bebida de Animales (D2)</b>	<b>Estado</b>
G1	4.43	1000	2000	1000	Aceptable
G2	2.13	1000	2000	1000	Aceptable
G3	4.67	1000	2000	1000	Aceptable

#### 4.1.4 Evaluación de la relación entre la composición de los lixiviados y el tipo de residuos sólidos dispuestos en el botadero

**Tabla 23**

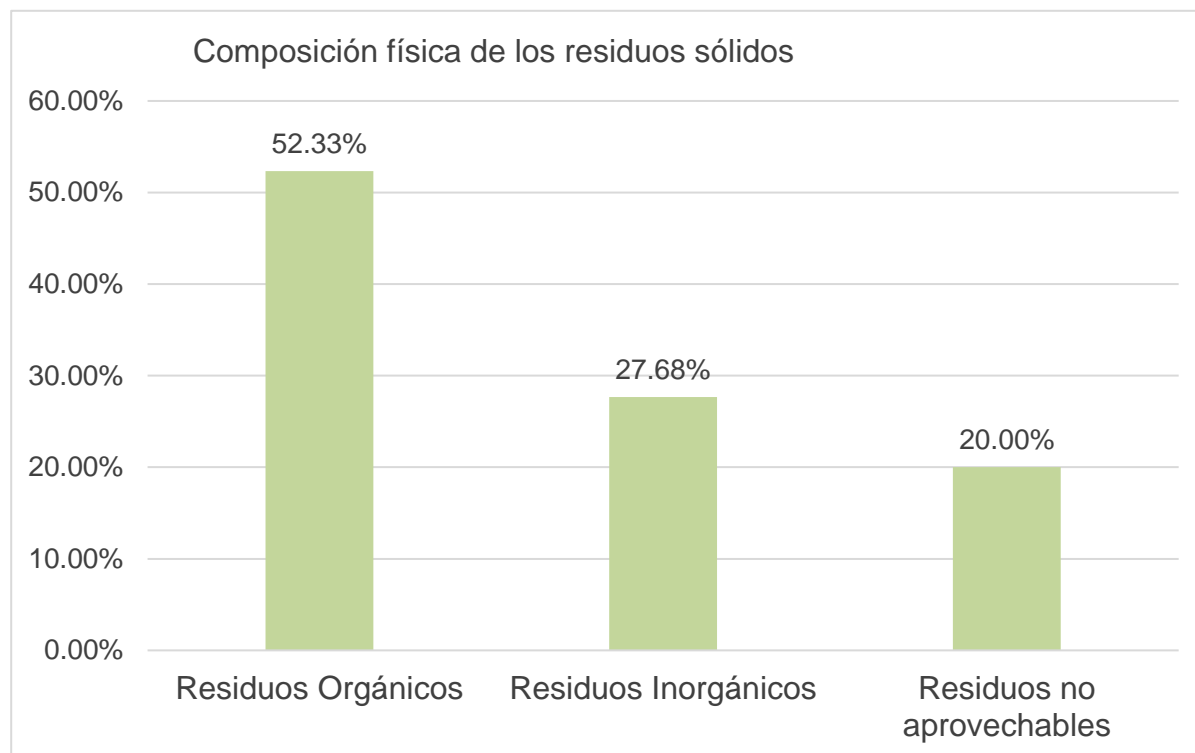
*Composición física de los residuos sólidos municipales*

<b>TIPO DE RESIDUO SÓLIDO</b>	<b>COMPOSICIÓN PORCENTUAL (%)</b>
<b>1. RESIDUOS APROVECHABLES</b>	80.005
<b>1.1. Residuos Orgánicos</b>	52.325
Residuos de alimentos	49.380
Residuos de maleza y poda	1.570
Otros orgánicos	1.16
<b>1.2. Residuos Inorgánicos</b>	27.680
<b>1.2.1. Papel</b>	5.620
Papel blanco	3.835
Periódico	0.635
Papel mixto	1.145
<b>1.2.2. Cartón</b>	4.680
Cartón blanco (liso y cartulina)	1.490
Cartón marrón (corrugado)	1.985
Cartón mixto	1.205

<b>TIPO DE RESIDUO SÓLIDO</b>	<b>COMPOSICIÓN PORCENTUAL (%)</b>
<b>1.2.3. Vidrio</b>	3.265
Vidrio transparente	2.900
Vidrio de otros colores	0.135
Otros vidrios (ventana, etc.)	0.23
<b>1.2.4. Plásticos</b>	8.750
PET (Tereftalato de polietileno)	3.480
PEAD (Polietileno de alta densidad)	1.445
PEBD (Polietileno de baja densidad)	2.070
PP (Polipropileno)	0.685
PS (Poliestireno)	0.885
PVC (Policloruro de vinilo)	0.180
<b>1.2.5. Tetra Brik (envases multicapa)</b>	0.360
<b>1.2.6. Metales</b>	2.850
Latas-hojalata	1.790
Fierro	0.765
Aluminio	0.295

<b>TIPO DE RESIDUO SÓLIDO</b>	<b>COMPOSICIÓN PORCENTUAL (%)</b>
<b>1.2.7. Textiles (telas)</b>	1.245
<b>1.2.8. Caucho, cuero, jebe</b>	0.91
<b>2. Residuos no aprovechables</b>	19.995
Bolsas plásticas de un solo uso	4.825
Residuos sanitarios	4.425
Pilas	0.130
Tecnopor	1.290
Residuos inertes	4.285
Restos de medicamentos	0.430
Envolturas de snacks, galletas, caramelos	2.850
Otros residuos no categorizados	1.755
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>100.000</b>

Fuente: Municipalidad Provincial de Huanta (2021).

**Figura 15***Composición física de los residuos sólidos*

La caracterización física de los residuos sólidos municipales (Tabla 23) del botadero de Izcutaco reveló una marcada predominancia de los residuos orgánicos aprovechables, los cuales en conjunto representaron el 80.005% de la composición total. Dentro de esta categoría, los residuos de alimentos constituyeron el componente principal con un 52.325%, seguidos por la maleza y poda con 49.380% y otros orgánicos menores con 1.570%; esta distribución confirma que el flujo de residuos está mayoritariamente conformado por materia orgánica de rápida degradación, principalmente de origen domiciliario y de actividades de mantenimiento de áreas verdes.

Los residuos inorgánicos aprovechables representaron el 27.680% del total,

siendo el papel el material más significativo dentro de este grupo (5.620%), con claro predominio del papel blanco (3.835%). Le siguieron en importancia los plásticos (8.750%), donde el PET destacó como el tipo más común (3.480%); asimismo, se identificaron proporciones menores de cartón (4.680%), vidrio (3.265%) y metales (2.850%). Estos materiales, aunque en menor proporción que los orgánicos, constituyen fracciones valorizables que podrían ser desviadas del botadero mediante programas de segregación y reciclaje.

En cuanto a los residuos no aprovechables conformaron el 19.995% de la composición; en este grupo, se identificaron materiales problemáticos como bolsas plásticas de un solo uso (4.825%), residuos sanitarios (4.425%), residuos inertes como tierra y escombros (4.285%), y envolturas de snacks y golosinas (2.850%). La presencia significativa de estos componentes refleja patrones de consumo actuales y deficiencias en la gestión segregada de residuos especiales y no reciclables, los cuales incrementan el volumen dispuesto y pueden presentar desafíos específicos en la generación y composición de lixiviados.

El análisis de correlación reveló patrones significativos en las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los lixiviados (Tabla 23). Se observó que el pH presentó correlaciones positivas y significativas ( $p < 0.05$ ) con la DQO ( $r = 0.744$ ), los coliformes totales ( $r = 0.658$ ), los coliformes termotolerantes ( $r = 0.781$ ) y *Escherichia coli* ( $r = 0.848$ ); este conjunto de asociaciones indica que, a medida que el medio se tornó más alcalino, aumentaron simultáneamente la concentración de materia orgánica refractaria y la carga microbiana de origen fecal. Por el contrario, el pH mostró una correlación negativa y significativa con la  $DBO_5$  ( $r$

= -0.626;  $p = 0.005$ ), lo cual sugiere que la fracción de materia orgánica fácilmente biodegradable fue más predominante en condiciones de acidez.

Por otro lado, la DQO demostró una fuerte asociación positiva no solo con el pH, sino también con los indicadores microbiológicos, particularmente con los coliformes termotolerantes ( $r = 0.837$ ;  $p < 0.001$ ) y *E. coli* ( $r = 0.810$ ;  $p < 0.001$ ). En contraste, la  $DBO_5$  exhibió correlaciones negativas significativas con los coliformes totales ( $r = -0.527$ ;  $p = 0.025$ ), los coliformes termotolerantes ( $r = -0.643$ ;  $p = 0.004$ ) y *E. coli* ( $r = -0.763$ ;  $p < 0.001$ ), revelando una disociación clara entre la materia orgánica de rápida biodegradación y la presencia de bacterias fecales en los lixiviados. Los parámetros microbiológicos, a su vez, mostraron una elevada intercorrelación, destacando la asociación muy fuerte entre coliformes termotolerantes y *E. coli* ( $r = 0.895$ ;  $p < 0.001$ ).

En cuanto a la conductividad eléctrica y los sólidos totales no presentaron correlaciones significativas con la mayoría de los parámetros analizados ( $p > 0.05$ ); únicamente se identificó una tendencia negativa moderada entre conductividad y sólidos totales ( $r = -0.275$ ), aunque sin significancia estadística ( $p = 0.270$ ). Este resultado sugiere que la salinidad y la carga de sólidos en los lixiviados responden a factores distintos a los que gobiernan la variación de la materia orgánica, los nutrientes y los microorganismos, posiblemente relacionados con la lixiviación de sales minerales y materiales inertes presentes en los residuos.

La Figura 17, muestra que los residuos orgánicos predominan con un 52.33%, representando más de la mitad del total y evidenciando un alto potencial para su aprovechamiento mediante compostaje; en segundo lugar, los residuos inorgánicos alcanzan el 27.68%, lo que indica una proporción significativa que podría ser reciclada si se implementa una adecuada segregación en la fuente; finalmente, los residuos no aprovechables constituyen el 20.00%, siendo la menor proporción pero aún relevante, ya que requieren disposición final; en conjunto, más del 80% de los residuos generados tiene potencial de valorización, lo que resalta la importancia de fortalecer estrategias de manejo sostenible.

**Tabla 24***Análisis de correlación de parámetros*

		pH	Conductividad eléctrica	Sólidos totales	DBO <sub>5</sub>	DQO	Coliformes totales	Coliformes termotolerantes	Escherichia coli
pH	Coeficiente de correlación		- 0.050	- 0.244	- 0.626	0.744	0.658	0.781	0.848
	Sig.		0.845	0.330	.005	0.000	0.003	0.000	0.000
Conductividad eléctrica	Coeficiente de correlación	-0.050		- 0.275	- 0.232	- 0.085	- 0.107	- 0.068	0.187
	Sig.	0.845		0.270	0.354	0.738	0.671	0.789	0.457
Sólidos totales	Coeficiente de correlación	- 0.244	- 0.275		- 0.107	- 0.002	0.237	0.104	- 0.062
	Sig.	0.330	0.270		0.671	0.994	0.344	0.680	0.806
DBO <sub>5</sub>	Coeficiente de correlación	- 0.626	- 0.232	- 0.107		- 0.431	- 0.527	- 0.643	- 0.763
	Sig.	0.005	0.354	0.671		0.074	0.025	0.004	0.000

---

DQO	Coeficiente de correlación	0.744	- 0.085	- 0.002	-	0.431	0.684	0.837	0.810
	Sig.	0.000	0.738	0.994	0.074		0.002	0.000	0.000
Coliformes totales	Coeficiente de correlación	0.658	- 0.107	0.237	-	0.527	0.684	0.774	0.645
	Sig.	0.003	0.671	0.344	0.025	0.002		0.000	0.004
Coliformes termotolerantes	Coeficiente de correlación	0.781	- 0.068	0.104	-	0.643	0.837	0.774	0.895
	Sig.	0.000	0.789	0.680	0.004	0.000	0.000		0.000
Escherichia coli	Coeficiente de correlación	0.848	0.187	- 0.062	-	0.763	0.810	0.645	0.895
	Sig.	0.000	0.457	0.806	0.000	0.000	0.004	0.000	

---

La relación entre la composición de los lixiviados y el tipo de residuos sólidos dispuestos en el botadero de Izcutaco puede establecerse mediante la integración de los hallazgos de la caracterización de residuos y el análisis de correlación de los parámetros de lixiviados. La predominancia de residuos orgánicos aprovechables (80.005%), especialmente de residuos de alimentos (52.325%) y maleza y poda (49.380%), explica la elevada carga orgánica reflejada en los parámetros de DQO y  $\text{DBO}_5$ . Estos materiales, altamente putrescibles y biodegradables, son la fuente principal de la materia orgánica que, durante su descomposición anaerobia, genera lixiviados con alta demanda de oxígeno; la correlación negativa significativa entre  $\text{DBO}_5$  y el pH ( $r = -0.626$ ;  $p = 0.005$ ) sugiere que esta fracción biodegradable se degrada predominantemente durante la fase ácida inicial de la descomposición, la cual es típica de residuos orgánicos frescos.

La presencia significativa de residuos sanitarios (4.425%) y la elevada proporción de materia orgánica de origen domiciliario están directamente asociadas con la carga microbiológica detectada en los lixiviados. Las fuertes correlaciones positivas entre el pH y los indicadores de contaminación fecal, coliformes termotolerantes ( $r = 0.781$ ) y *Escherichia coli* ( $r = 0.848$ ), así como entre la DQO y estos mismos indicadores, indican que la estabilización alcalina del lixiviado coincide con la persistencia o el crecimiento de microorganismos fecales, los cuales encuentran un sustrato adecuado en los residuos de alimentos y materiales orgánicos ricos en nutrientes. Este patrón es consistente con la dinámica de degradación en botaderos, donde la fase metanogénica (alcalina) permite la

supervivencia de bacterias fecales en un medio con menor competencia microbiana ácida.

Finalmente, los componentes inorgánicos, aunque minoritarios, influyen en parámetros específicos de los lixiviados. Los plásticos (8.750%), especialmente los de un solo uso (4.825%), y los residuos inertes (4.285%) contribuyen a la fracción de sólidos totales, la cual no mostró correlación significativa con otros parámetros, sugiriendo un origen diferenciado y una dinámica de lixiviación independiente de la degradación orgánica. Asimismo, la conductividad eléctrica, que no correlacionó significativamente con ningún parámetro orgánico o microbiológico, podría estar asociada a la lixiviación de sales y minerales procedentes de residuos inorgánicos, materiales inertes y posiblemente de la descomposición de ciertos tipos de papel y textiles. En conjunto, la composición de residuos determina las características clave de los lixiviados: alta carga orgánica (DQO/DBO), elevada presencia de coliformes y una transición química y microbiana predecible a lo largo del tiempo.

#### **4.1.5 Contrastación de hipótesis**

En la presente investigación se procede a realizar la contratación de la hipótesis, la cual plantea que los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco superan los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente, generando un potencial impacto ambiental. La contrastación estadística es necesaria debido a que, aunque descriptivamente se observa que los valores obtenidos son elevados, es metodológicamente indispensable demostrar que dichas diferencias no se deben al azar, sino que son estadísticamente significativas.

Para la contrastación se seleccionaron las variables; Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ), las cuales fueron elegidas debido a que constituyen los principales indicadores de contaminación orgánica en lixiviados, permitiendo evaluar la carga contaminante y el potencial impacto sobre el suelo y los cuerpos de agua. No se consideraron otras variables fisicoquímicas y microbiológicas para el contraste inferencial debido a que el objetivo principal de la hipótesis general es demostrar la presencia significativa de contaminación orgánica, siendo DQO y  $DBO_5$  los parámetros más representativos para dicho fin.

### Prueba de normalidad

**Tabla 25**

*Prueba de normalidad mediante prueba de Shapiro-Wilk*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
pH	0.858	18	0.01
DQO	0.812	18	0.002
$DBO_5$	0.963	18	0.669
CT	0.815	18	0.002

En la Tabla 25 se presentan los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a las variables pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ) y Coliformes Totales (CT), considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . Para las variables pH ( $p = 0.01$ ), DQO ( $p = 0.002$ ) y Coliformes Totales ( $p = 0.002$ ), los valores de significancia fueron

menores a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis de normalidad, concluyéndose que estos datos no siguen una distribución normal. En cambio, para la variable  $DBO_5$  se obtuvo un valor de significancia  $p = 0.669$  ( $p > 0.05$ ), lo que indica que no se rechaza la hipótesis de normalidad, concluyéndose que los datos presentan una distribución normal. En función de estos resultados, se determinó la aplicación de pruebas no paramétricas (Wilcoxon para una muestra) para las variables pH, DQO y Coliformes Totales, y la aplicación de una prueba paramétrica (t de una muestra) para la variable  $DBO_5$ , asegurando así la adecuada selección del procedimiento estadístico para el contraste de hipótesis.

**Tabla 26**

*Resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los parámetros de calidad de lixiviados*

<b>Variable</b>	<b>Prueba</b>	<b>Valor prueba</b>	<b>Sig.</b>
ph	Wilcoxon para una muestra	8.5	0.028
DQO	Wilcoxon para una muestra	40	0.000
$DBO_5$	T para una muestra	15	0.000
CT	Wilcoxon para una muestra	1000	0.000

Los resultados presentados en la Tabla 26 muestran que todos los valores de significancia son menores al nivel establecido ( $\alpha = 0.05$ ). El pH presenta  $p = 0.028$ , mientras que DQO,  $DBO_5$  y coliformes termotolerantes presentan  $p = 0.000$ , lo que indica que sus valores superan significativamente los límites establecidos por el

ECA para agua categoría 3. Estos resultados se resumen en la Tabla 27, donde se presenta la decisión estadística y su interpretación para cada variable evaluada.

**Tabla 27**

*Resumen de los resultados de las pruebas estadísticas*

<b>Variable</b>	<b>Comparación con <math>\alpha = 0.05</math></b>	<b>Decisión estadística</b>	<b>Interpretación</b>
pH	$p < 0.05$	Se rechaza $H_0$	El pH supera el límite máximo permisible (8.5), indicando alcalinidad en los lixiviados.
DQO	$p < 0.05$	Se rechaza $H_0$	La concentración de DQO es mayor al límite permitido (40 mg/L).
DBO <sub>5</sub>	$p < 0.05$	Se rechaza $H_0$	La concentración de DBO <sub>5</sub> supera el valor máximo permitido (15 mg/L).
CT	$p < 0.05$	Se rechaza $H_0$	Los coliformes termotolerantes superan el límite permitido (1000 NMP/100 mL).

Tras la contrastación de la hipótesis, y considerando que en todos los parámetros evaluados se obtuvo un nivel de significancia  $p < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis de investigación. En consecuencia, se concluye que los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco superan significativamente los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente, evidenciando la presencia de contaminación y un potencial impacto ambiental.

## 4.2. Discusión

Los resultados fisicoquímicos obtenidos en el botadero de Izcutaco muestran una evolución temporal y características que se alinean con los patrones reportados en la literatura para lixiviados en proceso de maduración. En relación con el pH, la transición observada desde valores inicialmente ácidos/neutros (4.60 – 6.50) hacia una marcada alcalinidad en los meses finales (9.10 - 9.58) refleja el paso de una fase acidogénica inicial a una fase metanogénica estable. Este comportamiento es típico en vertederos donde, tras la degradación inicial de materia orgánica que genera ácidos volátiles, se produce amoníaco por descomposición de compuestos nitrogenados, lo que incrementa el pH (Kumar et al., 2025). Dicho patrón coincide con lo documentado por Podlasek et al. (2023), quienes en vertederos de Polonia y República Checa también identificaron lixiviados maduros con pH persistentemente alcalino (>8), así como con los hallazgos de Asouam et al. (2021) en Marruecos. La homogenización de los valores de pH hacia el sexto mes sugiere una estabilización del material en descomposición dentro del botadero; sin embargo, la alcalinidad sostenida (pH > 9) representa un factor de riesgo ambiental, ya que puede alterar la capacidad buffer del suelo y movilizar metales hacia los cuerpos de agua cercanos.

Respecto a la Conductividad Eléctrica (CE), los valores registrados mostraron una variabilidad inicial (entre 26.50 y 45.33  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), seguida de una relativa estabilización en un rango de 35.50 a 41.12  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en los últimos meses. Esta tendencia hacia la uniformización sugiere una liberación más constante de iones y electrolitos al medio, propia de una fase de maduración avanzada. Si bien estos

valores son notablemente inferiores a los reportados en contextos de alta contaminación salina, como el estudio de Asouam et al. (2021) donde se midieron conductividades de hasta 130 mS/cm (130,000  $\mu$ S/cm), los niveles encontrados en Izcutaco indican una carga significativa de sales disueltas. Esta condición, aunque moderada, puede contribuir a la salinización de suelos y aguas superficiales en la zona de influencia, afectando potencialmente la vegetación y los recursos hídricos, tal como señala la base teórica que relaciona la CE con el impacto en la fertilidad del suelo.

En cuanto a los Sólidos Totales (ST), se observó una variabilidad extrema durante el periodo de estudio, con un pico inicial de 11 840 mg/L en la muestra C del primer mes y una posterior tendencia a estabilizarse en valores menores, aunque aún elevados (por ejemplo, 1245 mg/L en el punto A del sexto mes). Esta fluctuación inicial puede atribuirse a factores como la heterogeneidad de los residuos, eventos de lluvia que favorecen la lixiviación diferencial, o cambios operativos en el botadero. La posterior disminución y estabilización relativa sugiere un agotamiento progresivo de la fracción más lábil de sólidos. No obstante, la persistencia de concentraciones por encima de 1 000 mg/L en varios puntos evidencia una carga considerable de material particulado y disuelto, lo que coincide con lo reportado por Asouam et al. (2021), quienes midieron sólidos totales de hasta 9.696 mg/L en lixiviados de vertedero. Esta carga elevada puede reducir la permeabilidad del suelo, favorecer la sedimentación en cuerpos de agua y, en conjunto con la alcalinidad y la conductividad, potenciar el deterioro de la calidad ambiental en el entorno del botadero.

Los resultados correspondientes a la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los indicadores microbiológicos evidencian una carga contaminante orgánica y biológica de magnitud considerable en los lixiviados del botadero de Izcutaco, con implicancias directas para la calidad de los ecosistemas receptores. En relación con la carga orgánica, los valores extremadamente elevados de  $DBO_5$ , hasta 5785 mg/L, y DQO, hasta 28 887 mg/L, confirman que los lixiviados contienen una concentración alta de materia orgánica, tanto biodegradable como recalcitrante. Estos hallazgos se alinean con los reportados en la literatura internacional; por ejemplo, Asouam et al. (2021) registraron en Marruecos valores de  $DBO_5$  de 43 251 mg/L y DQO de 90 240 mg/L, indicando una contaminación orgánica masiva en lixiviados no tratados. A nivel nacional, Zegarra (2022) también documentó en una quebrada impactada por concentraciones de lixiviados de DQO muy por encima de los límites normativos. La fluctuación observada en los valores de  $DBO_5$ , con un pico en el cuarto mes seguido de una tendencia a la baja, puede atribuirse a cambios en la composición de los residuos, condiciones climáticas o a la heterogeneidad intrínseca de los procesos de descomposición dentro del botadero. La magnitud de estos valores es indicativa de una baja biodegradabilidad en la fase madura del lixiviado, donde predominan compuestos húmicos y fúlvicos de difícil degradación biológica (Teng et al., 2021). Esta característica plantea un desafío técnico significativo, ya que limita la eficacia de los tratamientos biológicos convencionales y respalda la necesidad de implementar tecnologías combinadas o avanzadas, tal como concluyó Mojiri et al. (2021).

Respecto a los parámetros microbiológicos, la dinámica observada evidencia un incremento significativo a partir del cuarto mes. En el caso de los Coliformes Totales, durante los tres primeros meses se registraron valores bajos e incluso por debajo del límite de detección ( $<1.8$  NMP/100 mL), con algunos picos aislados (70.0 y 220.0 NMP/100 mL en el mes 1 y 67.0 y 65.0 NMP/100 mL en el mes 3); sin embargo, a partir del mes 4 se observa un aumento marcado, alcanzando concentraciones entre 753.0 y 950.0 NMP/100 mL, las cuales continúan incrementándose en el mes 5 (hasta 1100.0 NMP/100 mL) y se mantienen elevadas en el mes 6 (hasta 988.0 NMP/100 mL). Este comportamiento refleja un proceso progresivo de contaminación fecal, asociado a la acumulación y descomposición de residuos domésticos y de origen animal en el botadero, así como a la generación y lixiviación de contaminantes hacia el medio. Los resultados obtenidos contrastan con estudios donde se han implementado estrategias de reducción y control de contaminantes, como el de Soto (2023), quien logró reducir significativamente patógenos mediante el uso de carbón activado de cáscara de coco; no obstante, coinciden plenamente con las advertencias de Shen et al. (2023) sobre la persistencia y el riesgo de migración de patógenos y genes de resistencia desde los lixiviados hacia los acuíferos. La presencia y el aumento de estos indicadores en Izcutaco confirman un elevado riesgo sanitario, ya que señalan la posible ocurrencia de patógenos entéricos que pueden contaminar suelos, aguas superficiales y subterráneas, con implicancias directas para la salud pública de las comunidades aledañas y la integridad de los ecosistemas, tal como lo documentó Quintero (2022) en su evaluación de impactos en Huanta.

El recuento de Hongos y Levaduras se mantuvo constante en el límite mínimo de detección (1 UFC/mL) durante todo el periodo, lo que indica que estos microorganismos no constituyen un componente relevante en la dinámica microbiana de estos lixiviados. Esta baja presencia puede atribuirse a las condiciones ambientales desfavorables creadas por el pH alcalino, la alta competencia bacteriana y la posible presencia de metabolitos inhibitorios, lo que limita el desarrollo de comunidades fúngicas significativas.

Por otro lado, respecto a la evaluación comparativa de los parámetros de suelo y agua con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) correspondientes permite dimensionar el grado de contaminación y el potencial impacto ambiental generado por los lixiviados del botadero de Izcutaco en los medios receptores aledaños. En cuanto al suelo, el análisis de los puntos S1, S2 y S3, para los metales pesados (Cadmio, Cromo total y Plomo), ninguna de las muestras superó los límites máximos permisibles establecidos en el ECA para Suelo Agrícola (D.S. N° 011-2017-MINAM). Este hallazgo sugiere que, desde una perspectiva normativa estricta, la contaminación por estos metales no constituye una infracción; sin embargo, es importante contextualizar estos resultados. Estudios como el de Fernández y Villanueva (2020) en San Martín documentaron superaciones significativas de cadmio, cromo y plomo en suelos cercanos a botaderos, lo que contrasta con los niveles relativamente bajos encontrados en Izcutaco. No obstante, la situación es preocupante en otros frentes: los puntos S2 y S3 presentaron un pH de 8.66 y 8.26, respectivamente, valores que exceden el rango óptimo para suelos agrícolas (6.0 – 7.5). Esta alcalinización, coherente con el pH alcalino de los lixiviados maduros

caracterizados, puede reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales, afectar la actividad microbiana edáfica y alterar la estructura del suelo, comprometiendo su fertilidad a largo plazo, tal como señala la base teórica (Díaz et al., 2023).

Respecto a la calidad del agua en los puntos G1, G2 y G3, la comparación con los ECA para Agua de la Categoría 3 (Riego de vegetales y Bebida de animales, D.S. N° 004-2017-MINAM) muestra un escenario de riesgo focalizado. El parámetro más crítico resultó ser el pH, donde G1 (8.42) y G3 (9.52) excedieron los rangos permisibles para ambos usos (6.5 – 8.5 para riego y 6.5 – 8.4 para bebida animal). Esta alcalinización directa del recurso hídrico es un reflejo claro de la influencia de los lixiviados y coincide con las alteraciones reportadas por Quintero (2022) en el botadero de Huanta, donde también se encontraron aguas con pH alterado. Asimismo, la Conductividad Eléctrica en el punto G1 (2849.67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) superó el límite para riego no restringido de vegetales (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), indicando un riesgo de salinización para cultivos sensibles. Por otro lado, la concentración de Manganeso en el punto G2 (0.26 mg/L) excedió el límite de 0.2 mg/L establecido tanto para riego como para bebida animal, lo que representa un riesgo de toxicidad para plantas y posibles efectos en la salud animal por bioacumulación. Sin embargo, los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) se mantuvieron muy por debajo de los límites en todos los puntos, a diferencia de lo reportado por Zegarra (2022), quien encontró altas cargas microbianas en aguas impactadas por lixiviados.

La relación observada entre la composición de residuos sólidos municipales y las características de los lixiviados del botadero de Izcutaco, en primer lugar, se

caracteriza por la predominancia de residuos orgánicos (80.005%), principalmente de alimentos (52.325%) y maleza (49.380%), explica los elevados valores de DQO detectados, los cuales superaron los 26,000 mg/L en la fase alcalina. Este hallazgo concuerda con lo señalado por Asouam et al. (2021) en el vertedero de Tamelast (Marruecos), donde lixiviados con alta carga orgánica (DQO hasta 90,240 mg/L) se asociaron a una composición dominante de residuos orgánicos urbanos. Asimismo, la fuerte correlación positiva entre DQO y pH ( $r = 0.744$ ;  $p < 0.001$ ) sugiere que la materia orgánica recalcitrante se concentra en la fase de estabilización alcalina, patrón que también fue descrito por Podlasek et al. (2023), quienes reportaron que lixiviados maduros presentan menor biodegradabilidad, pero mayor carga de sólidos disueltos y compuestos refractarios.

La significativa presencia de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, junto con su alta correlación con la DQO ( $r = 0.837$  y  $r = 0.810$ , respectivamente), puede atribuirse a la disposición de residuos sanitarios (4.425%) y a la materia orgánica de origen fecal presente en los residuos domiciliarios. Este resultado es coherente con lo observado por Zhao et al. (2021) en vertederos chinos, donde la comunidad microbiana estuvo dominada por bacterias asociadas a la degradación de materia orgánica y a ambientes con alta carga nutricional. No obstante, la detección de estos indicadores fecales incluso en la fase alcalina contrasta parcialmente con lo reportado por Shen et al. (2023), quienes señalaron que ciertas estrategias avanzadas de reducción y control pueden reducir patógenos; en Izcutaco, la ausencia de medidas de manejo y control ambiental explicaría la persistencia de estos microorganismos a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la débil correlación de los sólidos totales y la conductividad eléctrica con el resto de parámetros sugiere que estos responden a fuentes distintas a la degradación de la materia orgánica, probablemente asociadas a la fracción inorgánica de los residuos. Los plásticos (8.750%), los residuos inertes (4.285%) y los metales (2.850%) podrían contribuir a la lixiviación de sales, iones y partículas finas, tal como se ha documentado en estudios como el de Mojiri et al. (2021), donde la presencia de materiales no biodegradables incrementa la carga de sólidos y la conductividad en lixiviados. Este comportamiento también fue observado por Quintero (2022) en Huanta, quien reportó aumentos significativos en la conductividad y en metales pesados en suelos impactados por lixiviados.

Finalmente, la correlación negativa entre  $DBO_5$  y pH ( $r = -0.626$ ;  $p = 0.005$ ) confirma que la biodegradabilidad es mayor en la fase ácida inicial, característica de lixiviados jóvenes con alta proporción de materia orgánica lábil. Este resultado está en línea con lo descrito por Teng et al. (2021), quienes indican que la relación  $DBO/DQO$  disminuye con la maduración del lixiviado, y con lo observado por Ortiz (2022) en Cajamarca, donde los lixiviados sin ningún tipo de manejo mostraron alta  $DBO$  en etapas iniciales de descomposición. En conjunto, los resultados evidencian que la composición específica de residuos de Izcutaco, con predominio de orgánicos, pero con presencia significativa de materiales no biodegradables, determina un perfil de lixiviado complejo, con alta carga orgánica, elevada presencia microbiana y contribución diferenciada de sólidos y sales, lo cual resalta la necesidad de considerar la caracterización local de residuos para diseñar estrategias de gestión y control ambiental adecuados y reducir el impacto

ambiental en suelos y aguas circundantes.

En contraste con la hipótesis planteada, los resultados obtenidos confirman que los lixiviados del botadero de Izcutaco superan los límites máximos permisibles establecidos en el ECA para Agua Categoría 3 del Ministerio del Ambiente, evidenciando un impacto ambiental significativo. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Zegarra (2022) y Quintero (2022), quienes identificaron afectaciones en cuerpos de agua y suelos asociadas a la elevada carga orgánica y a alteraciones en el pH provenientes de botaderos municipales. Asimismo, los valores significativamente superiores de  $\text{DBO}_5$  y DQO encontrados en el presente estudio guardan similitud con lo descrito por Asouam et al. (2021), quienes señalaron que lixiviados con alta concentración de materia orgánica representan un riesgo considerable para los ecosistemas por su capacidad de disminuir el oxígeno disponible y alterar el equilibrio natural. De igual manera, las concentraciones elevadas de coliformes termotolerantes y la detección de *Escherichia coli* concuerdan con lo expuesto por Shen et al. (2023), quienes advierten que estos microorganismos pueden persistir en el ambiente y migrar hacia fuentes hídricas superficiales o subterráneas, constituyendo un riesgo sanitario. En ese sentido, los resultados no solo respaldan la hipótesis general de la investigación, sino que también se alinean con la evidencia nacional e internacional, confirmando que la composición fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados determina su potencial impacto ambiental.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

La caracterización fisicoquímica de los lixiviados generados en el botadero de Izcutaco permitió determinar que estos presentan una evolución temporal de los parámetros fisicoquímicos, del cual el pH mostró una transición definida desde condiciones iniciales ácidas/neutras (4.60 – 6.50) hacia una alcalinidad pronunciada (9.10 - 9.58) en los últimos meses, indicando el paso a una fase metanogénica madura. La Conductividad Eléctrica, tras una variabilidad inicial, se estabilizó en un rango de 35.50 a 41.12  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , reflejando una liberación constante de sales. Los Sólidos Totales exhibieron una alta variabilidad inicial, con un pico de 11 840 mg/L, para luego tender a valores más homogéneos, aunque aún elevados (1245 mg/L), lo que denota una carga significativa de material particulado. En conjunto, estos parámetros confirman que los lixiviados poseen las características típicas de un efluente maduro, con potencial para modificar las propiedades químicas y físicas de los suelos y aguas receptores.

El análisis de los parámetros de materia orgánica y microbiológicos evidenció que los lixiviados del botadero presentan una carga contaminante orgánica elevada y una tendencia creciente de contaminación fecal. Los valores de  $\text{DBO}_5$ , que alcanzan hasta 5785 mg/L, y de DQO, hasta 28 887 mg/L, reflejan la presencia de una alta concentración de materia orgánica tanto biodegradable como no biodegradable, característica de sistemas sin tratamiento. En cuanto a los Coliformes Totales, se observó una dinámica progresiva, con valores bajos e incluso por debajo del límite de detección durante los tres primeros meses, seguidos de un incremento significativo a partir del cuarto mes, donde se registraron

concentraciones entre 753.0 y 950.0 NMP/100 mL, alcanzando un máximo de 1100.0 NMP/100 mL en el mes 5 y manteniéndose elevados en el mes 6. Esta dinámica evidencia una significativa contaminación de origen fecal, asociada a la disposición de residuos domésticos; por el contrario, los Hongos y Levaduras se mantuvieron en niveles mínimos, sin representar un componente relevante. Estos resultados confirman que los lixiviados representan un severo riesgo de eutrofización, consumo de oxígeno y contaminación patógena para los cuerpos de agua cercanos.

La evaluación del grado de contaminación en suelo y agua demostró un impacto ambiental significativo, caracterizado principalmente por la alteración fisicoquímica de los medios receptores. En el suelo, si bien los metales (Cadmio, Cromo, Plomo) no superaron los límites del ECA para uso agrícola, se detectó una marcada alcalinización (pH hasta 8.66). En el agua, los puntos G1 y G3 presentaron pH alcalino (8.42 y 9.52) fuera de los rangos permisibles para riego y bebida animal; asimismo, el punto G1 mostró conductividad eléctrica elevada (2849.67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que excede el límite para riego no restringido, y el punto G2 registró una concentración de Manganeseo (0.26 mg/L) por encima del estándar. En contraste, la contaminación microbiológica del agua fue baja y los demás metales se encontraron en concentraciones no preocupantes. Se concluye que el impacto ambiental principal deriva de la alcalinización y salinización inducidas por los lixiviados, lo que puede degradar la calidad agronómica del suelo, afectar la productividad agrícola y comprometer la aptitud del agua para usos pecuarios, exigiendo la implementación de medidas de control y remediación.

Finalmente, se estableció una relación entre la composición de residuos sólidos municipales y las características de los lixiviados en el botadero de Izcutaco. El predominio de residuos orgánicos (80.005%) explicó los altos valores de DQO de hasta 28 887 mg/L y la elevada carga microbiológica (coliformes termotolerantes >800 NMP/100mL). La fuerte correlación positiva entre pH y DQO ( $r = 0.744$ ) confirmó que la materia orgánica recalcitrante se concentra en la fase alcalina de degradación. La presencia significativa de residuos sanitarios (4.425%) y plásticos (8.750%) contribuyó a la persistencia de indicadores fecales y a la carga de sólidos. En conjunto, la composición específica de los residuos determina un perfil de lixiviado complejo que requiere manejo diferenciado.

## CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar la información obtenidas para elaborar estrategias de manejo y control ambiental en el botadero: confinar adecuadamente los residuos, impermeabilizar el suelo y recolectar los lixiviados de forma segura, para evitar que se escurran o infiltren en el entorno y causen contaminación. Asimismo, es imperativo establecer un programa de monitoreo continuo y a largo plazo de los parámetros fisicoquímicos (pH, CE, ST), con una frecuencia mínima trimestral, para detectar cambios bruscos en la composición del lixiviado que puedan indicar nueva actividad de descomposición o alteraciones operativas en el botadero. Además, se sugiere realizar estudios de infiltración y lixiviación en el área del botadero para evaluar la velocidad de migración de estos contaminantes hacia el subsuelo y los acuíferos subterráneos, lo cual es fundamental manejo de control, monitoreo, prevención, educación, prevención así como para orientar programas de educación ambiental que ayuden a reducir el problema de su origen.

Por otro lado, considerando la elevada carga orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO) y la creciente contaminación microbiológica fecal identificada, se recomienda priorizar acciones de manejo y control ambiental adecuado, es crucial mejorar la segregación de residuos en la fuente, con énfasis en la separación de materia orgánica doméstica y residuos de origen animal, para reducir la carga fecal inicial que ingresa al botadero y, por ende, la proliferación de coliformes y *E. coli*. Adicionalmente, se sugiere evaluar alternativas complementarias de desinfección, como la cloración controlada o el uso de radiación UV, especialmente en períodos donde los indicadores microbiológicos muestren picos, para mitigar el riesgo sanitario

asociado a la posible migración de patógenos.

Para mitigar el riesgo sanitario por la posible migración de patógenos y reducir el impacto ambiental en suelos y cuerpos de agua, se recomienda que la Municipalidad Provincial de Huanta y la Autoridad Ambiental Regional implementen prácticas de remediación en suelos alcalinizados mediante enmiendas orgánicas (compost) o azufre para corregir el pH y restaurar la fertilidad. Asimismo, se sugiere establecer zonas de amortiguamiento y franjas ripiarias aguas abajo de los puntos G1 y G3 con especies vegetales nativas tolerantes a salinidad y alcalinidad, favoreciendo la fitorremediación y limitando la dispersión de contaminantes. La Dirección Regional de Agricultura debe regular el uso del agua del punto G1, restringiéndola a cultivos tolerantes a salinidad y evitando su aplicación en hortalizas de consumo crudo, con un monitoreo continuo de su calidad. Finalmente, se recomienda desarrollar un Plan de Monitoreo Ambiental Participativo con la comunidad local, que permita la vigilancia periódica de la calidad del agua y suelo, facilite la detección temprana de focos de contaminación y fortalezca la gestión ambiental a nivel local.

Se recomienda que la Municipalidad Provincial de Huanta implemente un sistema de caracterización periódica de residuos sólidos (trimestral o semestral) vinculado al monitoreo continuo de los lixiviados, con el objetivo de establecer correlaciones temporales más precisas y anticipar variaciones en la carga contaminante. Dada la alta proporción de materia orgánica, se sugiere priorizar alternativas de manejo y reducción de carga contaminante, como humedales artificiales o biorreactores anaerobios, para la reducción de DQO, DBO y patógenos,

complementadas con procesos fisicoquímicos, como coagulación-floculación, para la remoción de sólidos y metales. Asimismo, se debe promover la segregación de residuos en la fuente, reduciendo la disposición de residuos sanitarios, plásticos de un solo uso y materiales inertes, lo que disminuirá la carga de sólidos y la lixiviación de sustancias no biodegradables. Finalmente, estos resultados deben integrarse en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del distrito, orientando la planificación e inversión en medidas de manejo de control y reducción de impactos de lixiviados con base en la composición y dinámica real de los residuos dispuestos.

## CAPITULO VII: REFERENCIAS

- Abad, J. (2023). *Implementación de un plan de manejo y minimización de residuos sólidos en la empresa "Fargoline S.A"*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/4417/ABAD%20ANTAURO%20JULISSA%20ROMINA%20-%20TITULO%20PROFESIONAL.pdf?sequence=1>
- Asouam, S., Arabi, M., Faik, F., El Morjani, Z., Abioui, M., Diaz, L. y Kostyuchenko, Y. (2021). Physicochemical Characterization of the Leachate of the Tamelast Landfill Site, Grand Agadir (Morocco). *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22 (5), 65-72. <https://doi.org/10.12912/27197050/139338>
- Campisano, R., Hall, K., Griggs, J., Willison, S., Reimer, S., Mash, H., Magnuson, M., Boczek, L., & Rhodes, E. (2017). *Métodos Analíticos Seleccionados para la Remediación y Recuperación Ambiental (SAM) 2017*. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D. C., [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_file\\_download.cfm?p\\_download\\_id=535984&Lab=NHSRC](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=535984&Lab=NHSRC)
- Chura, Y. (2019). *Tratamiento de Lixiviados Y Gases De Los Residuos Sólidos Del Botadero De La Ciudad De Puno Mediante El Proceso De Aditivos Tensioactivos* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. [https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/22118/Chura\\_Laur](https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/22118/Chura_Laur)

a\_Yesica.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Condorchem Enviro Solutions., (2025). *Tratamiento de lixiviados de vertedero.*

<https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-lixiviados-de-vertedero/>

Díaz, M. A. A., Giraldo, J. P. M., Roa, C. A. P., Solano, D. P. T., & Pinto, R. A. E.

(2022). Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de tipo vertical para el tratamiento del lixiviado producto del compostaje. *Revista Matices Tecnológicos*, 14, 7-12.

<http://138.117.111.22/index.php/revistamaticestecnologicos/article/view/505/566>

Fernández, D., & Villanueva, J. W. (2020). *Influencia de los lixiviados del botadero*

*municipal en la calidad del suelo para uso agrícola, distrito de San Antonio de Cumbaza, Provincia de San Martín – San Martín.* [Tesis de grado,

Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio digital UCV.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63528>

Hernández, R. et al (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill

Education.

[https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion\\_sampieri\\_6a\\_ED.pdf](https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_sampieri_6a_ED.pdf)

ISO 5667-3. (2018). *Preservation and handling of water samples.* INTERNATIONAL STANDARD.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/72370/f14697ed4db749b19e49f68ca7>

b77530/ISO-5667-3-2018.pdf

- Kaza, S., et al. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>
- León, J. G., & Andrade, B. F. (2021). Tratamiento biológico complementario para lixiviados como alternativa para mitigar la contaminación ambiental. Caso: botadero “Curgua”. *Polo del conocimiento*, 6(6), 1099-1115. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2807>
- Merino, A. S. (2022). *Caracterización fisicoquímica de los lixiviados en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca, año 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/32954>
- Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2021). *Informe sobre la gestión de residuos sólidos en el Perú*. <https://site.minam.gob.pe/Informacion>
- Mojiri, A., Zhou, J., Ratnaweera, H., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T., y Asakura, H. (2021). Treatment of landfill leachate with different techniques: an overview. *Water Reuse*, 11 (1), 66–96. <https://doi.org/10.2166/wrd.2020.079>
- Municipalidad Provincial de Huanta (2021). *Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales, Huanta 2021*. Municipalidad Provincial de Huanta.
- Orellana, A. F. (2023). *Evaluación del tratamiento de lixiviados generados en el*

*relleno sanitario Pichacay mediante aplicación de precipitantes químicos y polímeros*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio UCACUE.

<https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/82dc6cdc-52be-49ab-9dbd-6d0bccc9d3c3/content>

Ortiz, L. M. (2022). *Eficiencia del tratamiento de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca 2021*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5443>

Podlasek, A., Vaverková, M., Koda, E., Jakimiuk, A., y Martínez, P. (2023). Characteristics and pollution potential of leachate from municipal solid waste landfills: Practical examples from Poland and the Czech Republic and a comprehensive evaluation in a global context. *Journal of Environmental Management*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117328>

Palomino, A. (2020). *Impacto ambiental del manejo de residuos sólidos del botadero "El Porvenir" - El Tambo*. [Tesis de bachiller, Universidad Continental]. Repositorio Institucional de la Universidad Continental. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8794/4/IV\\_FIN\\_107\\_TI\\_Chucos\\_Palomino\\_2020.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8794/4/IV_FIN_107_TI_Chucos_Palomino_2020.pdf?utm_source=chatgpt.com) palomino 2020

Quintero, F. J. (2022). *Impacto en la calidad del suelo y agua ocasionado por el botadero Municipal del Distrito Huanta, 2020*. [Tesis de grado, Universidad

Nacional Federico Villareal]. Repositorio UNFV.

<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/7230>

Renou, S., et al. (2008). Landfill leachate treatment: *Review and opportunity*. *Journal of hazardous materials*, 150(3), 468-493

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407013593>

Rice, E., Baird, R., & Eaton, A. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

<https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd->

[Perv.pdf](#)

Sancha, M. (2014). *Caracterización físico-química y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero*. [Tesis de maestría, Universidad de Oviedo].

Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo.

[https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/23352?utm\\_source=chatgpt.c](https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/23352?utm_source=chatgpt.com)

[om](#)

Shen, W., Zhang, H., Li, X., Qi, D., Liu, R., Kang, G., Liu, J., Li, N., Zhang, S., y Hu, S. (2023). Pathogens and antibiotic resistance genes during the landfill

leachate treatment process: Occurrence, fate, and impact on groundwater.

*Science of The Total Environment*, 903.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165925>

Soto, C. T. (2023). *Implementación de un filtro a base de carbón activado de cascara*

*de coco para la depuración de lixiviados provenientes del botadero de Chilepampa-Nauyan Rondós, Huánuco, 2022-2023.* [Tesis de grado, Universidad de Huanuco]. Repositorio UDH.  
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4395>

Tanta, P. M. (2023). *Uso de typha latifolia y phragmites australis en el tratamiento de lixiviados del botadero El Guayao.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6003>

Zegarra Chávez, D. (2022). *Evaluación de los parámetros físicos, químicos del agua de la quebrada grande por efecto de la contaminación con los lixiviados en el distrito de sucre-2018.* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5079>

Zhao, R., Liu, J., Feng, J., Li, X., y Li, B. (2021). Microbial community composition and metabolic functions in landfill leachate from different landfills of China. *Science of The Total Environment*, 767.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144861>

# CAPITULO VIII: ANEXO

## Anexo 1

LAA-ADP-F-23  
CADENA DE CUSTODIA- MONITOREO DE AGUAS

**CLIENTE / SOLICITANTE:** Alumnos Ambientales  
**DIRECCIÓN:** Huancayo  
**DIRECCIÓN:** Marco Calderon  
**CONTACTO:** mcaldersn@kolpa.com.pe  
**CORREO ELECTRÓNICO:**  
**TÉLEFONO:**

**PROCESO DE LA MUESTRA:** HUANCAYO  
**PROCESO DE LA MUESTRA:** HUANCAYO  
**PROCESO DE LA MUESTRA:** HUANCAYO

**FECHA:** 02/08/25  
**T. PUNTO:**

**AGENCIADOR:**  
**AGENCIADOR:**

ESTACION DE MUESTREO		MUESTREO		TIPO DE MUESTRA	GEORREFERENCIA (UTM WGS84)	ALTIMETRIA (MSNM)	CANTIDAD DE ENVASES	ANÁLISIS QUÍMICO	ANÁLISIS FÍSICO	PH	CONDUCTIVIDAD	T. AMBIENTE	T. PUNTO	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN
CODIGO	DESCRIPCIÓN	FECHA	HORA																
AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL	02/08/25	10:00	AR-16			1	✓	✓	✓	✓			6.49	0.31	362	adn		
AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL	02/08/25	10:00	AR			1	✓	✓	✓	✓			7.24	4.16	617	adn		
							Total de envases	2											

**1) Nivelar el cuadro para el Tipo de Muestra:**

**2) Equipos de campo utilizados:**

Nombre	Marca	Código Interno

**3) Procedimiento de muestreo utilizado:**

**4) Observaciones (cliente):**

**5) Envasado seleccionado:**

Muestras dentro del tiempo máximo de conservación  
 Condiciones de preservación (pH)  
 Condiciones de conservación (T)

**Nota:** En caso de No Conformidad(No) especificar en situación de Observaciones

C. Conforme    No. No conforme

**Información proporcionada por:** Muestreado por EL CLIENTE

**Firma del Supervisor en campo (o cliente):**

**Fecha de Recepción de Muestra:**

LAA-ADP-F-23  
CADENA DE CUSTODIA- MONITOREO DE AGUAS

**CLIENTE / SOLICITANTE:** Alumnos Ambientales  
**DIRECCIÓN:** Huancayo  
**DIRECCIÓN:** Marco Calderon  
**CONTACTO:** mcaldersn@kolpa.com.pe  
**CORREO ELECTRÓNICO:**  
**TÉLEFONO:**

**PROCESO DE LA MUESTRA:** HUANCAYO  
**PROCESO DE LA MUESTRA:** HUANCAYO  
**PROCESO DE LA MUESTRA:** HUANCAYO

**FECHA:** 02/08/25  
**T. PUNTO:**

**AGENCIADOR:**  
**AGENCIADOR:**

ESTACION DE MUESTREO		MUESTREO		TIPO DE MUESTRA	GEORREFERENCIA (UTM WGS84)	ALTIMETRIA (MSNM)	CANTIDAD DE ENVASES	ANÁLISIS QUÍMICO	ANÁLISIS FÍSICO	PH	CONDUCTIVIDAD	T. AMBIENTE	T. PUNTO	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN	COND. DE PRESERVACIÓN
CODIGO	DESCRIPCIÓN	FECHA	HORA																
AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL	02/08/25	11:00	AS			1	✓	✓	✓	✓			9.70	6.37	631	adn		
							Total de envases	1											

**1) Nivelar el cuadro para el Tipo de Muestra:**

**2) Equipos de campo utilizados:**

Nombre	Marca	Código Interno

**3) Procedimiento de muestreo utilizado:**

**4) Observaciones (cliente):**

**5) Envasado seleccionado:**

Muestras dentro del tiempo máximo de conservación  
 Condiciones de preservación (pH)  
 Condiciones de conservación (T)

**Nota:** En caso de No Conformidad(No) especificar en situación de Observaciones

C. Conforme    No. No conforme

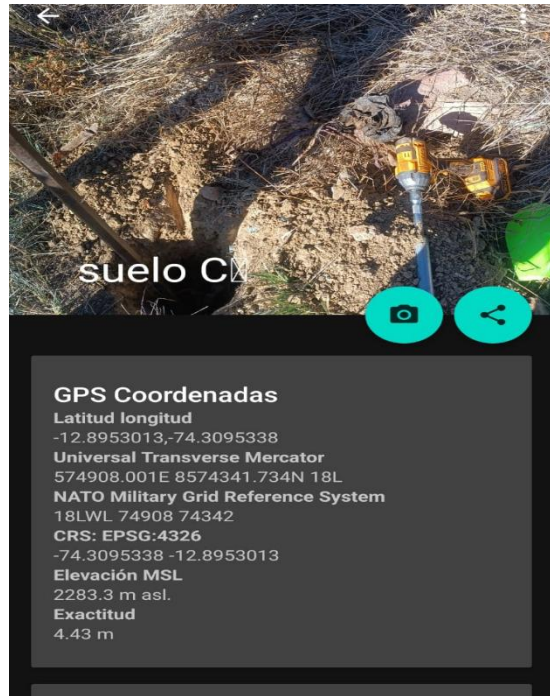
**Información proporcionada por:** Muestreado por EL CLIENTE

**Firma del Supervisor en campo (o cliente):**

**Fecha de Recepción de Muestra:**

Cadena de custodia del monitoreo del agua

## Anexo 2



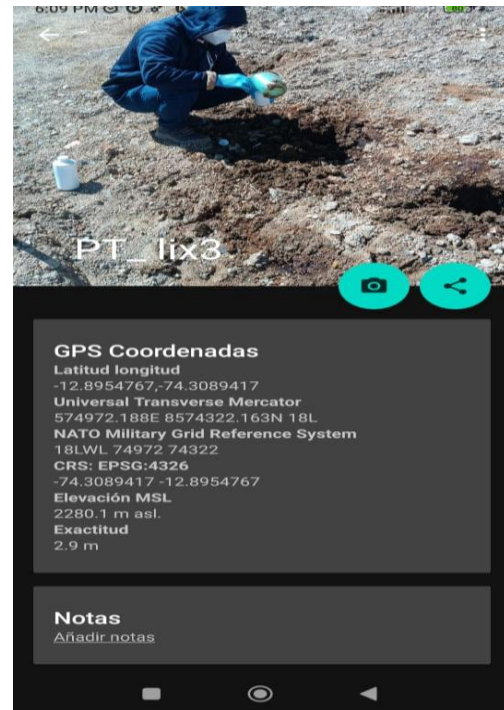
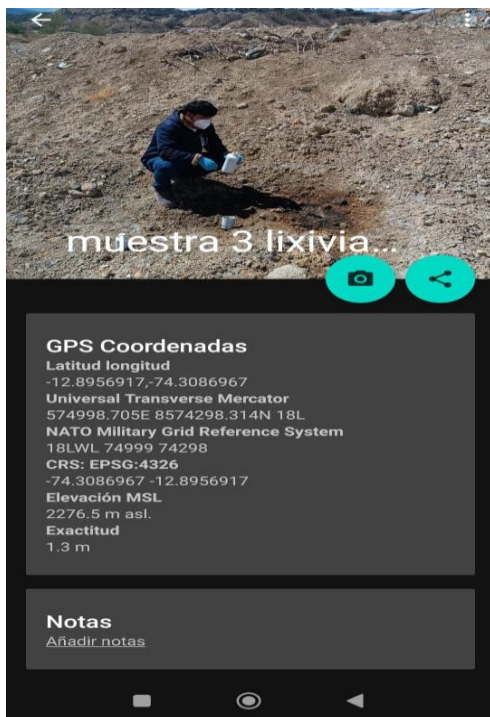
puntos de muestras de suelo



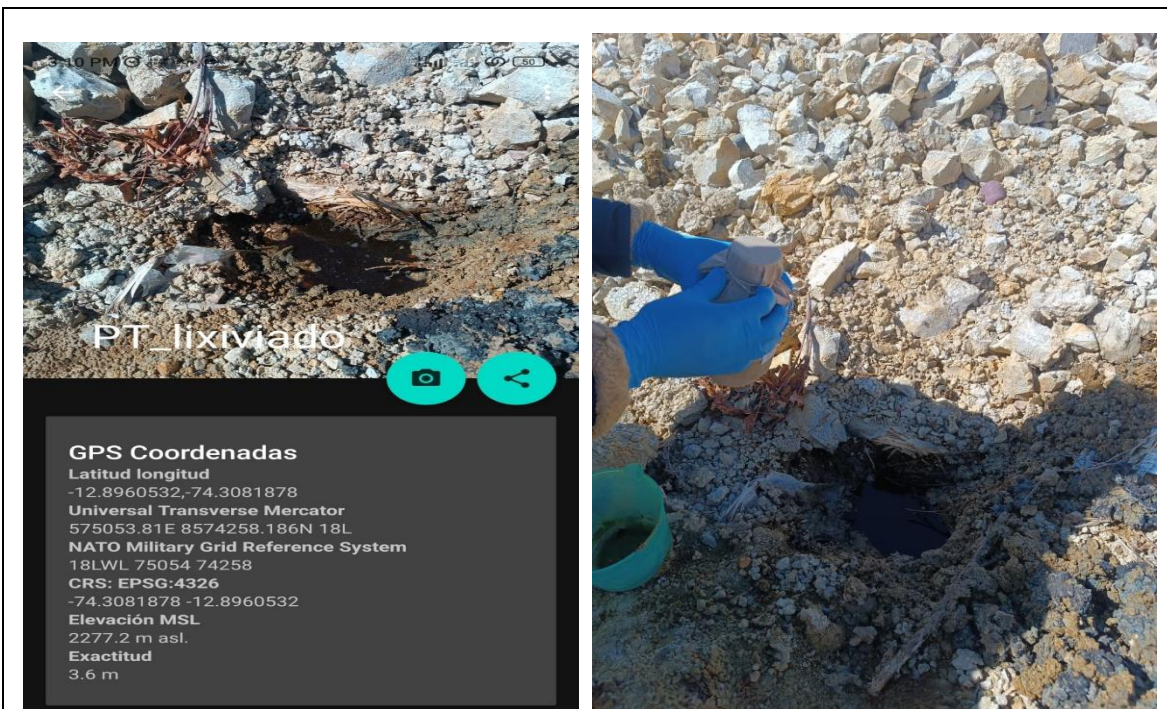
Extracción de muestras de suelo



Recolección de muestras de lixiviados



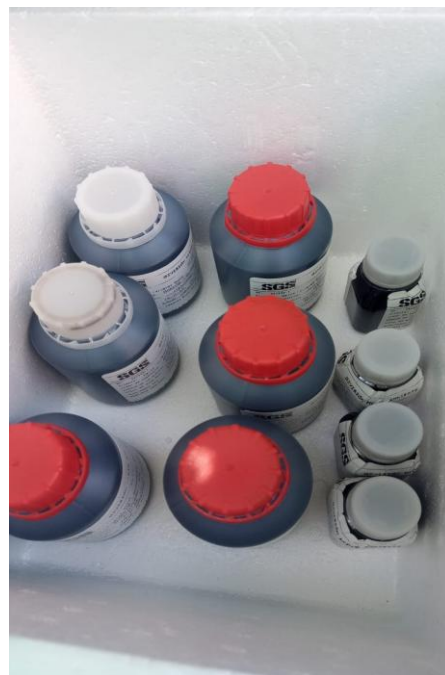
Puntos de muestreo de lixiviado



Puntos de muestras de lixiviado



Envases para muestras de lixiviado



## Anexo 3

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002</b>	 <small>Registro N° LE - 002</small>			
<b>INFORME DE ENSAYO MA2543021-AC-0</b>					
<b>CARDENAS ROJAS DAVID</b>					
JR.GERVASIO SANTILLANA CUADRA 14 PASAJE LOS GIRASOLES NÚMERO 49 Y50 - AYACUCHO - HUANTA - HUANTA					
ENV / LB-357332-004					
PROCEDENCIA : Botadero Municipal de Huanta					
<p>Fecha de Recepción SGS : 15-11-2025</p> <p>Fecha de Ejecución : Del 15-11-2025 al 26-11-2025</p> <p>Muestreo Realizado Por : CLIENTE</p>					
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;"><b>Estación de Muestreo</b></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Lixiviado 6M</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Lixiviado 7M</td></tr> </table>			<b>Estación de Muestreo</b>	Lixiviado 6M	Lixiviado 7M
<b>Estación de Muestreo</b>					
Lixiviado 6M					
Lixiviado 7M					
<p><b>Emitido por SGS del Perú S.A.C.</b></p> <p><b>Impreso el 26/11/2025</b></p>					
 <b>Frank M. Julcamoro Quispe</b> <small>C.Q.P. 1033</small> <b>Supervisor de Laboratorio</b>	 <b>Elizabeth V. Capuñay España</b> <small>C.B.P 8508</small> <b>Coordinador de Laboratorio Microbiología</b>				
<p>*Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC*</p> <p>Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez. <span style="float: right;">Página 1 de 5</span></p>					
	<p><b>SGS del Perú S.A.C.</b>   Av. Elmer Faucett 3348 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe  Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pt.servicios@sgs.com  Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092</p> <p style="text-align: right; font-size: x-small;">Miembro del Grupo SGS</p>				

Informe de ensayo de laboratorio SGS

**INFORME DE ENSAYO N° MA10030188  
CON VALOR OFICIAL**

**Nombre del Cliente** : DAVID CARDENAS ROJAS  
**Domicilio Legal** : CAL.INDEPENDENCIA NRO. 452 LIMA - LIMA - MIRAFLORES  
**Solicitado Por** : DAVID CARDENAS ROJAS  
**Referencia** : MONITOREO DE CALIDAD DE SUELO

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Procedencia</b>	: HUANTA-AYACUCHO	<b>Fecha Inicio de Muestreo</b>	: 03/10/2025
<b>Muestreo</b>	: Realizado por el Cliente	<b>Fecha de Recepción</b>	: 03/10/2025
<b>Procedimiento de Muestreo</b>	: Realizado por el Cliente	<b>Fecha Inicio Ensayo</b>	: 03/10/2025
<b>Plan de Muestreo</b>	: Realizado por el Cliente	<b>Fecha Fin Ensayo</b>	: 010/10/2025
<b>Cantidad de Muestras</b>	: 1		
<b>Condición de la Muestra</b>	: Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados		

Página 1

  
**Gloria Uturunco Mamani**  
Supervisor de Lab. Químico  
XERTEK LIFE S.A.C.

**METODOS DE ENSAYO**



Anexo 4

			(Us/cm)	(mg/l)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
<b>SUELO</b>	1 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA25070182.01	1A	pH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
		MA25080212.01	1B	pH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
		MA25080299.01	1C	pH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
	2 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA22090214.01	2A	PH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
		MA25080212.01	2B	PH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
		MA03100302.01	2C	PH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
	3 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA03100182.01	3A	PH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
		MA07100220.01	3B	PH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc
		MA09100304.01	3C	PH	CE	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc

			(mg/l)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	NMP	100ml
<b>AGUA</b>	1 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA25070192.01	1A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
		MA25080211.01	1B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
		MA25080297.01	1C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
	<u>LABORATORIO MINERA KOLPA</u>		.....	PH	CE (Us/cm)											
	2 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA17090195.01	2A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
		MA22090214.01	2B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
		MA30090300.01	2C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
	<u>LABORATORIO MINERA KOLPA</u>		.....	PH	CE (Us/cm)											
	3 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA05100215.01	3A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
		MA07100215.01	3B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
		MA09100220.01	3C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Niquel	Plomo	Zinc	coliformes fecales		
	<u>LABORATORIO MINERA KOLPA</u>		.....	PH	CE (Us/cm)											

Código de laboratorio XERTEX y SGS – Suelo y Agua.

Anexo 5

LIXIVIADO	1 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA25070194.01	1A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA25080210.01	1B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA25090238.01	1C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
	<b>LABORATORIO MINERA KOLPA</b>		.....		PH	CE (Us/cm)								
	1 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA16070118.01	1A	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA09080122.01	1B	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA08090134.01	1C	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
	2 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA03100212.01	2A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA05100214.01	2B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA03100230.01	2C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
	<b>LABORATORIO MINERA KOLPA</b>		.....		PH	CE (Us/cm)								
	2 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA17090141.01	2A	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA17100169.01	2B	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA04100175.01	2C	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
	3 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA10100269.01	3A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA17100270.01	3B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA28100274.01	3C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
	<b>LABORATORIO MINERA KOLPA</b>		.....		PH	CE (Us/cm)								
	3 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA04100198.01	3A	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA17100201.01	3B	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA28100204.01	3C	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
	4 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA02110255.01	4A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA07110262.01	4B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
		MA07110262.01	4C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc	
	<b>LABORATORIO MINERA KOLPA</b>		.....		PH	CE (Us/cm)								
	4 M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA02110207.01	4A	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA08110212.01	4B	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
		MA25110232.01	4C	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.							
5M (COD. DE LABORATORIO DE XERTEX)	MA13120271.01	5A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc		
	MA13120271.01	5B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc		
	MA20120280.01	5C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc		
<b>LABORATORIO MINERA KOLPA</b>		.....		PH	CE (Us/cm)									
5M (COD. DE LABORATORIO DE SGS)	MA30110238.01	5A	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.								
	MA05120240.01	5B	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.								
	MA2543021-AC-0	5C	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.								
6M (COD. DE LABORATORIO DE SGS)	MA2543020-NA-0	6A	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc		
	MA2846021-AC-0	6B	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc		
	MA2846022-AC-0	6C	TSS	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Manganeso	Níquel	Plomo	Zinc		
<b>LABORATORIO MINERA KOLPA</b>		.....		PH	CE (Us/cm)									
6M (COD. DE LABORATORIO DE SGS)	MA2846021-AC-0	6A	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.								
	MA2846022-NA-0	6B	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.								
	MA2846023-NA-0	6C	Ecoli	Salmonella		Hongos levaduras.								

Código de laboratorio XERTEX y SGS – Lixiviado