UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTA DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

T E S I S

Evaluación de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Bach. Litkhi Merari HUAMAN PERALTA

Bach. Dayana Scolly ORIZANO MESIAS

Asesor:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Oxapampa – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTA DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

T E S I S

Evaluación de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Hitlser Juan CASTILLO PAREDES
PRESIDENTE

Mg. Jorge Zuriel CURI AGUIRRE
MIEMBRO

Mg. Elías Filimon VENTOCILLA ESTRELLA
MIEMBRO

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 070-2026-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Litkhi Merari HUAMAN PERALTA

Bach. Dayana Scolly ORIZANO MESIAS

Escuela de Formación Profesional:

Ingeniería Ambiental

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo:

Evaluación de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024

Asesor

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Índice de Similitud

4 %

Calificativo:

APROBADO

Se adjunta el informe y el reporte de evaluación del software Turnitin Similarity.

Cerro de Pasco, 14 de setiembre del 2026

Firma Digital UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN [AVANZADA]

Firmado digitalmente por PALOMINO ISIDRO Ruben Edgar FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14.09.2026 11:18:47 -05:00

DEDICATORIA

A mis queridos padres y hermanos, por su amor incondicional, sus consejos sabios y el ejemplo de esfuerzo y perseverancia que me han guiado en cada paso de mi vida. Este logro es tan mío como suyo, porque sin su apoyo constante no habría sido posible.

Con todo mi cariño y gratitud.

Autor: Huaman Peralta Litkhi Merari

A mis padres, quienes con su esfuerzo, comprensión y apoyo incondicional me brindaron la fortaleza necesaria para continuar y culminar esta etapa de mi vida profesional. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi mayor inspiración para alcanzar cada una de mis metas.

Autor: Orizano Mesias Dayana Scolly

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero reconocimiento y profunda gratitud a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental – Oxapampa de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, quienes, con su dedicación, experiencia y compromiso académico, contribuyeron de manera significativa a nuestra formación profesional y humana.

A través de sus enseñanzas, orientación y exigencia académica, fortalecieron nuestros conocimientos científicos, técnicos y éticos, permitiéndome desarrollar capacidades fundamentales para el ejercicio responsable de la Ingeniería Ambiental. Cada una de sus lecciones, consejos y experiencias compartidas constituyeron una valiosa fuente de aprendizaje y motivación durante nuestra etapa universitaria.

De manera especial, reconocemos el esfuerzo y vocación de aquellos docentes que, más allá de impartir conocimientos, inculcaron valores de responsabilidad, perseverancia, disciplina y compromiso con la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible. Su acompañamiento académico y humano ha sido esencial para culminar satisfactoriamente esta investigación y alcanzar una de las metas más importantes de mi vida profesional.

Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a nuestro asesor de tesis por su orientación, apoyo y recomendaciones brindadas durante el desarrollo de la presente investigación, así como a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera directa o indirecta en la ejecución de este trabajo.

Finalmente, manifestamos nuestra gratitud a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por habernos formado profesionalmente y fortalecer nuestro compromiso con la investigación y la conservación ambiental.

RESUMEN

La contaminación ambiental del agua por lixiviados de rellenos sanitarios es un problema ambiental significativo. En este estudio se evaluó la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024. Para ello, se realizó un monitoreo de lixiviados dentro del relleno sanitario (PZ1, PZ2, PZ3 y Lixiviados). Cabe mencionar que, ante la ausencia de normativa específica para el análisis de lixiviados a nivel nacional, se vio la necesidad de incluir puntos en el agua superficial (AS-OXA-01 y AS-OXA-02), a fin de contar con referente normativo comparable con los resultados de laboratorio a fin de analizar su calidad. Es por ello que se analizó parámetros fisicoquímicos en el cuerpo receptor y se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua, DS N° 004-2017-MINAM, categoría 3. Los resultados muestran que las concentraciones de los parámetros aceites y grasas, DBO5, DQO, Sulfatos, nitritos, Ph, Temperatura y Conductividad, cumplen con la normativa ambiental aplicada en el cuerpo receptor, por lo que no se están produciendo alteraciones significativas, aquello se relación con la investigación debido a que las concentraciones de dichos parámetros en el lixiviados son aceptables al no generar impactos en el entono.

Palabras Claves: Lixiviados de relleno sanitario, Calidad del agua, Contaminación ambiental, Evaluación fisicoquímica, Parámetros.

ABSTRACT

Environmental water pollution from landfill leachate is a significant environmental problem. This study evaluated the physicochemical quality of leachate from the Gramazú landfill and its impact on the receiving water body (San Jorge River) in 2024. To this end, leachate was monitored within the landfill (PZ1, PZ2, PZ3, and Leachate). It should be noted that, given the lack of specific national regulations for leachate analysis, it was necessary to include surface water sampling points (AS-OXA-01 and AS-OXA-02) to provide a regulatory reference comparable to the laboratory results for analyzing its quality. Therefore, physicochemical parameters in the receiving water body were analyzed and compared with the Environmental Quality Standards (EQS) for water, DS No. 004-2017-MINAM, category 3. The results show that the concentrations of the parameters oils and greases, BOD5, COD, sulfates, nitrites, pH, temperature, and conductivity comply with the environmental regulations applied in the receiving water body, so no significant alterations are occurring. This is related to the research because the concentrations of these parameters in the leachate are acceptable as they do not generate impacts on the environment.

Keywords: Landfill leachate, Water quality, Environmental pollution, Physicochemical evaluation, Parameters.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la generación y disposición final de los residuos sólidos representa un problema significativo para el medio ambiente, aquello ha adquirido mayor relevancia por el incremento poblacional, migraciones y comportamiento de la población. Como alternativa de control se disponen los residuos sólidos en rellenos sanitarios para su disposición final, no obstante, dentro de esta infraestructura se generan lixiviados los cuales contiene concentraciones de materia orgánica, compuestos químicos, microorganismos y otros contaminantes que podrían alterar la calidad de los cuerpos de agua, además investigaciones previas mencionan que la concentración depende del tipo de residuo solidos del cual se genera el lixiviado.

En América, la gestión y control de lixiviados es una problemática ambiental significativa, debido a las limitaciones de normativas existentes para su control y monitoreo. Si bien, en el caso de Perú si existe normativa ambiental vigente enfocado a la protección de los recursos hídricos, como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua DS N° 004-2017-MINAM, sin embargo, no se cuenta con una normativa específica que permita evaluar directamente los límites de la calidad de los lixiviados generados en rellenos sanitarios. Esta situación dificulta la interpretación de resultados obtenidos en los análisis de estos mismos y la determinación de su posible peligro hacia el ambiente.

“Debido a esta limitación normativa, la investigación no se centra únicamente en evaluar el impacto directo de los lixiviados sobre el cuerpo receptor, sino también en analizar la calidad de lixiviado. En ese sentido, el análisis del cuerpo receptor permite contar con un referente normativo vigente para determinar si los lixiviados estarían generando alteraciones significativas en la calidad del agua del Rio San Jorge.

“En la provincia de Oxapampa, en la zona de Gramazú, el funcionamiento del relleno sanitario genera lixiviados que podrían representar un riesgo potencial para los recursos

hídricos cercanos. Es por ello que resulta necesario evaluar estos parámetros en el relleno sanitario, su comportamiento al ingresar al cuerpo receptor y determinar si sus concentraciones exceden los límites establecidos en la normativa ambiental peruana aplicable al recurso hídrico."

"De igual manera, la investigación plantea como problema general: ¿Evaluación de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024? la investigación busca identificar las características fisicoquímicas de los lixiviados generados en el relleno sanitario y determinar en qué medida estos influyen sobre la calidad de los recursos hídricos cercanos (Rio San Jorge)."

"La importancia radica en generar nueva información técnica y ambiental sobre la calidad de los lixiviados y su relación con la calidad del cuerpo receptor más cercano al relleno sanitario de Gramazú. Los resultados contribuirán al fortalecimiento de estrategias de monitoreo y gestión ambiental, promoviendo medidas preventivas orientadas a la protección ambiental y el cumplimiento normativo. Del mismo modo, el estudio sirve como referencia para futuras investigaciones relacionadas con la gestión de residuos sólidos y el control ambiental de lixiviados en la región de Oxapampa y otros casos con características similares."

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE GRAFICOS

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema 1

1.2. Delimitación de la investigación 3

1.3. Formulación del problema 4

1.3.1. Problema general 4

1.3.2. Problemas específicos 4

1.4. Formulación de Objetivos 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos 4

1.5. Justificación de la investigación 5

1.6. Limitaciones de la investigación 8

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio 10
2.1.1. Antecedentes internacionales 10
2.1.2. Antecedentes nacionales 13
2.1.3. Antecedentes locales 15
2.2. Bases teóricas - científicas 16
2.2.1. Los rellenos sanitarios 16
2.2.2. Lixiviados 18
2.2.3. Control y monitoreo de lixiviados 30
2.2.4. Control de los lixiviados en un relleno sanitario 33
2.3. Definición de términos básicos 36
2.4. Formulación de hipótesis 39
2.4.1. Hipótesis general 39
2.4.2. Hipótesis especificas 39
2.5. Identificación de las variables 39
2.5.1. Variable independiente 39
2.5.2. Variable dependiente 39
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores 40

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación 41
3.2. Nivel de Investigación 41
3.3. Métodos de investigación 42
3.4. Diseño de investigación 43

3.5. Población y muestra 43
3.5.1. Población 43
3.5.2. Muestra 44
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 45
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación. 47
3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos 48
3.9. Tratamiento estadístico 49
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica 49

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo 52
4.1.1. Evaluación de la condición ambiental del lixiviado en el relleno sanitario 53
4.1.2. Evaluación de la condición ambiental del agua superficial del río San Jorge 54
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados 55
4.2.1. Análisis e interpretación de resultados en Lixiviados del relleno sanitario 55
4.2.2. Análisis e interpretación de resultados en el cuerpo receptor Rio San Jorge. 60
4.3. Prueba de Hipótesis 68
4.3.1. Hipótesis general 69
4.3.2. Hipótesis especificas 70
4.4. Discusión de resultados 71
CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1 Ubicación Geográficas del Relleno Sanitario 4

Tabla 2 Matriz de operacionalización de las variables 40

Tabla 3 Coordenadas dentro del relleno sanitario (piezómetros) 44

Tabla 4 Condenadas de monitoreo en el cuerpo receptor 44

Tabla 5 Calidad del agua de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazú 54

Tabla 6 Resultados de análisis del cuerpo receptor 54

Tabla 7 Monitoreo en piezómetros y posa de lixiviados del relleno sanitario 55

Tabla 8 Agua Natural Superficial – río San Jorge 61

Tabla 9 Evaluación ambiental de la calidad del agua de los lixiviados del relleno sanitario ubicado en la zona de Gramazu, distrito y provincia Oxapampa, 2024 10

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1 Vista transversal de un relleno sanitario controlado.....18

Figura 2 Fases Generales de la fermentación anaerobia.....30

Figura 3 Puntos de muestreo de los lixiviados.....60

Figura 4 Puntos de monitoreo en el cuerpo receptor - Rio San Jorge.....68

Figura 5 Ubicación de los puntos de recolección de muestras 9

Figura 6 Parámetros establecidos en el ECA para agua - Categoria 3.....9

ÍNDICE DE GRAFICOS

Página

Grafica 1 Resultados del parámetro “Aceites y grasas” 56

Grafica 2 Resultados del parámetro “Demanda Bioquímica de Oxígeno”.....57

Grafica 3 Resultados del parámetro “Demanda Química de Oxígeno”.....57

Grafica 4 Resultados del parámetro “Nitritos” 58

Grafica 5 Resultados del parámetro “Sulfatos” 58

Grafica 6 Resultados del parámetro “Potencial de Hidrógeno pH”.....59

Grafica 7 Resultados del parámetro “Temperatura”.....59

Grafica 8 Resultados del parámetro “Conductividad Eléctrica”.....60

Grafica 9 Comparación del resultado de Aceites y Grasas con el ECA 62

Grafica 10 Comparación del resultado de DBO_5 con el ECA 63

Grafica 11 Comparación del resultado de DQO con el ECA 64

Grafica 12 Comparación del resultado de Nitritos (NO_2^-) con el ECA.....64

Grafica 13 Comparación del resultado de Sulfatos (SO_4^{2-}) con el ECA 65

Grafica 14 Comparación del resultado de pH con el ECA 66

Grafica 15 Comparación del resultado de Temperatura con el ECA.....67

Grafica 16 Resultado de Conductividad Eléctrica con respecto al ECA 68

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Página

Fotografía 1 Relleno sanitario.....11

Fotografía 2 Punto de monitoreo PZ1.....11

Fotografía 3 Punto de monitoreo PZ2.....12

Fotografía 4 Punto de monitoreo PZ3.....12

Fotografía 5 Poza de lixiviados.....13

Fotografía 6 Punto de monitoreo agua superficial AS-OXA-01 13

Fotografía 7 Punto de monitoreo agua superficial AS-OXA-02 14

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La disposición final de residuos sólidos en un relleno sanitario genera subproductos, como es el caso de los lixiviados, dicho efluente se caracteriza por contener compuestos con concentraciones variantes, en la mayoría de casos la carga orgánica representa una problemática para los recursos hídricos a nivel superficial y subterráneo, aquello pone en riesgo la calidad ambiental, los servicios ecosistémicos y la salud de las comunidades.

La composición de los lixiviados generados en estas infraestructuras se caracterizan por una presencia significativa de materia orgánica biodegradable y concentraciones de nutrientes los cuales deben tener un control específico para minimizar potenciales riesgos. (Carbonel, 2024).

La problemática asociada a los lixiviados de rellenos sanitarios no solo depende de la disposición final, sino también de la gestión de sus autoridades, dicha organización y control, garantiza que los impactos asociados a la contaminación hidrológica sean

mínimos y no desencadenen una problemática ambiental para los cuerpos de agua cercanos al relleno sanitario (Florian Zavaleta, 2022)

A nivel nacional la gestión de residuos sólidos, es dirigida con el uso y aplicación de normativas ambientales, las cuales están enfocadas en prevenir, mitigar y controlar la contaminación. En este sentido Carbonel, 2024, reconoce que previo a la incorporacion de un tratamiento de lixiviados es indispensable conocer su composicion, de esta manera indentificar su toxicidad, peligrosidad y demas aspectos relevantes para tomar decciones oportunas para su tratamiento.

La provincia de Oxapampa, ubicada en la región Pasco, se caracteriza por poseer un entorno natural con alta biodiversidad y ecosistemas sensibles, por lo que fue reconocida por la UNESCO en 2010 (consolidándose en 2011), como Reserva de Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha (BIOAY) (Carbajal, 2022), lo que hace que la protección de sus recursos naturales sea una prioridad. No obstante, el crecimiento poblacional y la expansión de actividades económicas han incrementado la generación de residuos sólidos, en este contexto, el relleno sanitario de la zona de Gramazu representan una alternativa técnica para el manejo de residuos, no obstante, este sistema genera lixiviados como subproducto, el cual interactúan directamente con el Rio San Jorge, dicho cuerpo de agua es empleados por la población para el riego de cultivos y crianza de animales

En este sentido conocer las concentraciones fisicoquímicas de los lixiviados del relleno sanitario en la zona de Gramazu, permite conocer y determinar el impacto ambiental que tienen sobre el cuerpo receptor, lo que en consecuencia facilitara la toma de decisiones para su tratamiento. Dicha problemática justifica el desarrollo de la investigación, orientada a contribuir al conocimiento técnico y a la gestión ambiental sostenible en la provincia de Oxapampa.

1.2. Delimitación de la investigación

A. Delimitación teórica

El presente estudio se enmarca en el campo de la ingeniería ambiental, específicamente en la línea de investigación relacionada con el estudio de la ecología, la biodiversidad y la gestión ambiental. La investigación se enfoca en la evaluación ambiental de la calidad del agua de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la zona de Gramazú, considerando parámetros fisicoquímicos, en función de su potencial impacto sobre el ambiente.

Asimismo, el estudio se sustenta en conceptos teóricos vinculados a la generación y caracterización de lixiviados, así como en la normativa ambiental vigente, especialmente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM).

B. Delimitación espacial

La investigación se desarrollará en el relleno sanitario ubicado en la zona de Gramazú, perteneciente al distrito y provincia de Oxapampa, región Pasco – Perú. Este sitio se encuentra aproximadamente a 35 minutos de la ciudad de Oxapampa, y presenta las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud: -10.51824 y Longitud: -75.46919

La zona de estudio comprende el área operativa del relleno sanitario y su entorno inmediato, considerando puntos estratégicos para la toma de muestras de lixiviados y, de ser necesario, áreas potencialmente influenciadas por su dispersión.

Tabla 1 *Ubicación Geográficas del Relleno Sanitario*

COORDENADAS DE UBICACIÓN
NORTE: 8837291 m S
ESTE: 448628 m E

Fuente: *elaboración propia*

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024?

1.3.2. Problemas específicos

a. ¿La calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú modifica las condiciones iniciales del cuerpo receptor Rio San Jorge, en 2024?

b. ¿Cuál es la incidencia de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú sobre la calidad del agua del río San Jorge, considerando el ECA para Agua establecidos en el DS N.° 004-2017-MINAM, en 2024?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

a. Determinar la calidad fisicoquímica de los lixiviados generados en el relleno sanitario del sector de Gramazú y el cuerpo receptor (Río San Jorge), en 2024

b. Determinar la incidencia de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú sobre la calidad del agua del río San Jorge, considerado el ECA para Agua establecidos en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, en 2024.

1.5. Justificación de la investigación

A. Justificación ambiental

El manejo inadecuado de los rellenos sanitarios genera lixiviados con alta carga contaminante, compuestos por materia orgánica, nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos, los cuales representan una amenaza significativa para los recursos hídricos y el equilibrio de los ecosistemas (Kjeldsen, y otros, 2002); (Renou, y otros, 2008). La implantación de un tratamiento es una alternativa viable, sin embargo, solo es posible si se conocer la característica de los lixiviados.

En este sentido, es esencial identificar las concentraciones de los lixiviados y su potencial impacto en los cuerpos de aguas más secanos, con el objetivo de iniciar acciones de control y reducción de contaminación ambiental. En algunos casos los lixiviados contienen principalmente niveles elevados de materia orgánica, nutrientes, pH, DBO, DQO y metales paseados, los cuales representan afectaciones en su calidad (Carbonel, 2024).

Las iniciativas para la conservación de recursos naturales han adquirido mayor relevancia en los últimos años. En el caso de los recursos hídricos, el cambio climático y los escases de agua, resaltan la importancia de una gestión eficiente que minimice la contaminación del agua.

La provincia de Oxapampa es caracterizada por su gran biodiversidad, por lo que la conservación y cuidado ambiental es esencial, por lo que la gestión oportuna

de los lixiviados es fundamental para prevenir impactos negativos al ambiente, la población y la economía de la población.

Por lo tanto, esta investigación se justifica en la necesidad de generar información técnica que permita evaluar la calidad ambiental de los lixiviados, y su incidencia en el cuerpo receptor, contribuyendo a investigaciones futuras enfocadas a la implementación de sistemas de tratamiento eficientes y a la protección de los ecosistemas locales.

B. Justificación social

Un adecuado manejo de residuos sólidos garantiza que la salud pública y la calidad de vida de la población, un inadecuado control de los lixiviados resulta en una fuente de contaminación significativa que incrementa las probabilidades de enfermedades y fatalidades de las comunidades.

Las concentraciones de los lixiviados pueden comprometer la salud de las personas debido a su presencia de microorganismos patógenos, sustancias toxicas, persistencia, movilidad, bioacumulación y demás aspectos que generan enfermedades con secuelas significativas. (Oluwaseun A., Abdullahi O., & Oluwafemi S., 2026).

En la provincia de Oxapampa, la contaminación hídrica representa un problema significativo para las comunidades las cuales dependen en gran manera de los recursos hídricos, para su consumo, actividades cotidianas, usos domésticos, agricultura y ganadería. La evaluación de la calidad de los lixiviados del relleno sanitario contextualiza el estado actual de dicho elemento y su incidencia en el cuerpo receptor, el cual es usado por la población.

Además, Oxapampa es reconocida por su riqueza natural y su potencial turístico. Por lo que una oportuna gestión de residuos sólidos y lixiviados, hace que la provincia adquiera un valor referencial para posteriores en la provincia.

C. Justificación económica

En consideración con una perspectiva económica, el manejo de residuos sólidos y sus subproductos, es una inversión estratégica y práctica, no solo por el cuidado ambiental, sino también por que evita costos mayores como las multas, las cuales están asociadas a la remediación ambiental, tratamiento de agua y atención en salud pública, así como pérdidas en actividades productivas como la agricultura y el turismo (Renou, y otros, 2008)

Se debe tener en consideración que las mutas y sanciones ambientales, sirven como estimulo, debido que es mas rentable buscar una alternativa de cuidado y mitigación para daños ambientales, que ser multado por contaminación ambiental. (Deza de Cunza & Rengifo Gonzales, 2024)

Por lo que verificar que los lixiviados del relleno sanitario, no este afectando las condiciones del cuerpo receptor y se esté cumpliendo la normativa ambiental vigente evita sanciones, multas y responsabilidades legales para las autoridades locales, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos financieros.

D. Justificación metodológica

La presente investigación se justifica metodológicamente en la aplicación de un enfoque cualitativo, que permitirá evaluar la calidad de los lixiviados mediante la identificación de parámetros fisicoquímicos, para después compararlas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos por el MINAM (2017), lo que garantiza la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

De esta manera, la investigación aporta un enfoque técnico–científico replicable, que puede ser utilizado como referencia para futuros estudios en otras localidades con problemáticas similares, contribuyendo al desarrollo del conocimiento en el área de la ingeniería ambiental y la gestión de residuos sólidos.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación y generalización de los resultados obtenidos:

A. Cobertura temporal restringida

El estudio se desarrolló durante el periodo comprendido entre julio y septiembre del año 2024, por lo que los resultados reflejan las condiciones específicas de dicho intervalo temporal. En consecuencia, no se contemplan variaciones estacionales completas ni tendencias de largo plazo, lo que podría influir en la representatividad de los datos frente a cambios climáticos o operativos del relleno sanitario a lo largo del tiempo.

B. Número limitado de muestreos

Si bien se realizaron campañas de muestreo consideradas representativas dentro del periodo de estudio, el número de muestras recolectadas no permite capturar en su totalidad la variabilidad temporal de los lixiviados, especialmente en escalas diarias o mensuales. Esta limitación podría afectar la precisión en la estimación de concentraciones máximas o mínimas de ciertos contaminantes.

C. Accesibilidad y condiciones logísticas

La ubicación del relleno sanitario en la zona de Gramazú presenta dificultades de acceso geográfico y limitaciones logísticas, lo cual restringió la frecuencia de las visitas de campo y la posibilidad de implementar un sistema de monitoreo

continuo. Estas condiciones limito la obtención de información más detallada sobre el comportamiento dinámico de los lixiviados.

D. Parámetros analizados

Debido a limitaciones de recursos económicos, disponibilidad de equipos y capacidad analítica de laboratorio, no se evaluó la totalidad de contaminantes potencialmente presentes en los lixiviados. Por lo que se priorizó el análisis de parámetros fisicoquímicos más relevantes, en concordancia con la normativa ambiental vigente y los objetivos del estudio.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

A nivel internacional, la problemática de los lixiviados generados en rellenos sanitarios ha sido ampliamente estudiada debido a su alta complejidad, variabilidad y potencial impacto ambiental sobre los recursos hídricos.

El estudio realizado por Mancheno (2025), titulado "Análisis de Advección y Dispersión de Lixiviados del Relleno Sanitario Inchapo Latacunga", desarrollado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, tuvo como objetivo modelar matemáticamente los procesos de advección, transporte y reacción de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Latacunga, con el objetivo de evaluar el comportamiento de los contaminantes en el subsuelo ante una posible falla del sistema de impermeabilización. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y diseño cuasi experimental, elaborado en una fase de caracterización fisicoquímica de los lixiviados y una fase predictiva basada en simulaciones mediante el software CTRAN/W. Los resultados que se evidenciaron durante el transporte subterráneo, la Demanda Química

de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) disminuyeron aproximadamente en un 50 %, alcanzando concentraciones de 3 500 mg/L y 1 250 mg/L, respectivamente; sin embargo, los valores continuaron excediendo los límites establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana. Asimismo, el modelo predijo que, en un lapso de 90 días, la pluma contaminante podría desplazarse aproximadamente 2 m en sentido vertical y 4 m lateralmente, mostrando un riesgo potencial para el acuífero superficial localizado a 11 m de profundidad, ocasionandose por la movilidad de la DBO, DQO y el nitrógeno. El autor concluyó que por una falla en la barrera impermeable del relleno sanitario incrementaría significativamente el riesgo de contaminación del subsuelo y al mismo tiempo las aguas subterráneas, recomendando implementar programas permanentes de monitoreo hidrogeológico y estrategias de remediación preventiva como parte de la gestión ambiental del relleno sanitario. (Mancheno Solina, 2025)

Un caso similar a la investigación es el análisis realizado con respecto a los lixiviados del relleno sanitario de Medillin, en Veracruz en México, en aquel análisis se monitorearon pozos en épocas de nortes y estiaje, los parámetros evaluados fueron turbidez, fósforo, DQO, SDT, entro otros; los resultados demostraron que en su mayoría los pozos tiene concentraciones elevadas. La turbidez, DQO y fosforo fueron mayores en la época de nortes, a diferencia que en la época de estiaje los parámetros más elevados fueron el nitrógeno y SDT, por su parte el Pb y Cd fue elevado en ambas temporadas, todo ello indica que alrededor del 57% de los pozos próximos al relleno sanitario se encuentran contaminados, de igual forma la investigación sugiere incluir en programa de vigilancia de la calidad de los recursos hídricos. (Zúñiga Ruíz, Amaro Espejo, Bernal Ramírez, & Reyes Velázquez, 2024).

El estudio desarrollado por Fernando Mancilla Peña, Norma Angélica Díaz Antillón, Ramón Chávez Bracamontes, Juan Carlos Jiménez del Toro y Fernando Marco Antonio Robledo Núñez (2025), titulado "Caracterización y análisis de tratamiento con arena de mar de lixiviados del relleno sanitario del SIMAR Sur Sureste en Jalisco, México", tuvo como objetivo caracterizar la composición fisicoquímica de los lixiviados generados en el Sistema Intermunicipal de Residuos Sólidos (SIMAR Sur Sureste) y evaluar la eficiencia de un sistema de tratamiento mediante filtración con arena de mar como alternativa para reducir la carga contaminante y favorecer su aprovechamiento. Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo aplicado y experimental, en colaboración entre el Tecnológico Nacional de México y el SIMAR Sur Sureste, realizando la caracterización de los lixiviados, el diseño del sistema de filtración y la evaluación de su desempeño. Los resultados demostraron que el uso de arena de mar constituye una alternativa viable para minimizar la concentración de diversos contaminantes presentes en los lixiviados, mejorando la calidad del efluente y contribuyendo al cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Asimismo, el estudio propuso un proceso integral orientado a la revalorización de los materiales involucrados, promoviendo la economía circular y una gestión ambiental más sostenible de los residuos sólidos municipales. Los autores concluyeron que la implementación de sistemas de tratamiento con materiales naturales de bajo costo representa una alternativa eficiente para reducir el impacto ambiental de los lixiviados y fortalecer la gestión integral de los rellenos sanitarios.

En conjunto, los antecedentes internacionales evidencian que los lixiviados constituyen un problema ambiental complejo que requiere un enfoque integral, basado en la caracterización detallada, el monitoreo continuo y la implementación de

tecnologías avanzadas para su tratamiento, con el fin de minimizar sus impactos sobre el ambiente y la salud humana.

2.1.2. Antecedentes nacionales

A nivel nacional, diversos estudios han abordado la problemática de los lixiviados generados en rellenos sanitarios, evidenciando su impacto sobre la calidad del agua y la salud de la población, así como la necesidad de implementar tecnologías de tratamiento eficientes que contribuyan a la minimización de impactos.

En la cuidad de Cajamarca se realizó un estudio con la finalidad de verificar el impacto de los lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca con respecto a la calidad del agua del río, en dicho estudio se tomaron muestras de tres puntos establecidos estratégicamente, de dichas muestras se evaluaron parámetros físicos – químicos, inorgánicos y microbiológicos, posterior al ensayo de laboratorios se determinó que el lixiviados impacta sobre la calidad del río, sin embargo no excede los niveles establecidos en el estándar de calidad ambiental para agua aprobado por el DS N° 004-2017-MINAM, a excepción del Magnesio que en tiempo de estiaje si lo excede. (Florian Zavaleta, 2022).

(Cruz Quispe, 2022) realizó una investigación en el relleno sanitario de Puno, ubicado en la comunidad campesina de Itapalluni, con el objetivo de evaluar los lixiviados y su efecto en la salud de la población. La metodología fue de tipo descriptiva, utilizando análisis de laboratorio y comparación con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM. Los resultados evidenciaron valores elevados en parámetros fisicoquímicos como DQO (586.71 mg/L), DBO_5 (78 mg/L), nitratos (hasta 582.8 mg/L) y conductividad eléctrica (4760 µS/cm), sobrepasndo los límites permisibles. Asimismo, se identificaron efectos en la salud de la población, tales como náuseas (44%), ardor estomacal (56%) y diarrea

(31%), concluyendo que el manejo inadecuado de lixiviados afecta tanto la calidad del agua como la salud de los pobladores, proponiendo como alternativa el uso de humedales artificiales para su tratamiento.

En una investigación posterior, (Cayetano Miranda, 2024) evaluó el impacto de los lixiviados en la salud de los pobladores de la misma comunidad de Itapalluni – Puno, durante el año 2023. El estudio fue de enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y corte transversal, considerando una muestra de 21 pobladores y tres puntos de monitoreo. Los resultados mostraron valores de pH entre 7.20 y 7.42, conductividad eléctrica entre 1300 y 1600 µS/cm, DQO entre 4.82 y 40.93 mg/L, y DBO entre 2.72 y 16.37 mg/L. Mediante análisis estadístico se obtuvo una correlación de Pearson de 0.352, lo que indica una relación positiva media entre la presencia de lixiviados y los efectos en la salud de la población. El estudio concluye que los lixiviados tienen una influencia directa en las condiciones sanitarias de los habitantes cercanos al relleno sanitario. (Cayetano Miranda, 2024)

Asimismo, (Suero Sánchez, 2022) evaluó el manejo de lixiviados provenientes del compostaje de la fracción orgánica de residuos sólidos en el relleno sanitario de Anta, Cusco. El estudio identificó que los lixiviados presentaban una alta carga orgánica, con valores promedio de DBO_5 de 3359.62 mg/L, incrementándose durante la temporada de lluvias. Para su tratamiento, se diseñó e implementó un sistema piloto de humedales construidos, compuesto por un sistema francés y un humedal de flujo horizontal, logrando eficiencias de remoción del 86.46% para DBO_5, 88.90% para DQO, 94.10% para sólidos suspendidos y 98.25% para coliformes fecales. Estos resultados evidencian la efectividad de tecnologías naturales en el tratamiento de lixiviados, destacando su viabilidad como alternativa sostenible en contextos similares. (Suero Sánchez, 2022)

En conjunto, estos antecedentes nacionales evidencian que los lixiviados generados en rellenos sanitarios representan un problema ambiental y sanitaria relevante en el Perú. La presencia de estos contaminantes por encima de los límites permisibles, así como su relación con efectos en la salud de la población, refuerzan la necesidad de realizar estudios de evaluación ambiental para desarrollar sistemas de tratamiento eficientes que permitan mitigar sus impactos.

2.1.3. Antecedentes locales

A nivel local, en la región Pasco, diversos estudios han evidenciado la problemática ambiental asociada a la gestión inadecuada de residuos sólidos y la generación de lixiviados, los cuales afectan directamente la calidad de los recursos hídricos y el equilibrio de los ecosistemas.

(Fernandez Evangelista & Vásquez García, 2024) realizó un estudio sobre la calidad del agua del río Tingo, en los distritos de Yanacancha, Yarusyacán y Pallanchacra, empleando el índice biológico BMWP como indicador. La investigación evidenció que, en la cabecera de la cuenca, la calidad del agua es crítica, debido al arrastre de contaminantes provenientes de aguas residuales domésticas y lixiviados generados en el botadero de Rumiallana. Estos lixiviados, con posible presencia de metales pesados, contribuyen significativamente al deterioro de la calidad del agua. Asimismo, el estudio determinó que, aunque existe un proceso de autodepuración aguas abajo, las condiciones del agua continúan siendo contaminadas en varios tramos, lo que refleja la persistencia de fuentes de contaminación en la zona. (Fernandez Evangelista & Vásquez García, 2024)

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Los rellenos sanitarios

Los rellenos sanitarios constituyen una alternativa segura de disposición final de residuos sólidos municipales más utilizada a nivel mundial debido a su viabilidad técnica, económica y ambiental cuando son diseñados y operados conforme a criterios de ingeniería sanitaria. En la actualidad, su implementación forma parte de los sistemas integrales de gestión de residuos sólidos, orientados a reducir los impactos ambientales y proteger la salud pública, complementándose con estrategias de reducción, reutilización, reciclaje y valorización de residuos dentro del enfoque de economía circular. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

Un relleno sanitario es una infraestructura de ingeniería ambiental diseñada para la disposición controlada de residuos sólidos mediante procesos de compactación, cobertura y confinamiento que minimizan los impacto de contaminación del suelo, agua y aire. Los rellenos sanitarios modernos incorporan sistemas de impermeabilización de geomembranas y arcillas compactadas, redes de drenaje de lixiviados, sistemas de captación de biogás y programas permanentes de monitoreo ambiental para prevenir la migración de contaminantes hacia los ecosistemas circundantes. (Wang & Qiao, 2024)

La operación de un relleno sanitario comprende la conformación de celdas diarias donde los residuos son depositados, compactados y cubiertos con material de préstamo para controlar olores, reducir la proliferación de vectores, prevenir incendios y disminuir la infiltración de aguas pluviales. Estas celdas se organizan en niveles o terrazas que mejoran la estabilidad geotécnica del relleno y facilitan la instalación de sistemas de drenaje superficial, captación de lixiviados y obtención de biogás. Al finalizar la vida útil del relleno sanitario, se coloca una cobertura final conformada por

materiales impermeables y suelo vegetal, contribuyendo a la recuperación ambiental del área degradada fisicamente y el monitoreo post cierre. (Environmental Science and Pollution Research, 2024)

Uno de los principales subproductos generados en los rellenos sanitarios corresponde a los lixiviados, líquidos altamente contaminantes producidos por la infiltración del agua de lluvia, la humedad propia de los residuos y los procesos de biodegradación de la materia orgánica. Su composición depende de factores como la edad del relleno sanitario, el tipo de residuos dispuestos y las condiciones climáticas, pudiendo contener altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno amoniacal, metales pesados, sales disueltas y compuestos orgánicos persistentes, los cuales representan un riesgo significativo para los recursos hídricos cuando no reciben un tratamiento adecuado (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)

Las investigaciones recientes señalan que el tratamiento de lixiviados requiere la integración de procesos físicos, químicos y biológicos, incluyendo tecnologías como oxidación avanzada, filtración por membranas, adsorción, humedales construidos y tratamientos biológicos secuenciales. La combinación de estas tecnologías permite incrementar la eficiencia de remoción de contaminantes, reducir los costos de operación y cumplir con los estándares ambientales establecidos para la descarga o reutilización del efluente tratado (Wang & Qiao, 2024)

Durante la degradación anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos también se genera biogás, compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Debido a que el metano posee un elevado potencial de calentamiento global, los rellenos sanitarios modernos incorporan sistemas de captación, conducción y aprovechamiento energético del biogás, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y favoreciendo la producción de energía renovable.

(United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

Finalmente, la gestión ambiental de los rellenos sanitarios modernos incorpora programas de monitoreo de aguas subterráneas, emisiones atmosféricas, estabilidad geotécnica y calidad de lixiviados, permitiendo detectar a tiempo posibles fallas en los sistemas de impermeabilización y prevenir la contaminación del suelo y de los recursos hídricos. Estas acciones forman parte de los principios de sostenibilidad y economía circular promovidos por los organismos internacionales para fortalecer la gestión integral de residuos sólidos. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

Figura 1 *Vista transversal de un relleno sanitario controlado*



2.2.2. Lixiviados

A. Definición y antecedentes

Los lixiviados constituyen un efluente líquido altamente complejo el cual se genera en los rellenos sanitarios como consecuencia de la infiltración del agua de lluvia, la humedad propia de los residuos sólidos y el agua liberada durante los procesos de biodegradación de la materia orgánica. Durante su desplazamiento a través de la masa de residuos, el líquido agrupa compuestos orgánicos e inorgánicos mediante procesos de disolución, lixiviación, transporte de contaminantes y reacciones

bioquímicas, originando un efluente con elevada carga contaminante cuya composición depende de la edad del relleno sanitario, las características de los residuos y las condiciones climáticas predominantes (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)

Desde el punto de vista fisicoquímico, los lixiviados son considerados aguas residuales de elevada complejidad debido a que presentan altas concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrógeno amoniacal (NH_4^+-N), sólidos disueltos totales (SDT), metales pesados, compuestos orgánicos persistentes, sustancias húmicas y contaminantes emergentes, tales como residuos farmacéuticos, microplásticos y compuestos perfluorados. Estas características convierten a los lixiviados en uno de los principales riesgos ambientales asociados a la disposición final de residuos sólidos urbanos (Wang & Qiao, 2024)

B. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

Los lixiviados representan una de las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos cuando los sistemas de impermeabilización, drenaje o tratamiento presentan deficiencias operativas. La infiltración del lixiviado permite el transporte de contaminantes mediante procesos de advección, dispersión, difusión molecular y adsorción en el suelo, facilitando la migración de compuestos contaminantes hacia los acuíferos y cuerpos de agua superficiales o subterraneas, con efectos negativos sobre la calidad ambiental y la salud pública (Mancheno Solina, 2025)

La contaminación de las aguas subterráneas es considerado como uno de los impactos ambientales más críticos derivados de residuos solidos debido a que los acuíferos poseen una limitada capacidad de autodepuración y largos tiempos de renovación hidráulica. Como consecuencia, los contaminantes pueden permanecer durante décadas en el subsuelo, perjudicando los procesos de recuperación ambiental y comprometiendo el abastecimiento de agua para consumo humano y actividades productivas (Environmental Science and Pollution Research, 2024)

Entre los principales efectos ocasionados por los lixiviados sobre las aguas superficiales y subterráneas se encuentran:

- Incremento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Disminución del oxígeno disuelto.
- Contaminación microbiológica por bacterias, virus y otros microorganismos patógenos.
- Incremento de cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio, potasio y otros sólidos disueltos.
- Presencia de metales pesados como plomo, cadmio, mercurio, arsénico y cromo.
- Incorporación de contaminantes orgánicos persistentes, pesticidas y compuestos industriales.
- Procesos de eutrofización ocasionados por elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo.

Estos contaminantes modifican a gran escala las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, afectando la biodiversidad acuática y

limitando su aprovechamiento para consumo humano, riego e industrias (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

C. Generación de lixiviados

La generación de lixiviados constituye un proceso dinámico resultado de la interacción entre fenómenos hidrológicos, físicos, químicos y biológicos que ocurren dentro del acopio de residuos sólidos. La cantidad producida depende principalmente de la precipitación, infiltración, contenido inicial de humedad de los residuos, evaporación, evapotranspiración, escorrentía superficial y capacidad de almacenamiento del relleno sanitario, factores que determinan el balance hídrico del sistema. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)

El balance hídrico utilizado para estimar la producción de lixiviados puede expresarse mediante la siguiente ecuación: Este fenómeno puede representarse por medio de un balance hídrico del sistema, donde la producción de lixiviados (L) está determinada por la diferencia entre los flujos de entrada y salida de agua, teniendo en cuenta términos como precipitación (P), infiltración (I), humedad intrínseca de los residuos (W), escorrentía (R), evapotranspiración (ET) y almacenamiento temporal (ΔS):

$$L=P+I+W-ET-R-\Delta S$$

La expresión continúa siendo ampliamente utilizada para la estimación de la producción potencial de lixiviados en estudios de ingeniería sanitaria y modelamiento hidrogeológico (Mancheno Solina, 2025).

Desde la perspectiva de la ingeniería ambiental, la producción de lixiviados depende de la composición física y química de los residuos

sólidos, particularmente de la fracción orgánica biodegradable, la humedad inicial y el grado de compactación. Los residuos con elevado contenido orgánico presentan mayor actividad microbiológica, favoreciendo los procesos de hidrólisis, fermentación y metanogénesis, durante los cuales se libera agua metabólica y numerosos compuestos solubles que incrementan la carga contaminante del lixiviado (Wang & Qiao, 2024)

Asimismo, las condiciones operativas del relleno sanitario, como el grado de compactación, el espesor de la cobertura, la eficiencia del sistema de drenaje, el correcto funcionamiento de las geomembranas y las características climáticas de la zona, influyen directamente tanto en el volumen generado como en la composición fisicoquímica de los lixiviados. Por ello, los rellenos sanitarios modernos incorporan sistemas de monitoreo continuo, impermeabilización multicapa y tecnologías avanzadas de tratamiento que permiten minimizar de forma significativa el riesgo de contaminación del suelo y de los recursos hídricos (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

D. Reacciones dentro del vertedero

En el interior de un relleno sanitario se desarrollan de manera simultánea procesos biológicos, químicos y físicos que interactúan continuamente y determinan la degradación de los residuos sólidos, la producción de lixiviados y la generación de biogás. La intensidad de estos procesos depende de factores como la composición de los residuos, el contenido de humedad, la temperatura, el potencial de óxido-reducción (Eh), el pH y la disponibilidad de nutrientes. Las investigaciones recientes

señalan que la relacion de estos mecanismos controla la estabilidad del relleno sanitario, la dispersión de los contaminantes y la calidad ambiental de los lixiviados generados, siendo parte de uno de los principales aspectos considerados en el diseño y monitoreo de estas infraestructuras. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024); (Wang & Qiao, 2024)

- **Procesos biológicos**

  El proceso biológico representan el principal mecanismo de estabilización de la fracción orgánica biodegradable presente en los residuos sólidos urbanos. Durante los primeros días posteriores a la disposición de los residuos predomina una fase aeróbica, favorecida por el oxígeno retenido entre los espacios porosos del material depositado. En esta etapa los microorganismos aerobios degradan la materia orgánica fácilmente biodegradable, produciendo dióxido de carbono (CO_2), agua y energía térmica, lo que incrementa la temperatura interna del relleno sanitario y acelera las primeras transformaciones bioquímicas. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

  Conforme disminuye el oxígeno disponible, el sistema evoluciona hacia condiciones anaerobias, predominando bacterias facultativas y microorganismos metanogénicos. (Mancheno Solina, 2025) Durante esta etapa se desarrollan sucesivamente los procesos de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, responsables de transformar la materia orgánica compleja en metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otros

compuestos gaseosos. Estos procesos modifican progresivamente la composición química del lixiviado, provocando variaciones en los valores de DBO_5, DQO, nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles, indicadores ampliamente utilizados para evaluar el grado de estabilización del relleno sanitario. (Wang & Qiao, 2024); (Mancheno Solina, 2025)

- **Procesos químicos**

  Los procesos químicos comprenden un conjunto de reacciones de equilibrio, transformación y transferencia de sustancias que determinan la movilidad y disponibilidad de los contaminantes presentes en el relleno sanitario.(Mancheno Solina, 2025) Estas reacciones dependen principalmente del pH, del potencial de óxido-reducción (Eh), de la temperatura y de la composición química del lixiviado, factores que condicionan el comportamiento de los metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos presentes en el sistema. (Environmental Science and Pollution Research, 2024)

  Entre los principales procesos químicos destacan la disolución y lixiviación de compuestos solubles, las reacciones de oxidación-reducción que modifican la especiación química de numerosos contaminantes, la precipitación y redisolución de sales minerales, la adsorción y desorción sobre las partículas sólidas del relleno sanitario y la volatilización de determinados compuestos orgánicos. En conjunto, estos mecanismos controlan la composición final del lixiviado, la movilidad de metales pesados y la persistencia de contaminantes orgánicos complejos, influyendo directamente sobre el

riesgo de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. (Wang & Qiao, 2024)

- **Procesos físicos**

  Los procesos físicos regulan el transporte de masa y energía dentro del relleno sanitario, controlando el movimiento del agua, al igual que los gases y los contaminantes. Entre ellos destacan el flujo advectivo del lixiviado impulsado por gradientes hidráulicos, la difusión y dispersión de gases como metano y dióxido de carbono a través de la matriz porosa, la compactación progresiva de los residuos sólidos y la modificación de la porosidad y permeabilidad del sistema conforme avanza la degradación. Estos procesos condicionan la velocidad de migración de los lixiviados y la distribución espacial de los contaminantes dentro del relleno sanitario. (Mancheno Solina, 2025)

  Asimismo, la acumulación de biogás puede incrementar la presión interna del vertedero, favoreciendo la aparición de fracturas en las capas de cobertura y aumentando la infiltración de agua de lluvia. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024) Esta situación incrementa la producción de lixiviados y modifica la dinámica de degradación de los residuos, razón por la cual los rellenos sanitarios modernos incorporan sistemas de captación de biogás, drenaje de lixiviados y monitoreo continuo de presiones internas para garantizar la estabilidad estructural y minimizar los riesgos ambientales asociados a la disposición final de residuos sólidos. (United Nations Environment Programme (UNEP) &

International Solid Waste Association (ISWA), 2024); (Mancilla Peña, Díaz Antillón, Chávez Bracamontes, & Jiménez Del Toro, 2025)

E. Fases de degradación de los residuos sólidos y su influencia en la generación de lixiviados y biogás

Etapa I. Ajuste inicial (fase aeróbica): La fase inicial comienza inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos urbanos, cuando aún existe oxígeno retenido entre los espacios porosos del material depositado. Bajo estas condiciones predominan microorganismos aerobios que degradan rápidamente la materia orgánica fácilmente biodegradable, produciendo dióxido de carbono (CO_2), agua y energía térmica. El incremento de temperatura favorece la actividad microbiana y acelera las primeras transformaciones fisicoquímicas del lixiviado, caracterizado inicialmente por concentraciones moderadas de compuestos orgánicos solubles y nutrientes. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

Etapa II. Fase de transición (condiciones anóxicas–anaerobias): Una vez agotado el oxígeno disponible, el interior del relleno sanitario evoluciona progresivamente hacia condiciones anóxicas y posteriormente anaerobias. Durante esta etapa predominan bacterias facultativas capaces de utilizar nitratos, sulfatos y otros compuestos oxidados como aceptores alternativos de electrones. Como consecuencia, se inicia la formación de dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y los primeros ácidos grasos volátiles, generando un ambiente cada vez más reductor que favorece la transformación de la materia orgánica. (Environmental Science and Pollution Research, 2024)

Durante esta fase el potencial de óxido-reducción disminuye considerablemente y el pH presenta una tendencia ácida debido a la acumulación de ácidos orgánicos. Estas condiciones incrementan la solubilidad y movilidad de numerosos metales pesados, así como las concentraciones de DBO_5, DQO, nitrógeno amoniacal y conductividad eléctrica presentes en el lixiviado. Dichas características representan uno de los periodos de mayor riesgo potencial para la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas. (Mancheno Solina, 2025). Las principales características del lixiviado durante esta etapa son:

- Disminución progresiva del pH.
- Incremento de la DBO_5 y DQO.
- Mayor movilidad de metales pesados.
- Elevada conductividad eléctrica por la liberación de iones disueltos. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)

Etapa III. Acidogénesis: En la fase de acidogénesis predominan bacterias fermentativas encargadas de transformar carbohidratos, proteínas y lípidos en ácidos grasos volátiles, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. Esta etapa representa uno de los periodos de mayor actividad bioquímica del relleno sanitario, caracterizándose por una elevada producción de compuestos orgánicos solubles que incrementan significativamente la carga contaminante del lixiviado. (Wang & Qiao, 2024) Durante esta fase el lixiviado presenta las siguientes características:

- pH inferior a 5.
- Elevados valores de DBO_5.
- Altas concentraciones de DQO.

- Elevada carga orgánica soluble.
- Alta conductividad eléctrica.

La elevada acidez favorece además la solubilización de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos, incrementando su movilidad y el potencial riesgo de contaminación de acuíferos cuando no existen adecuados sistemas de impermeabilización y recolección de lixiviados. (Environmental Science and Pollution Research, 2024).

Etapa IV. Metanogénesis: Durante la fase metanogénica se establecen condiciones anaerobias estrictas en las que predominan microorganismos metanogénicos capaces de transformar el ácido acético, el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Esta etapa representa la principal fase de producción de biogás y constituye un indicador del grado de estabilización biológica del relleno sanitario (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

Como consecuencia de la actividad metanogénica se producen importantes cambios en las características del lixiviado:

- El pH aumenta hasta valores cercanos a la neutralidad (6,8–8,0).
- Disminuye progresivamente la DBO_5.
- Se reduce la solubilidad de numerosos metales pesados.
- La composición del lixiviado comienza a estabilizarse.

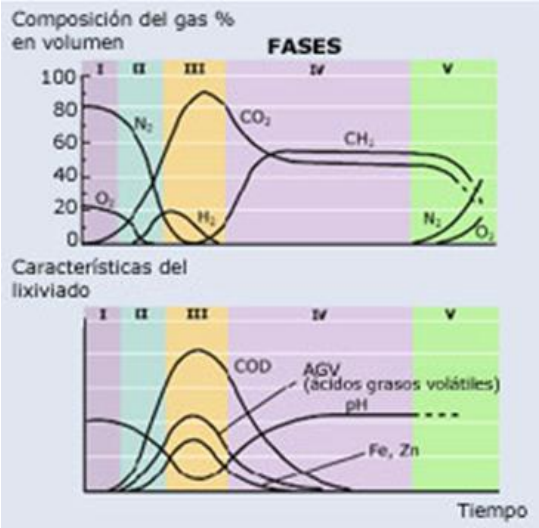
Estas condiciones reducen parcialmente el potencial contaminante del lixiviado, aunque persisten compuestos refractarios que requieren tratamientos avanzados antes de su disposición final. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024); (Wang & Qiao, 2024)

Etapa V. Maduración o estabilización En la fase de maduración la mayor parte de la materia orgánica biodegradable ha sido consumida, disminuyendo considerablemente la actividad microbiológica. El lixiviado generado presenta bajas concentraciones de materia orgánica biodegradable y predominan sustancias húmicas, ácidos fúlvicos y otros compuestos orgánicos recalcitrantes de difícil degradación biológica. Como consecuencia, aunque la DBO_5 disminuye significativamente, la DQO puede mantenerse relativamente elevada debido a la presencia de estos compuestos persistentes. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024) Las principales características de esta etapa incluyen:

- Disminución significativa de la producción de biogás.
- Baja DBO_5.
- DQO moderadamente elevada.
- Alta estabilidad química del lixiviado.
- Predominio de compuestos orgánicos refractarios.

Actualmente, los estudios recomiendan que durante esta fase se mantengan programas permanentes de monitoreo hidrogeológico y vigilancia ambiental, debido a que el lixiviado continúa representando una fuente potencial de contaminación para las aguas subterráneas, aun cuando el relleno sanitario haya finalizado su vida útil (Mancheno Solina, 2025); (Mancilla Peña, Díaz Antillón, Chávez Bracamontes, & Jiménez Del Toro, 2025)

Figura 2 *Fases Generales de la fermentación anaerobia*



2.2.3. Control y monitoreo de lixiviados

El manejo de los lixiviados es un componente esencial para la gestión ambiental de residuos sólidos, debido a que facilita la evaluación de la calidad y eficiencia de los sistemas de impermeabilización, drenaje y vertimiento del efluente, del mismo modo previene la contaminación de aguas subterráneas y superficiales.

Dentro de los planes de gestión ambiental, se encuentran los programas de monitoreo y seguimiento periódico del funcionamiento del relleno sanitario con el objetivo de identificar fallas operativas y reducir riesgos ambientales, asociados al relleno sanitario. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

El monitoreo es una actividad técnica que identifica, cuantifica y evalúa las características físicas, químicas y biológicas de un elemento, en este caso el monitoreo debe realizarse para los lixiviados del relleno sanitario y el cuerpo receptor, con el objetivo de obtener una información mas completa de lo que esta sucediendo. Por lo tanto las redes de monitoreo se componen de puntos estratégicos como los piezómetros (para los lixiviados, al interior del relleno sanitario) y puntos en el cuerpo receptor

(aguas arriba y aguas abajo. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)

Un monitoreo ambiental incluye acciones como la planificación del monitoreo, determinación de parámetros a analizar, recolección de muestras, conservación de muestras, análisis de muestras, comparación con normativa ambientales vigentes o normativas referentes, evaluación de las implicaciones al recurso hídrico.

El monitoreo permite conocer las condiciones en las que se encuentras los lixiviados, si el resultado es favorable, se reducen los riesgos ambientales y se comprueba que la gestión del relleno sanitario es adecuada (Mancheno Solina, 2025).

La planificación del monitoreo ambiental se convierte en una herramienta fundamental para la evaluación del funcionamiento del relleno sanitario, la calidad del lixiviado y la calidad del cuerpo receptor, aquello permite contextualizar y tomar decisiones que mitigan los impactos ambientales, cumplen con la normativa y desarrollan una gestión sostenible. (Mancilla Peña, Díaz Antillón, Chávez Bracamontes, & Jiménez Del Toro, 2025)

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros ambientales para la evaluación de lixiviados, se clasifican en función a sus características, pueden ser físicos, químicos, biológicos o la combinación de sus características.

Los parámetros fisicoquímicos, evalúan la evolución de los procesos de degradación de residuos sólidos, por medio de lo evidenciado en las concentraciones del lixiviado. Dicha evaluación es indispensable por lo que debe realizarse de manera periódica para verificar el cumplimiento normativo e implantar sistemas de tratamiento (Wang & Qiao, 2024)

- **Temperatura:** La temperatura es un parámetro medible in situ, que influye significativamente en reacciones químicas, la actividad microbiológica y la solubilidad de diversos compuestos, es importante mencionar que los procesos biológicos usados para el tratamiento dependen de la estabilidad de su temperatura. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)
- **Potencial de hidrógeno (pH):** El pH no solo indica si la muestra es ácida o alcalina, sino también controla la movilidad de metales pesados, la degradación de materia orgánica, la composición química de los lixiviados, las variaciones bruscas en sus valores podrían influenciar negativamente en la eficiencia de los tratamientos aplicados (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)
- **La conductividad eléctrica:** es uno de los parámetros principales para evaluar la contaminación ambiental de una muestra, esto debido a que representa de manera indirecta las concentraciones de iones disueltos, por ello en un caso donde las concentraciones son elevadas se confirma que existe una mineralización y una carga de sales disueltas significativa (Wang & Qiao, 2024)
- **Aceites y grasas:** Es un parámetro fisicoquímico que evalúa las sustancias solubles en solventes orgánicos pero insolubles en el agua, además presenta características como la hidrofobia y la baja densidad, todo ello genera pequeñas películas que flotan en la superficie lo que dificulta el ingreso de oxígeno y también a algunos tratamientos. (Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi , & Burton, 2022)
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5):** Representa la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos degraden biológicamente la materia orgánica en un periodo de 5 días, los niveles elevados de este parámetro indican

que existe una gran carga orgánica y un mayor consumo de oxígeno en cuerpos de agua lo que afecta la vida en los ecosistemas acuáticos. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es un indicador importante para evaluar la contaminación fisicoquímica de los lixiviados por que determina la cantidad total de materia orgánica y factores biodegradables susceptible para la oxidación considerando factores para su biodegradación (Wang & Qiao, 2024).
- **Nitritos y nitratos:** Por su parte los nitritos forman parte del ciclo del nitrógeno y su presencia en elevadas concentraciones favorece a la eutrofización en cuerpos de agua, además la infiltración de lixiviados con dicho parámetro pone en riesgo las aguas subterráneas los que puede afectar fuertemente la salud, por medio de enfermedades grabes (World Health Organization, 2022)
- **Sulfatos:** Las concentraciones elevadas del sulfato incrementan la salinidad del agua y favorecen procesos de corrosión en diferentes infraestructuras de disposición de residuos sólidos y tratamiento de lixiviados, por lo que se debe tener en consideración antes de implementa un tratamiento (Environmental Science and Pollution Research, 2024)

2.2.4. Control de los lixiviados en un relleno sanitario

Los lixiviados provenientes de los rellenos sanitarios, necesitan una gestión y control de su operación, monitoreo y tratamiento, con el objetivo de reducir la contaminación del agua.

Debido a las concentraciones de los lixiviados es necesario realizar acciones que garanticen un equilibrio ambiental sostenible y cumpla con la normativa vigente. Actualmente se han estado implementando acciones de impermeabilización, almacenamiento, tratamiento y demás medidas para reducir las contracciones antes de

ser descargados al rio. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

Las principales medidas para el control de los lixiviados son las barretas impermeables, capas de arcilla compactada, geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE), estaciones de bombeo, tuberías perforadas y estructuras de almacenamiento temporal. En algunos casos también se han incluido en el diseño mecanismos para monitoreos automáticos, lo que proporciona una base de datos más amplia del comportamiento de los lixiviados. (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024).

Los programas de monitoreo son útiles para detectar oportunamente posibles riesgos de contaminación y tomas acciones preventivas, que disminuyan los impactos ambientales negativos. (Mancheno Solina, 2025)

A. Acciones en caso de detección de contaminación

Siempre existe la posibilidad de que las concentraciones de los lixiviados excedan lo permitido normativamente, por lo que las principales acciones correctivas son la revisión técnica de la cobertura de geomembranas, evaluación del estado de barreras impermeables, limpieza y mantenimiento de la infraestructura, monitoreos intensivos de parámetros fisicoquímicos, del mismo modo se implementan medidas de contención temporal y remediación inmediata. Todo ello reduce los riesgos ambientales, establece un proceso de contingencia y garantiza el cumplimiento legal. (Mancilla Peña, Díaz Antillón, Chávez Bracamontes, & Jiménez Del Toro, 2025)Asimismo, una vez confirmada la presencia de contaminación, resulta indispensable realizar estudios hidrogeológicos y evaluaciones de riesgo ambiental que permitan determinar la

magnitud de la afectación, identificar las rutas de migración del contaminante y establecer programas de recuperación ambiental.

Los resultados obtenidos deben comunicarse a las autoridades ambientales competentes y servir de base para la actualización de los programas de monitoreo y gestión ambiental del relleno sanitario. (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024)

B. Ventajas y consideraciones de la recirculación

La recirculación de lixiviados constituye una estrategia utilizada para acelerar la estabilización biológica del relleno sanitario, favorecer la producción de biogás y reducir parcialmente la concentración de materia orgánica biodegradable. Sin embargo, investigaciones recientes indican que esta técnica puede incrementar la acumulación de compuestos no biodegradables, aumentar la salinidad del lixiviado y favorecer la movilidad de determinados contaminantes si no se implementa bajo un adecuado control hidráulico y ambiental. Por ello, la recirculación debe complementarse con programas permanentes de monitoreo y evaluación hidrogeológica. (Mancheno Solina, 2025), (Wang & Qiao, 2024).

C. Mantenimiento y control operacional

El mantenimiento permanente de la infraestructura de control de lixiviados permite prolongar la vida útil del relleno sanitario, reducir los costos de operación, minimizar el riesgo de contaminación del suelo y de los recursos hídricos, y garantizar el cumplimiento de los principios de gestión integral de residuos sólidos, economía circular y sostenibilidad ambiental promovidos por los organismos internacionales. (Mancilla Peña, Díaz Antillón, Chávez Bracamontes, & Jiménez Del Toro, 2025); (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024)

2.3. Definición de términos básicos

A. Aguas residuales: Son resultado del uso de los recursos hídricos en actividades antropogénicas de tipo comercial, industrial, agrícola y doméstica dependiendo de cada uno de estos sectores el efluente contaminado puede contener materia orgánica, nutrientes, microorganismos, sólidos suspendidos, compuestos orgánicos y demás elementos que van a afectar las condiciones iniciales del agua. Además, podrían generar daños irremediables en la salud el medio ambiente y la economía de una población, debido a que las poblaciones dependen en gran manera de este recurso**:** (World Health Organization, 2022)

B. Balance hídrico: Es un registro controlado del comportamiento de un el fluido dentro de un sistema, aplicado al tema del relleno sanitarios un balance hídrico permite estimar la generación de lixiviados, considerando variables como el almacenamiento, escorrentía, infiltración, precipitación, lo que permite determinar la capacidad del relleno sanitario para el manejo de lixiviados. (Mancheno Solina, 2025),

C. Contaminación del agua: La contaminación sucede cuando se han modificado las concentraciones iniciales de un cuerpo receptor, generalmente se da cuando un elemento nuevo ha alterado negativamente las características físicas, químicas y biológicas, aquello sucede como resultado del vertimiento de aguas residuales producidas por actividades domésticas o industriales.

Las principales consecuencias se evidencian en el deterioro ambiental, en la salud de las personas y pérdidas económicas para una sociedad por lo que es necesario implementar acciones de mejora y reducción de la contaminación (United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA), 2024).

D. **Lixiviados:** Son un subproducto generado por la degradación de residuos sólidos, su concentración y peligrosidad depende del tipo de residuo del cual se originan, los lixiviados generados dentro de un relleno sanitario tienen un control y manejo más específicos, que aquellos lixiviados generados en botaderos, del mismo modo es importante destacar que los lixiviados generados en un relleno sanitario son influenciados por sus instalaciones, almacenamiento de residuos, condiciones climáticas y demás aspectos asociados a la disposición de los residuos sólidos (Chinenye Adaobi, Prosper Eguono, & Philip Ayodele, 2024).

   Los lixiviados representan un desafío ambiental no solo porque es inevitable generarlos dentro de una gestión eficiente de residuos sólidos, sino también por su alta peligrosidad para las comunidades y el medio ambiente por ello el manejo y tratamiento de estos efluentes es indispensable para garantizar una sostenibilidad ambiental (Wang & Qiao, 2024).

E. **Monitoreo**: Es un procedimiento por el cual se obtiene información útil y confiable de un tema en específico, generalmente esto sirve para determinar si existe o no calidad de algún componente ambiental. El procedimiento se desarrolla por medio de normativas vigentes las cuales indican las acciones a tomar en la recopilación, transporte y análisis de las muestras tomadas en campo. (MINAM, 2023)

F. **Muestreo:** Forma parte de las acciones asociadas a los monitoreos ambientales, consiste en obtener una parte del total, en la cual se realizan los respectivos análisis, los resultados obtenidos permitiendo contextualizar las características de dicho elemento, por ello se debe tener en cuenta que la parte extraída debe ser representativa para el estudio. (UNIR, 2025)

G. **Parámetro:** son empleados para determinar para la evaluación de aspectos ambientales como la calidad, por medio de normativas nacionales, además se

clasifican en función de sus características, en físicas, químicas o biológicas. (World Health Organization, 2022)

H. Punto de control: son la ubicación geográfica en la se realizan los monitoreos ambientales, de dichos puntos se obtiene las muestras representativas para el análisis en laboratorios, para posteriormente ser comparados con normativas de calidad como el ECA y LMP. (MINAM, 2023)

I. **Programa de monitoreo:** Es indispensables para la gestión e implementación de medidas que regulen el impacto ambiental de los contaminantes, la frecuencia de los monitoreos es determina por aspectos técnicos y normativos, además es responsabilidad de las autoridades llevar un control riguroso el cumplimiento de dicho programa. (MINAM, 2023)

J. **Protocolo de monitoreo de aguas y efluentes:** El protocolo de monitoreo de aguas y efluentes comprende el conjunto de procedimientos estandarizados que regulan las actividades de planificación, muestreo, preservación, transporte, análisis de laboratorio, aseguramiento y control de calidad de los datos obtenidos durante el monitoreo ambiental, garantizando la confiabilidad y comparabilidad de los resultados. (MINAM, 2023)

K. **Vertimiento:** corresponde a la descarga directa o indirecta de aguas residuales o efluentes provenientes de actividades antropogénicas o de cualquier otra naturaleza hacia un cuerpo receptor superficial o subterráneo. Todo vertimiento debe cumplir previamente con los límites establecidos por la normativa ambiental para evitar la degradación de la calidad del recurso hídrico y proteger la salud pública y los ecosistemas acuáticos. (Autoridad Nacional del Agua, 2023).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazú no incide significativamente en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024

2.4.2. Hipótesis especificas

a) La calidad fisicoquímica de las aguas del Rio San Jorge posterior a su interacción con los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú, no evidencia modificaciones significativas, en 2024

b) La calidad de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la zona de Gramazú no influye significativamente en la calidad del Rio san Jorge, considerando el ECA para Agua establecidos en el DS N.° 004-2017-MINAM, en 2024.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente

Calidad fisicoquímica de los llixiviados del relleno sanitario de Gramazú.

2.5.2. Variable dependiente

Calidad del cuerpo receptor (Río San Jorge)

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 2 *Matriz de operacionalización de las variables*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Nivel de medición	Técnicas e instrumentos
Variable independiente: Calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazu	Evaluación de parámetros fisicoquímicos	Valores obtenidos en el análisis de los parámetros fisicoquímicos	Aceites y grasas (mg/l)	Nominal: Presencia/ ausencia	Monitoreo ambiental
			DBO (mg/l)		
			DQO (mg/l)		
			Nitritos (mg/l)		Análisis en laboratorio
			Sulfatos (mg/l)	Intervalo/ Razón: valor numérico	
			pH (Uph)		
			Temperatura (°C)		Interpretación comparativa
			Conductividad (µS/cm)		
Variable dependiente: Calidad del cuerpo receptor (Río San Jorge)	Evaluación de alteraciones parámetros fisicoquímicos en el cuerpo receptor	Variaciones en los resultados del monitoreo aguas arriba y aguas abajo del relleno sanitario	Aceites y grasas (mg/l)	Nominal Presencia/ ausencia	Monitoreo ambiental
			DBO (mg/l)		
			DQO (mg/l)		
			Nitritos (mg/l)		Análisis en laboratorio
	Evaluación de la calidad de parámetros fisicoquímicos en el cuerpo receptor	Diferencias con la normativa ambiental para calidad del cuerpo receptor	Sulfatos (mg/l)	Intervalo/Razón: valor numérico	
			pH (Uph)		
			Temperatura (°C)		Interpretación comparativa
			Conductividad (µS/cm)		

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo, debió a que "obtiene su información con base en la medición numérica a fin de comprobar las hipótesis del estudio, establecer pautas en el comportamiento y comprobación de teorías". (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Por lo tanto, la recopilación de información corresponde a datos numéricos que representan las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las variables estudiadas, a fin de compararlos para determinar su calidad e incidencia en el medio ambiente.

3.2. Nivel de Investigación

El presente trabajo desarrolla un nivel de investigación descriptivo – comparativo, el cual permitió analizar y caracterizar los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados debido a que una investigación de este tipo "pretende recopilar información de las variables de manera individual o conjunta, que componen el estudio" (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

El enfoque descriptivo se empleó para identificar los parámetros de los lixiviados en su entorno natural generados en el relleno sanitario, proporcionando datos de sus propiedades. (Nohlen, 2020)

Por otro lado, el componente comparativo complementó el análisis descriptivo, permitiendo comparar los valores obtenidos de los lixiviados con los estándares ambientales vigentes, mejorando la evaluación ambiental y el grado de cumplimiento de la normativa, asimismo la identificación de posibles variaciones en el cuerpo receptor. (Nohlen, 2020)

Es importante mencionar que no existe una normativa ambiental nacional que se sirva para evaluar los componentes de lixiviados de rellenos sanitarios, es por ello que en esta investigación se comparara los resultados obtenidos de los lixiviados con el ECA para agua – Categoría 3 (D.S. N.° 004-2027-MINAM), debido a que la descarga de estos lixiviados interactúa directamente con el rio san Jorge (cuerpo receptor), cuyo principal uso es el riego y bebida de animales.

En conjunto, el enfoque descriptivo–comparativo permitió obtener una visión integral del comportamiento de los lixiviados, contribuyendo a la evaluación de calidad del mismo.

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación corresponde a un análisis comparativo, debido a que los análisis los parámetros fisicoquímicos de los diferentes puntos de monitoreo, fueron comparados entre ellos, con el objetivo de identificar variaciones que indique una alteración en el cuerpo receptor.

También se realizó la comparación con la normativa ambiental, con el objetivo de identificar variaciones asociadas a la calidad de los lixiviados del relleno sanitario y la incidencia en la calidad del cuerpo receptor.

Debido a la ausencia de normativa para los lixiviados del relleno sanitado a nivel nacional, se utiliza un método deductivo, aquello permite estimar su calidad con respecto a los parámetros evaluados.

3.4. Diseño de investigación

El presente estudio se ejecutó con un diseño no experimental y de corte transversal.

Es no experimental debido la investigación no manipula ni interactúa con las variables, respetando la observación inicial de las variables. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014). Por ello solo se realiza la comparación de los resultados obtenidos en campo con la normativa ambiental a fin de cumplir con los objetivos propuestos.

Es transversal porque la recolección de datos se dio en un único momento temporal, sin considerar la evolución de las variables en el tiempo. Este tipo de diseño permitió describir las variables de estudio y analizar su incidencia e interrelación en un punto específico, proporcionando una visión instantánea del fenómeno investigado (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014). En el marco de este diseño, se realizó la observación y análisis de los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados, tales como Aceites y grasas, DBO5, DQO, Nitritos, Fósforo, Sulfatos, Temperatura y Conductividad, con la finalidad de evaluar su calidad y determinar su comportamiento en condiciones reales

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Se determinó que la población comprende la totalidad de los lixiviados del relleno sanitario ubicado en la zona de Gramazu, distrito y provincia Oxapampa.

3.5.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por puntos existentes, determinados estratégicamente en función al diseño de infraestructura del relleno sanitario de Gramazú

Adicionalmente se establecieron dos puntos de monitoreo en el cuerpo receptor (Rio San Jorge) cercano al área de influencia del relleno sanitario, con la finalidad de realiza la comparación con la normativa ambiental vigente.

A. Coordenadas dentro del relleno sanitario (piezómetros).

Tabla 3 *Coordenadas dentro del relleno sanitario (piezómetros)*

Código de Estación	Coordenadas (Latitud, Longitud)	
	Este	Norte
Piezómetros		
PZ1	0 448 549	8 837 465
PZ2	0 448 496	8 837 365
PZ3	0 448 681	8 837 257
Poza de lixiviados	0 448 677	8 837 271

Fuente: elaboración propia

B. Condenadas de monitoreo en el cuerpo receptor

Tabla 4 *Condenadas de monitoreo en el cuerpo receptor*

Código de Estación	Descripción	Coordenadas (Latitud, Longitud)	
		Este	Norte
Agua superficial			
AS-OXA-01	A 50 metros de la vía de acceso (rio San Jorge)	448182	8836867
AS-OXA-02	A 300 metros de la vía de acceso (rio San Jorge)	448887	8837203

Fuente: elaboración propia

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A. Técnicas de recolección de datos

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon las siguientes técnicas de recolección de datos:

a. Muestreo de agua

Consistió en la recolección de muestras representativas en los puntos estratégicos previamente establecidos dentro del relleno sanitario y el cuerpo receptor de los lixiviados. El procedimiento para la recolección de muestras fue gestionado por la Municipalidad Provincial de Oxapampa, la cual en colaboración con entidades acreditadas (R-LAB S.A.C) para los monitoreos ambientales, los cuales siguiendo instructivos técnicos I-RTM-04: Toma de muestras en aguas naturales y salinas y I-RTM-01: Conservación y transporte de muestras de agua y suelos, realizaron el monitoreo y traslado de muestras.

b. Observación directa

Se observó el procedimiento de recolección de muestra por el equipo de R-LAB, donde se empleó un bailer para la recolección de agua de los tres puntos de monitoreo dentro del relleno sanitario (piezómetros), posterior a la recolección las muestras fueron rotuladas, se les agrego el aditivo (solo de ser necesario en parámetros específicos), finalmente fueron trasladados en coolers refrigerados, para su preservación y traslado al laboratorio.

Para la comparación con el ECA para agua establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM, se muestreo aguas superficiales del rio aguas arriba del relleno y aguas debajo de mismo.

El muestreo correspondiente a la poza de lixiviados se realizó el 02 de julio del 2024, por otro lado, el monitoreo de los piezómetros y el agua

superficial se realizó el 09 de setiembre del 2024. Las muestras fueron transportadas de inmediato al laboratorio en coolers con hielo y se preservaron según el tipo de ensayo para poder realizar los análisis de interés.

B. Instrumentos de recolección de datos

Para la aplicación de las técnicas mencionadas se utilizaron los siguientes instrumentos:

a. Cadena de custodia Permitieron documentar información de los parámetros muestreados, el lugar, la fecha y hora de muestreo.

b. Equipos de muestreo de agua: Incluyeron recipientes estériles, frascos de polietileno, conservantes y equipos auxiliares necesarios para la correcta toma y preservación de muestras.

c. Equipos de medición in situ: Se emplearon instrumentos portátiles para la medición directa de parámetros como pH, temperatura y conductividad eléctrica en campo.

d. Laboratorio de análisis de agua: Instalación acreditada por INACAL, donde se realizaron los ensayos fisicoquímicos conforme a métodos normalizados.

Las muestras recolectadas fueron sometidas a análisis fisicoquímicos por el laboratorio R-LAB acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), asegurando la precisión y validez de los resultados. Se evaluaron parámetros como: Aceites y grasas, DBO_5, DQO, Nitritos, Fósforo, Sulfatos, Coliformes termotolerantes, Temperatura y Conductividad

e. Computadora y software de procesamiento de datos: Utilizados para el registro, procesamiento y análisis estadístico de la información recolectada.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

Con la finalidad de garantizar la validez, precisión y confiabilidad de los datos obtenidos en la presente investigación, se emplearon instrumentos de medición y procedimientos analíticos debidamente acreditados y estandarizados, proporcionados por el laboratorio especializado R-LAB S.A.C. (ver Anexos).

El proceso de muestreo se llevó a cabo conforme a los lineamientos establecidos en los instructivos técnicos I-RTM-04: Toma de muestras en aguas naturales y salinas y I-RTM-01: Conservación y transporte de muestras de agua y suelos, los cuales establecen criterios específicos para asegurar la representatividad, integridad y trazabilidad de las muestras desde su recolección hasta su análisis. El cumplimiento de estos protocolos permitió minimizar errores asociados al muestreo y evitar alteraciones en las características fisicoquímicas de las muestras.

Los análisis de laboratorio son emitidos el 09 de julio de 2024 (poza de lixiviado) y el 20 de setiembre de 2024 (Piezómetros y agua superficial), los cuales incluyeron la determinación de parámetros generales, orgánicos, inorgánicos y microbiológicos de los lixiviados. Estos informes constituyeron la base técnica para evaluar el grado de cumplimiento de los resultados respecto a los estándares ambientales vigentes.

En consecuencia, la aplicación de instrumentos validados y procedimientos estandarizados fortaleció la rigurosidad científica de la investigación, asegurando la calidad de los datos obtenidos y respaldando la toma de decisiones orientadas a la gestión adecuada de los lixiviados y la mitigación de su impacto ambiental en la zona de Gramazú.

3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos

Para el desarrollo de la presente investigación, el procesamiento y análisis de los datos se realizó mediante un enfoque sistemático estructurado en tres fases: planificación, recolección de datos y análisis e interpretación de resultados.

A. Fase de planificación

En esta etapa se definieron los lineamientos metodológicos necesarios para la ejecución del estudio, estableciendo los criterios técnicos para la recolección y análisis de la información. Se determinaron los puntos de muestreo dentro del área de influencia del relleno sanitario, considerando factores como la dirección del flujo hídrico, la proximidad a las fuentes de generación de lixiviados y las posibles rutas de migración de contaminantes.

Asimismo, se establecieron los criterios para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, así como los procedimientos de campo y laboratorio, garantizando la estandarización del proceso de investigación.

B. Fase de observación y recolección de datos

Esta fase comprendió la ejecución del trabajo de campo, en la cual se realizó la observación directa y participación del equipo de RLAB SAC, siguiendo los protocolos establecidos. Se recolectaron muestras representativas de los puntos seleccionados, asegurando el cumplimiento de los criterios de calidad, conservación y transporte.

C. Fase de procesamiento, análisis e interpretación de datos

En esta etapa, los datos obtenidos fueron organizados, procesados, analizados mediante herramientas estadísticas (Excel) y comparativas. Se elaboraron tablas y gráficos para la presentación de los resultados, facilitando la visualización de la variabilidad de los parámetros evaluados.

El análisis incluyó:

- Análisis comparativo, contrastando los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para determinar el nivel de cumplimiento normativo.
- Análisis relacional, orientado a identificar la relación entre los parámetros fisicoquímicos, así como su influencia en la calidad de los recursos hídricos.

Finalmente, se realizó la interpretación de los resultados, permitido evaluar la calidad de los lixiviados con respecto a los valores obtenidos en cada punto de monitoreo.

3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante la aplicación de estadística descriptiva e inferencial, con la finalidad de analizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los lixiviados y en las aguas del área de influencia.

Asimismo, se elaboraron tablas de comparación y gráficos estadísticos, los cuales facilitaron la visualización de la variabilidad y tendencias de los datos recopilados, permitiendo una interpretación más clara de la calidad del agua evaluada.

En consecuencia, el tratamiento estadístico aplicado permitió identificar relaciones significativas entre los parámetros evaluados, proporcionando una base objetiva para la interpretación de resultados y la formulación de conclusiones sobre la calidad de los lixiviados del relleno sanitario.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque ético orientado a la protección de los recursos hídricos y la preservación del medio ambiente, considerando

los principios de responsabilidad ambiental, sostenibilidad y respeto por la salud pública. En este sentido, el estudio se fundamentó en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en el Perú, especialmente en lo establecido por la Ley Nº 29338 – Ley de Recursos Hídricos, así como en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) aplicables en el cuerpo receptor (MINAM, 2009)

Desde una perspectiva filosófica, la investigación se enmarcó en el enfoque del desarrollo sostenible, el cual promueve el equilibrio entre el crecimiento económico, la protección ambiental y el bienestar social. Este enfoque reconoce la importancia de gestionar adecuadamente los subproductos de los rellenos sanitarios, como los lixiviados, con el fin de minimizar los impactos negativos sobre los ecosistemas y garantizar la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras.

En el ámbito epistémico, el estudio se sustentó en el paradigma positivista, dado que se basó en la observación objetiva, la medición de variables y el análisis cuantitativo de datos, permitiendo generar conocimiento científico verificable y reproducible. La aplicación de métodos estandarizados de muestreo, análisis de laboratorio y tratamiento estadístico aseguró la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Asimismo, se consideraron los principios éticos de la investigación científica, tales como la honestidad, transparencia y rigor metodológico, garantizando que los datos recolectados y analizados reflejaran fielmente la realidad del área de estudio, sin manipulación ni sesgos. De igual manera, se respetaron los lineamientos técnicos establecidos en los artículos 79, 80, 81 y 82 de la Ley de Recursos Hídricos, los cuales orientan la gestión adecuada de las aguas residuales y la protección de los cuerpos receptores. (MINAM, 2009)

En consecuencia, la orientación ética, filosófica y epistémica adoptada permitió fortalecer la calidad científica de la investigación y contribuir a la generación de evidencia técnica para la adecuada gestión ambiental de los lixiviados en el relleno sanitario de la zona de Gramazú.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo de la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la calidad ambiental de los lixiviados generados en el relleno sanitario ubicado en la zona de Gramazú, distrito y provincia de Oxapampa, durante el año 2024.

La campaña de monitoreo se llevó a cabo el 02 de julio de 2024 (poza de lixiviado) y el 09 de setiembre de 2024 (Piezómetros y agua superficial), bajo la gestión de la Municipalidad Provincial de Oxapampa y con la participación del laboratorio acreditado R-LAB S.A.C., el cual aplicó procedimientos técnicos estandarizados para la toma de muestras y medición de parámetros in situ, conforme al procedimiento P-RTM-01.

Los puntos de muestreo fueron definidos estratégicamente considerando criterios técnicos como la infraestructura del relleno sanitario y la proximidad a fuentes potenciales de contaminación, la dirección del flujo hídrico y la posible migración de lixiviados, a fin de poder verificar su calidad. En este contexto, se establecieron los siguientes puntos de puntos de evaluación:

- ✓ Agua superficial: Se seleccionaron dos puntos en el río San Jorge, ubicados en el área de influencia directa del relleno sanitario, con la finalidad de evaluar la posible afectación del cuerpo receptor.
- ✓ Lixiviados dentro del relleno sanitario: Se consideraron tres puntos de muestreo (piezómetros) y un punto de control en la poza de lixiviados del relleno sanitario.

El proceso de muestreo se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en los instructivos técnicos I-RTM-04 (toma de muestras) e I-RTM-01 (conservación y transporte de muestras), garantizando la representatividad, integridad y trazabilidad de las muestras recolectadas.

Las muestras fueron almacenadas en recipientes adecuados, conservadas bajo condiciones controladas y transportadas al laboratorio para su análisis. Posteriormente, se realizaron ensayos fisicoquímicos conforme a métodos normalizados, evaluando parámetros como Aceites y grasas, DBO_5, DQO, Nitritos, Fósforo, Sulfatos, Coliformes termotolerantes, Temperatura y Conductividad.

El trabajo de campo permitió obtener información representativa y confiable sobre la calidad del agua en el área de estudio, constituyendo la base para el análisis e interpretación de resultados y la evaluación de la calidad del lixiviado generado en el relleno sanitario de Gramazú.

4.1.1. Evaluación de la condición ambiental del lixiviado en el relleno sanitario

La evaluación de la calidad de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazú se realizó en cuatro puntos estratégicos, tres en piezómetros y uno en la poza de lixiviados. Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla 5, permiten determinar las características del lixiviado, las cuales puedan influir en la calidad del cuerpo receptor, cuyos valores son comparados con el ECA agua.

Tabla 5 *Calidad del agua de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazú*

Parámetro	Unidad	PZ1	PZ2	PZ3	Poza de lixiviado
Aceites y grasas	mg/L	<1.6	<1.6	<1.6	0.9
DBO_5	mg/L	7.0	1.2	1.7	9
DQO	mg/L	39.8	28	15.8	15.2
Nitritos	mg/L	<0.01	<0.01	2.35	0.05
Sulfatos	mg/L	80	26	7.2	280
pH	—	6.2	6.6	6.8	8.5
Temperatura	°C	23.1	22.7	22.2	19.3
Conductividad	µS/cm	500	230	210	75

Fuente: Municipalidad provincial de Oxapampa

4.1.2. Evaluación de la condición ambiental del agua superficial del río San Jorge

Con la finalidad de evaluar la calidad ambiental del agua superficial del río San Jorge, se realizó un monitoreo en dos puntos representativos del área de influencia del relleno sanitario de Gramazú. Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla 6, permiten identificar el estado del recurso hídrico y su posible afectación.

Tabla 6 *Resultados de análisis del cuerpo receptor*

Parámetro	Unidad	ECA Cat. 3	AS-OXA-01	AS-OXA-02
Aceites y grasas	mg/L	5	<1.6	<1.6
DBO_5	mg/L	15	0.8	0.6
DQO	mg/L	40	6.4	5.5
Nitritos	mg/L	10	<0.01	<0.01
Sulfatos	mg/L	1000	3.27	3.17
pH	—	6.5 – 8.5	7.5	8.0
Temperatura	°C	±3°C	18.7	19.3
Conductividad	µS/cm	2500 – 5000	68	66

Fuente: Municipalidad provincial de Oxapampa

Los resultados obtenidos proporcionaron una base científica útil para identificar y evaluar la calidad de los lixiviados generados en el relleno sanitarios, teniendo en

consideración que el impacto será determinado por su interacción con el cuerpo receptor, los cuales son comparados con el ECA agua categoría 3.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Análisis e interpretación de resultados en Lixiviados del relleno sanitario

De manera similar, la Tabla 7 presenta los resultados correspondientes a cuatro muestras obtenidas en distintos puntos del proyecto. Cada punto de monitoreo fue codificado de la siguiente manera PZ1, PZ2, PZ3 y lixiviado.

La ubicación de los puntos de muestreo fue la siguiente: PZ1 se recolectó en el límite posterior frontal del área del proyecto; PZ2, en el límite posterior izquierdo; PZ3, a una distancia aproximada de 25 metros del lado izquierdo del portón principal de acceso y la poza de lixiviados ubicada al ingreso del relleno sanitario. Asimismo, se consignaron la fecha exacta de toma de muestra, realizados el 09 de setiembre de 2024 (PZ1, PZ2, PZ3) y el 2 de julio de 2024 (Lixiviado).

Tabla 7 *Monitoreo en piezómetros y posa de lixiviados del relleno sanitario*

Tipo de ensayo	**Unidad**	**PZ1**	**PZ2**	**PZ3**	**Poza de lixiviados**
Aceites y Grasas	mg/L	<1.6	<1.6	<1.6	0.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	7.0	1.2	1.7	9
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	39.8	28	15.8	15.2
Nitritos	mg/L	<0.01	<0.01	2.35	0.05
Sulfatos	mg/L	80	26	7.2	280
Potencial de Hidrógeno pH In situ	UpH	6.2	6.6	6.8	8.5
Temperatura In situ	°C	23.1	22.7	22.2	19.3
Conductividad In situ	µS/cm	500	230	210	75

Fuente: Municipalidad provincial de Oxapampa

La Figura 3 presenta la ubicación de los puntos de muestreo, expresados en coordenadas bajo el sistema WGS-84: PZ1 (N: 8837465, E: 0448549), PZ2 (N:

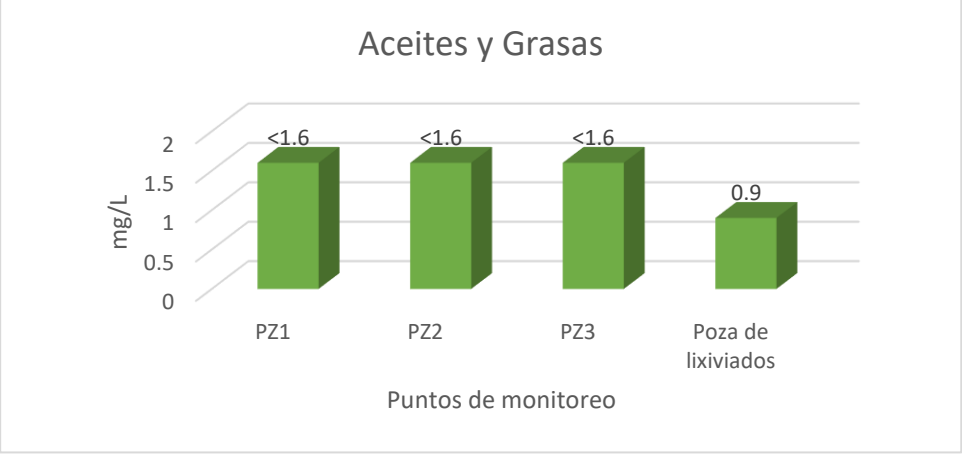
8837365, E: 0448496), PZ3 (N: 8837257, E: 0448681) y Lixiviados (N: 8837271, E: 0448677)

Los resultados obtenidos en el monitoreo de agua subterránea (Tabla 4) corresponden a tres pozos de control, identificados como PZ1, PZ2, PZ3 y Lixiviados. El propósito del análisis fue determinar la calidad del lixiviado al contrastar los valores registrados en Rio San Jorge el cual interactúa directamente con el lixiviado, debido a que dicha información puede ser analizada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Categoría 3, destinados al riego de vegetales y consumo de animales.

A. Aceites y Grasas

En los tres puntos se registraron valores menores a 1.6 mg/L, sin embargo, en la poza de lixiviados el valor obtenido es 0.9 mg/L; asimismo la mayor concentración corresponde a los piezómetros.

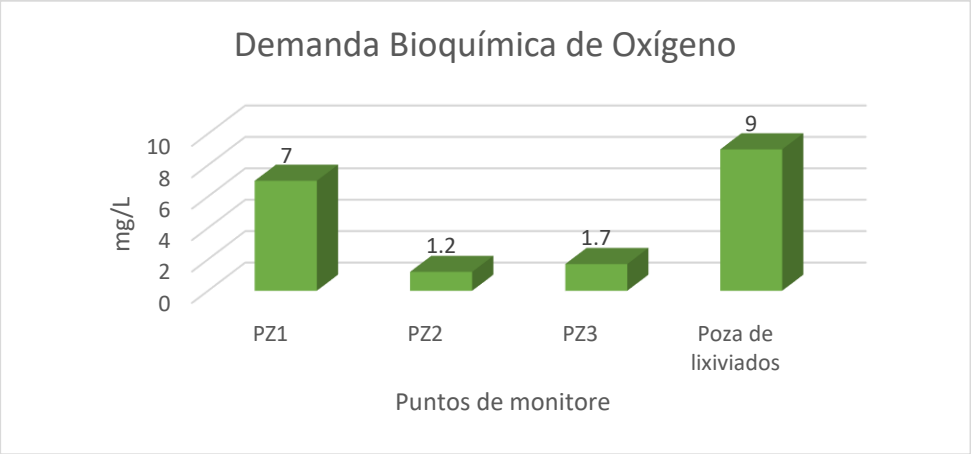
Grafica 1 *Resultados del parámetro "Aceites y grasas"*



B. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Los puntos de muestreo PZ1, PZ2, PZ3 y Lixiviado registraron concentraciones de 7 mg/L, 1.2 mg/L, 1.7 mg/L y 9 mg/L, según los resultados el mayor valor corresponde punto Lixiviados y el menor valor a punto PZ2.

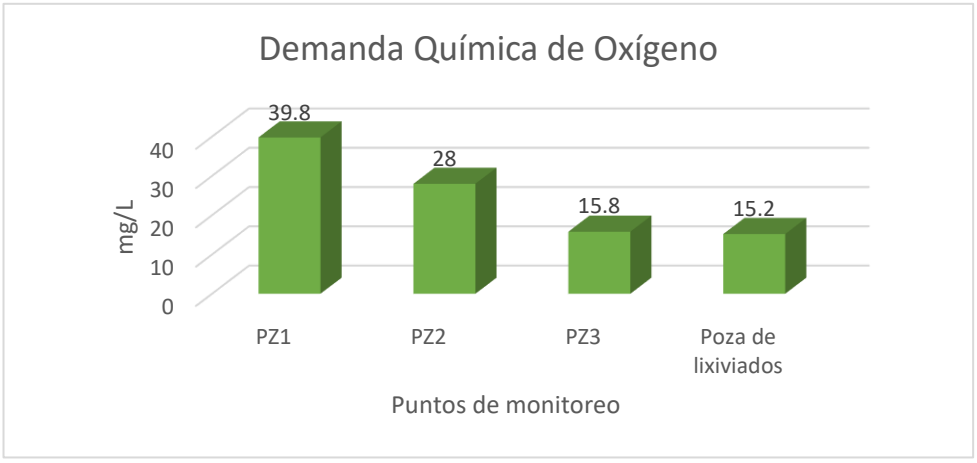
Grafica 2 *Resultados del parámetro "Demanda Bioquímica de Oxígeno"*



C. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Los puntos de muestreo PZ1, PZ2, PZ3 y Lixiviado registraron concentraciones de 39.8 mg/L, 28 mg/L, 15.8 mg/L y 15.2 mg/L, respectivamente, asimismo la mayor concentración corresponde a punto PZ1.

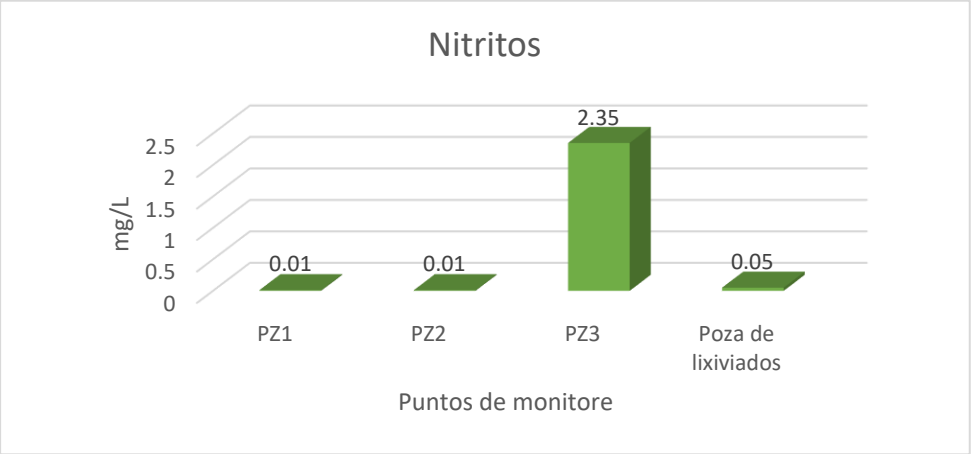
Grafica 3 *Resultados del parámetro "Demanda Química de Oxígeno"*



D. Nitritos (NO_2^-)

Los puntos de muestreo PZ1, PZ2 registraron concentraciones menores a 0.01 mg/L y el punto PZ3 presentó un valor de 2.35 mg/L, siendo este último el punto con mayor concentración.

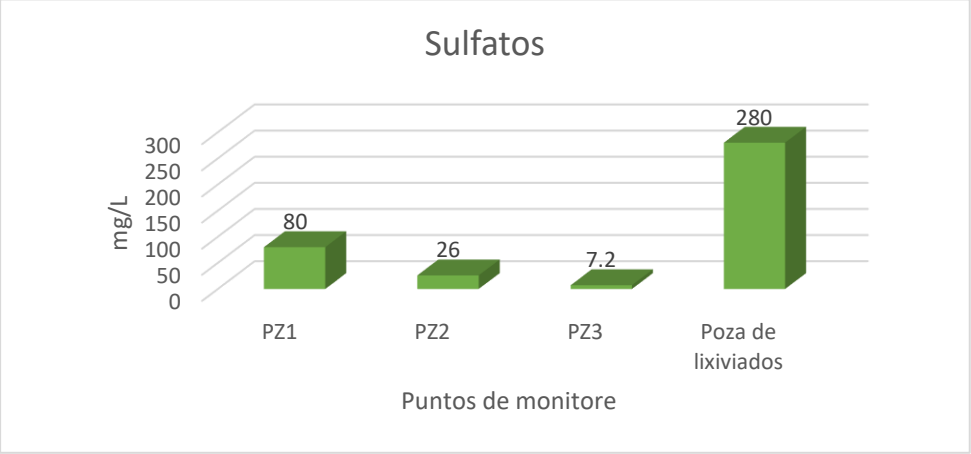
Grafica 4 *Resultados del parámetro "Nitritos"*



E. Sulfatos (SO_4^{2-})

Los puntos de muestreo PZ1, PZ2, PZ3 y Lixiviados registraron concentraciones de 80 mg/L, 26 mg/L, 7.2 mg/L y 280 mg/L, respectivamente. En este contexto la menor y mayor concentración corresponde a los puntos PZ3 y Lixiviado, respectivamente.

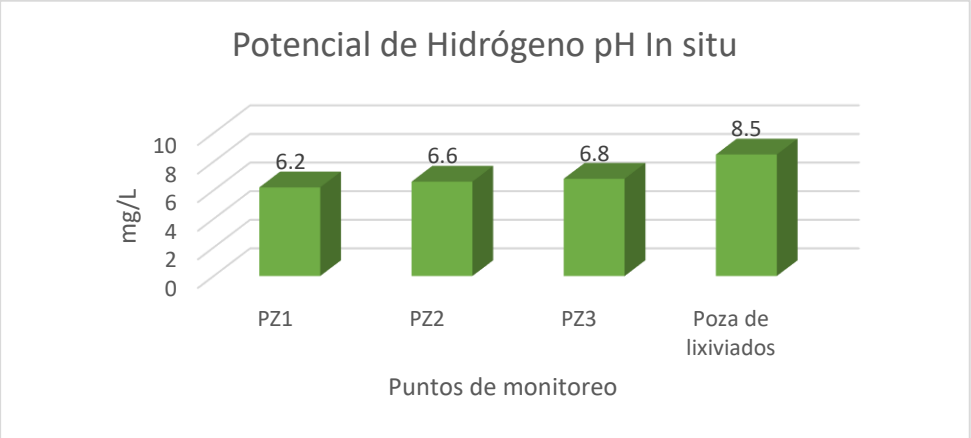
Grafica 5 *Resultados del parámetro "Sulfatos"*



F. Potencial de Hidrógeno (pH).

Los puntos de muestreo PZ1, PZ2, PZ3 y Lixiviado, registraron valores de pH de 6.2, 6.6, 6.8 y 8.5, respectivamente. El punto PZ1 presentó un valor ligeramente inferior en comparación con los demás puntos evaluados.

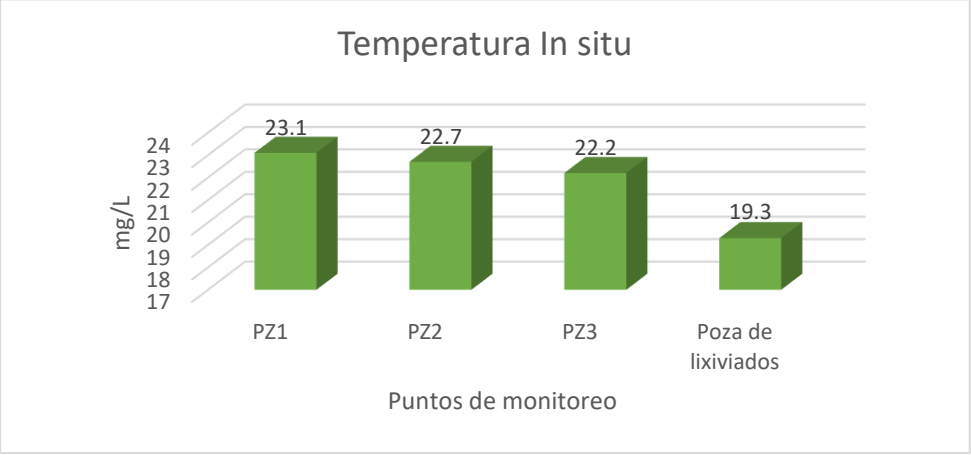
Grafica 6 *Resultados del parámetro "Potencial de Hidrógeno pH"*



G. Temperatura

Los puntos de muestreo PZ1, PZ2, PZ3 y Lixiviado registraron temperaturas de 23.1 °C, 22.7 °C, 22.2 °C y 19.3 °C, respectivamente. Se encuentra en el rango promedio de temperatura ambiental promedio (Máxima promedio: 24°C; Mínima promedio: 12°C y Anual promedio: 18°C).

Grafica 7 *Resultados del parámetro "Temperatura"*



H. Conductividad Eléctrica

Los puntos de muestreo PZ1, PZ2, PZ3 y lixiviado registraron valores de conductividad eléctrica de 500 µS/cm, 230 µS/cm, 210 µS/cm y 75 µS/cm, respectivamente, siendo que el punto de monitoreo PZ1 tiene mayor concentración.

Grafica 8 *Resultados del parámetro "Conductividad Eléctrica"*

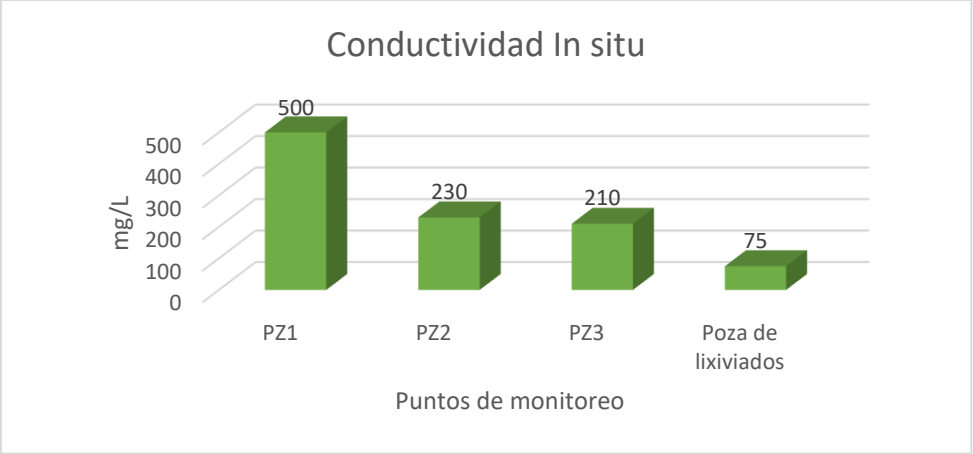


Figura 3 *Puntos de muestreo de los lixiviados*



4.2.2. Análisis e interpretación de resultados en el cuerpo receptor Rio San Jorge.

Teniendo en consideración que no existe una normativa nacional que pueda ser aplicada para determinar si la concentración de parámetros fisicoquímicos de los lixiviados representa un punto de contaminación para el medio ambiente, es por ello que se optó por evaluar su calidad con respecto al cuerpo receptor en este caso el rio San Jorge, debido a que dicho cuerpo de agua puede determinar su calidad comparado sus resultados con en el ECA para agua

La Tabla 8 presenta la información correspondiente a la toma de dos muestras de agua superficial en el río San Jorge. Cada muestra se encuentra identificada con claves internas AS-OXA-01 y AS-OXA-02. En el registro se especifica el punto exacto de recolección, señalando que la primera muestra se obtuvo a 50 metros de la vía de acceso, mientras que la segunda se tomó a 300 metros de la misma referencia. Asimismo, se consigna la fecha del muestreo, realizado el 9 de setiembre de 2024.

Tabla 8 *Agua Natural Superficial – río San Jorge*

Tipo de ensayo	Unidad	AS-OXA-01	AS-OXA-02	ECA Categoría 3	
				Riego de vegetales	Bebida de animales
Aceites y Grasas	mg/L	<1.6	<1.6	5	10
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0.8	0.6	15	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	6.4	5.5	40	40
Nitritos	mg/L	<0.01	<0.01	10	10
Sulfatos	mg/L	3.27	3.17	1000	1000
Potencial de Hidrógeno pH In situ	UpH	7.5	8	6,5 – 8,4	6,5 – 8,4
Temperatura In situ	°C	18.7	19.3	Δ 3	Δ 3
Conductividad In situ	µS/cm	68	66	2500	5000

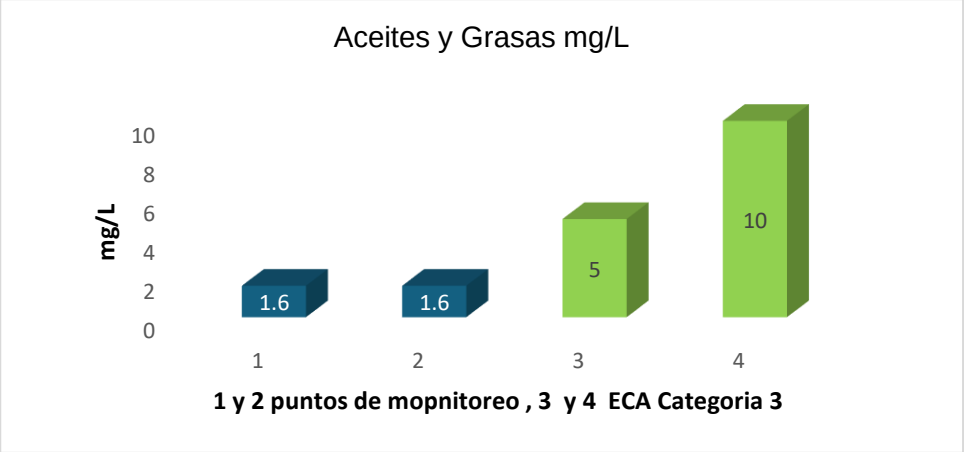
Fuente: Municipalidad provincial de Oxapampa

La ubicación geográfica de cada punto de muestreo utilizando coordenadas en el sistema WGS-84. Se encuentra en N: 8836867, E: 0448182, mientras que la segunda se localiza en N: 8837203, E: 0448887. Los monitoreos del agua Superficial – Río San Jorge (Tabla 8), muestran los siguientes resultados:

A. Aceites y Grasas

Ambos puntos de muestreo (AS-OXA-01 y AS-OXA-02) registraron valores menores a 1.6 mg/L, siendo un valor por debajo de lo indicado en el ECA categoría 3 y sus respectivas subcategorías (5-10mg/L según corresponde).

Grafica 9 *Comparación del resultado de Aceites y Grasas con el ECA*

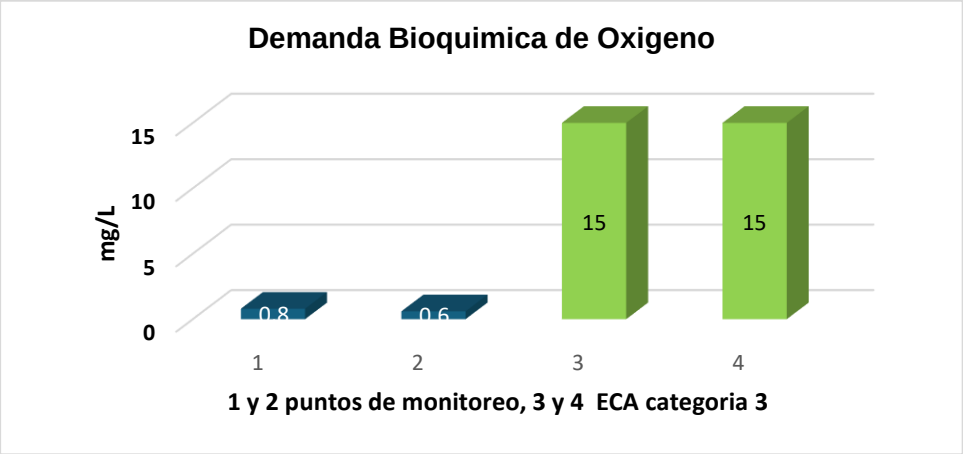


Explicación: Los aceites y grasas suelen provenir de descargas domésticas, industriales o de infiltración de lixiviados. En exceso forman películas sobre la superficie del agua que dificultan la oxigenación, alteran el hábitat acuático y afectan el riego de cultivos. En este caso, los valores bajos indican mínima contaminación por compuestos lipídicos, sin riesgo para riego ni consumo animal.

B. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Los puntos de muestreo AS-OXA-01 y AS-OXA-02 registraron concentraciones de 0.8 mg/L y 0.6 mg/L, respectivamente, valores que se encuentran considerablemente por debajo del límite máximo permitido de 15 mg/L establecido en el ECA para agua categoría 3, evidenciando una baja presencia de materia orgánica biodegradable en el cuerpo hídrico evaluado.

Grafica 10 *Comparación del resultado de DBO_5 con el ECA*

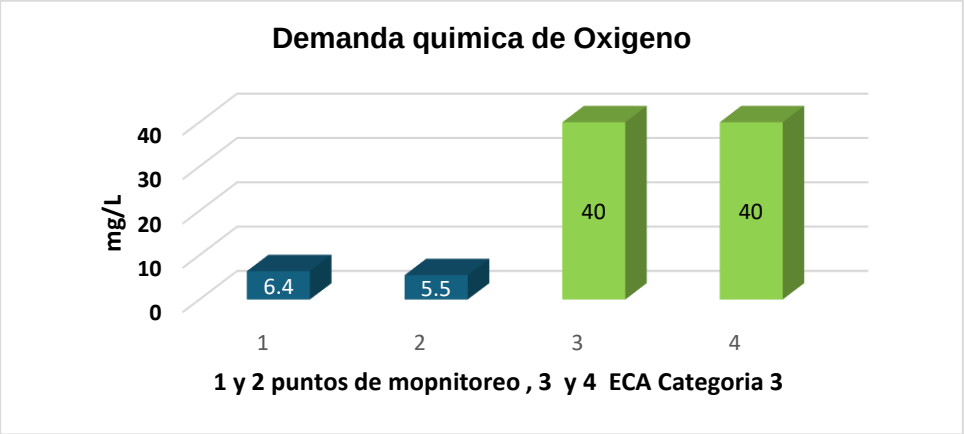


Explicación: La DBO mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua. Valores altos reducen el oxígeno disuelto, afectando la vida acuática. Los resultados muestran muy baja carga orgánica, lo que refleja que el agua tiene una buena capacidad de autodepuración y escasa presencia de desechos biodegradables. ´

C. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Los puntos de muestreo AS-OXA-01 y AS-OXA-02 presentaron concentraciones de 6.4 mg/L y 5.5 mg/L, respectivamente, valores que se encuentran por debajo del límite máximo permitido de 40 mg/L establecido en el ECA para agua categoría 3, indicando una reducida presencia de materia orgánica oxidable en el recurso hídrico evaluado.

Grafica 11 *Comparación del resultado de DQO con el ECA*

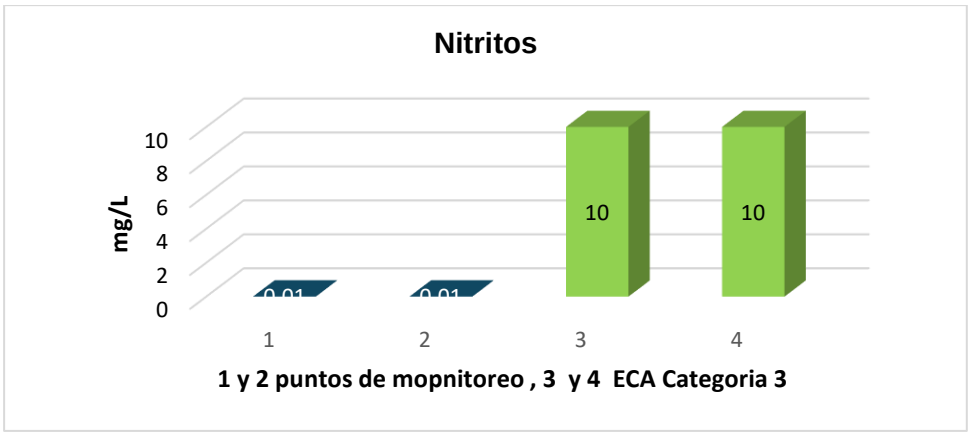


Explicación: La DQO indica la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica (no biodegradable). Valores elevados evidencian contaminación por químicos y compuestos resistentes. Los resultados muestran niveles muy bajos, lo que significa que el agua no presenta contaminantes químicos significativos.

D. Nitritos (NO_2^-)

Los puntos de muestreo AS-OXA-01 y AS-OXA-02 registraron concentraciones menores a 0.01 mg/L, valores significativamente inferiores al límite máximo permitido de 100 mg/L establecido en el ECA para agua categoría 3, evidenciando una baja concentración del parámetro evaluado en el cuerpo hídrico monitoreado.

Grafica 12 *Comparación del resultado de Nitritos (NO_2^-) con el ECA*

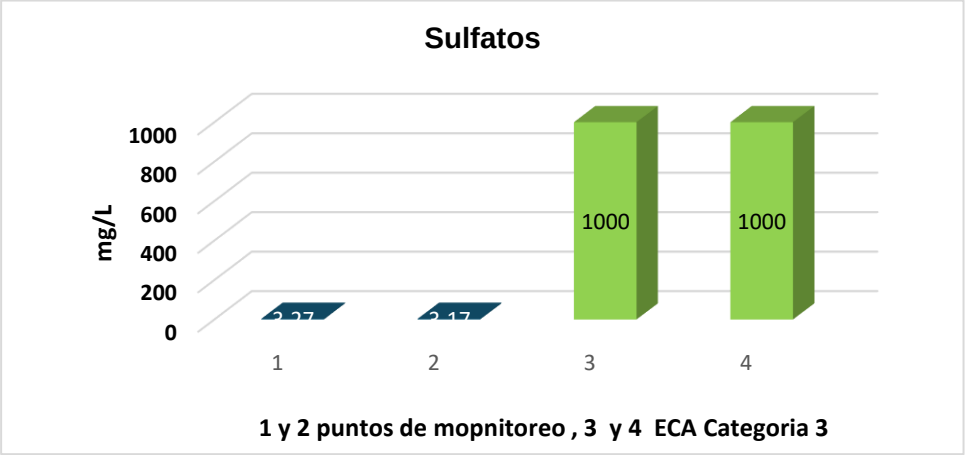


Explicación: Los nitritos provienen de procesos de descomposición de materia orgánica, aguas residuales y fertilizantes. En exceso son tóxicos para peces y animales, pues afectan el transporte de oxígeno en la sangre (“síndrome del bebé azul” en humanos). Los resultados muestran condiciones seguras, sin aporte significativo de nutrientes contaminantes.

E. Sulfatos (SO_4^{2-})

Los puntos de muestreo AS-OXA-01 y AS-OXA-02 registraron concentraciones de 3.27 mg/L y 3.17 mg/L, respectivamente, valores considerablemente inferiores al límite máximo permitido de 1000 mg/L establecido en el ECA para agua categoría 3, evidenciando una baja concentración del parámetro evaluado en el recurso hídrico monitoreado.

Grafica 13 *Comparación del resultado de Sulfatos (SO_4^{2-}) con el ECA*

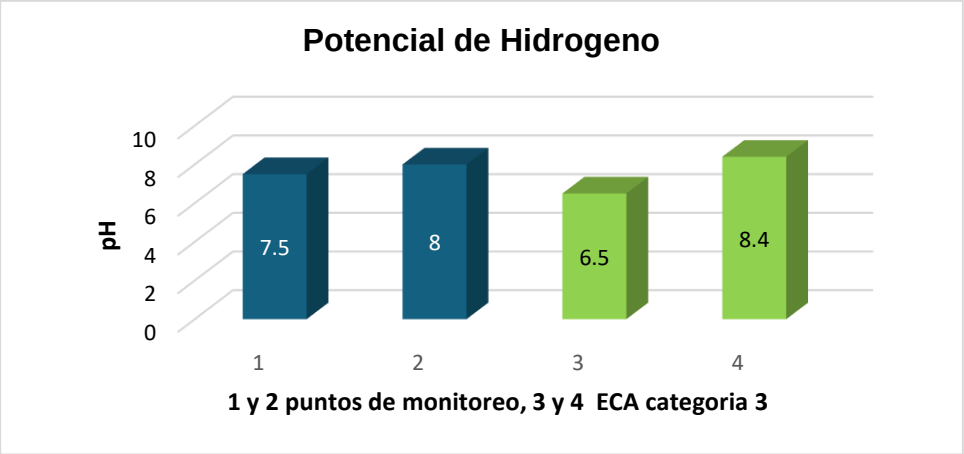


Explicación: Los sulfatos provienen de la descomposición de materia orgánica, residuos industriales o aguas ácidas de mina. Altas concentraciones pueden alterar el sabor del agua e incluso tener efectos laxantes en animales. En este caso, los valores son extremadamente bajos, indicando que no hay influencia antrópica importante.

F. Potencial de Hidrógeno (pH)

Los puntos de muestreo AS-OXA-01 y AS-OXA-02 registraron valores de pH de 7.5 y 8.0, respectivamente, encontrándose dentro del rango permitido de 6.5 a 8.5 establecido en el ECA para agua categoría 3, lo que indica condiciones de acidez y alcalinidad adecuadas en el recurso hídrico evaluado.

Grafica 14 *Comparación del resultado de pH con el ECA*

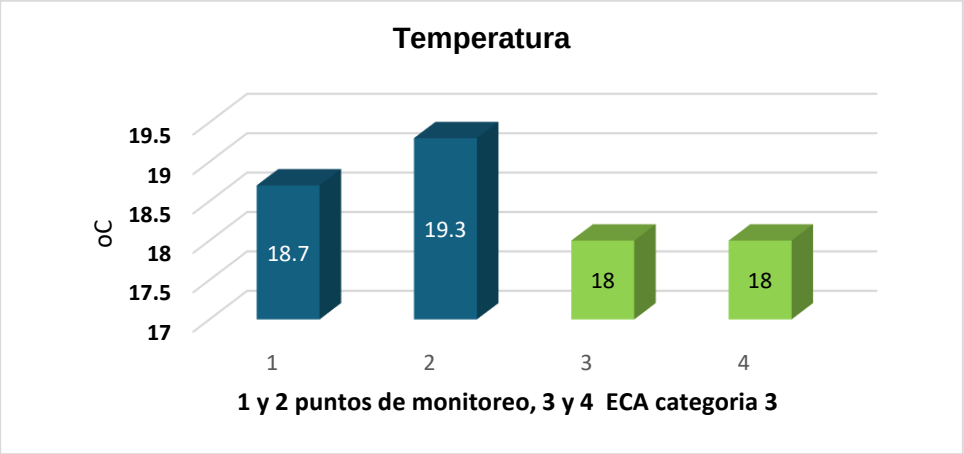


Explicación: El pH indica la acidez o alcalinidad del agua. Valores extremos afectan la solubilidad de metales y la toxicidad para organismos acuáticos. Los valores reportados se encuentran dentro del rango ideal, por lo que el agua mantiene un equilibrio químico adecuado para el uso agrícola y ganadero.

G. Temperatura

Los puntos de muestreo AS-OXA-01 y AS-OXA-02 registraron temperaturas de 18.7 °C y 19.3 °C, respectivamente, valores que evidencian condiciones térmicas estables en el recurso hídrico evaluado durante el monitoreo realizado.

Grafica 15 *Comparación del resultado de Temperatura con el ECA*



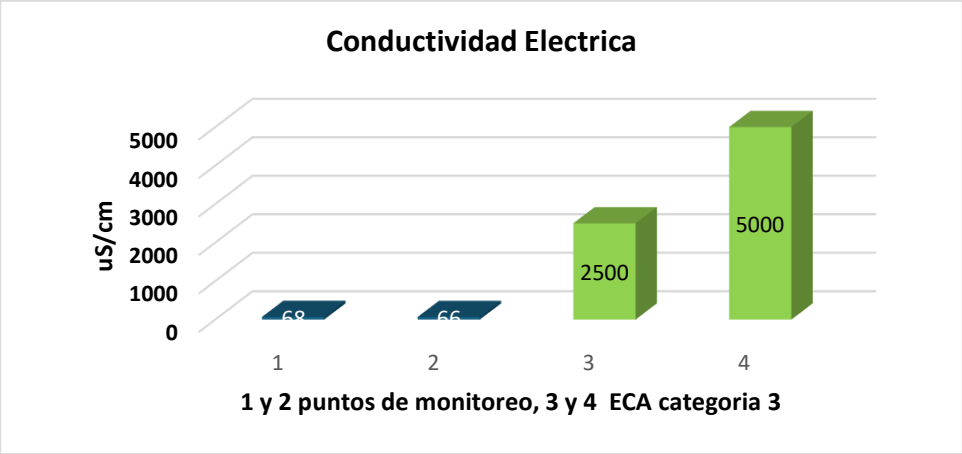
Explicación: Aunque el ECA no establece un valor límite para temperatura, este parámetro influye en la solubilidad del oxígeno y la actividad biológica. Los valores registrados son moderados y compatibles con condiciones naturales de aguas superficiales, sin alteraciones térmicas significativas. Δ 3: expresa un cambio de 3 °C con relación al promedio histórico mensual del área de evaluación.

Nota: las temperaturas promedio son, Máxima 24°C; Mínima 12°C y Anual 18°C)

H. Conductividad Eléctrica

Los puntos de muestreo AS-OXA-01 y AS-OXA-02 registraron valores de conductividad eléctrica de 68 µS/cm y 66 µS/cm, respectivamente, encontrándose muy por debajo de los límites establecidos en el ECA para agua categoría 3, correspondientes a 2500 µS/cm para la subcategoría D1: riego de vegetales y 5000 µS/cm para la subcategoría D2: bebida de animales, evidenciando una baja concentración de sales disueltas en el recurso hídrico evaluado.

Grafica 16 *Resultado de Conductividad Eléctrica con respecto al ECA*



Explicación: La conductividad refleja la concentración de sales disueltas en el agua. Valores altos pueden afectar cultivos y consumo animal. Los resultados muestran niveles muy bajos, lo que indica baja mineralización y ausencia de contaminación salina.

Figura 4 *Puntos de monitoreo en el cuerpo receptor - Rio San Jorge*



4.3. Prueba de Hipótesis

En la presente investigación se realizó la contrastación de la hipótesis planteada con la finalidad de determinar si la calidad ambiental de los lixiviados generados en el

relleno sanitario de Gramazú influye significativamente en la calidad de los recursos hídricos superficiales del área de influencia. Para ello, se analizaron los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante el monitoreo ambiental realizado en el año 2024, comparándolos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM.

4.3.1. Hipótesis general

H_0 (Hipótesis nula): La calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazú no incide significativamente en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024

H_1 (Hipótesis alterna): La calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazú incide significativamente en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024

Interpretación de resultados

Aunque los monitoreos de parámetros fisicoquímicos realizados dentro del relleno sanitario en los puntos PZ1, PZ2, PZ3 y lixiviados1; no pueden ser comparados con ninguna normativa de calidad a nivel nacional, se evaluó su calidad por medio de su interacción en el cuerpo receptor.

Teniendo en consideración que las concentraciones de los lixiviados y los resultados en el cuerpo receptor, presentaron diferencias poco relevantes entre los puntos AS-OXA-01 y AS-OXA-02, se puede deducir que existe calidad de los lixiviados en el relleno sanitario y su incidencia sobre el Rio San Jorge no es significativa. Por ello, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

4.3.2. Hipótesis especificas

A. Hipótesis específica 1

H_0 (Hipótesis nula): La calidad fisicoquímica de las aguas del Rio San Jorge posterior a su interacción con los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú, no evidencian modificaciones significativas, en 2024

H_1 (Hipótesis alterna): La calidad fisicoquímica de las aguas del Rio San Jorge posterior a su interacción con los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú, evidencian modificaciones significativas, en 2024

Interpretación de resultados

El estudio realizado dos monitoreos en el cuerpo receptor el primero realizado aguas arriba (antes del relleno sanitario), aquella muestra no interactuó con los lixiviados, por lo que sirve como base, por otro lado, el monitoreo aguas abajo (después del relleno sanitario), es una muestra que ya tubo interacción con los lixiviados generados en el relleno sanitario, al realizar la comparación, la mayor variación fue de 0.9 para el parámetro de DQO, sin embargo aquello no representa un impacto significativo para sus concentraciones, por lo que podemos decir que la intervención de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazu, no está generando modificaciones en el cuerpo receptor rio San Jorge. Por ello, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

B. Hipótesis especifica 2

H_0 (Hipótesis nula): La calidad de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la zona de Gramazú no influye significativamente en la calidad del Rio san Jorge, considerando el ECA para Agua establecidos en el DS N.° 004-2017-MINAM, en 2024.

H_1 (Hipótesis alterna): La calidad de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la zona de Gramazú, influye significativamente en la calidad del Rio san Jorge, considerando el ECA para Agua establecidos en el DS N.° 004-2017-MINAM, en 2024.

Interpretación de resultados

La calidad del cuerpo receptor fue determinada por medio del monitoreo del Rio San Jorge, el cual es el más próximo a la descarga de lixiviados provenientes del relleno sanitario, los análisis de ambos puntos de monitoreo fueron comparados con la categoría 3 del estándar de calidad ambiental para agua DS N°004-2017-MINAM, los resultados muestran que los parámetros analizados cumplen con los limites indicados en la noma, por lo que no generan un impacto negativo en el cuerpo receptor. Por lo tanto, se da valides a la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

4.4. Discusión de resultados

En el análisis de los parámetros fisicoquímicos, en los piezómetros, agua superficial, como en la poza de lixiviados del relleno sanitario de Gramazu durante el año 2024, se identifica la influencia de los lixiviados en el ambiente, considerando la metodología y los instrumentos (ECA categoría 3) empleados en la evaluación de cada componente ambiental.

Durante la investigación realizada los resultados obtenidos revelan que en el cuerpo receptor los parámetros Aceites y grasas, DBO_5, DQO, Nitritos, Sulfatos, pH, Temperatura y Conductividad, se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

Aunque los valores obtenidos cumplen con la normativa vigente en el cuerpo receptor y teniendo como referencia dicha norma, se infiere que algunas muestras

obtenidas dentro de relleno sanitario, como pH, DBO, DQO y presentan concentraciones que podrían comprometer la calidad del Rio San Jorge.

Los resultados obtenidos durante el monitoreo de la poza de lixiviados y piezómetros evidenciaron que los niveles pH comprendidos entre 6.2 y 8.5, lo que demuestra su estabilidad, a fin de poder ver su posible incidencia en el ambiente se tiene en cuenta los valores mencionados en el referente normativo, en donde solo se evidencia un ligero incremento para el apartado "D2 Bebida de animales". Sin embargo, esto no afecta las concentraciones en el Rio San Jorge.

Asimismo, al comparar los resultados obtenidos con investigaciones previas, se observa similitud con lo reportado por (Cruz Quispe, 2022), quien evaluó fuentes de agua cercanas al relleno sanitario de Puno y obtuvo una concentración de 8.6 de pH en la sub categoría D2 Bebida de animales, concluyendo que los valores registrados no representaban un impacto ambiental considerable.

Los resultados obtenidos en el análisis de la poza de lixiviados (DBO: 9 mg/l y DQO: 15.2 mg/l) y de los piezómetros PZ1 (DBO: 7 mg/l y DQO: 39.8 mg/l), PZ2 (DBO:1.2 y DQO: 28 mg/l) y PZ3 (DBO: 1.7 mg/l y DQO: 15.8 mg/l) evidenciaron concentraciones por debajo de lo indicado en la normativa ambiental, no obstante el monitoreo de DQO en el punto PZ1 está muy próximo a superar el límite por lo que se debe tener en consideración dicho aspecto, lo que indica la presencia de una importante carga de materia orgánica.

Además, al evaluar la calidad del agua en el cuerpo receptor de los lixiviados y comparar los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3, se determinó que los parámetros analizados se mantienen dentro de los valores permisibles. Estos resultados difieren de lo reportado por Velásquez Vilca, quien señala que las concentraciones de DBO_5 y DQO producto de lixiviados presentes

en el cuerpo receptor evidenciaban una elevada carga contaminante, generando una afectación en la calidad del agua. (Velasquez Vilca, 2021)

En ese sentido, los resultados obtenidos en la presente investigación indican que, durante el periodo de evaluación, los lixiviados no estarían afectando significativamente las características químicas del cuerpo receptor del río San Jorge. Esta diferencia respecto a lo reportado por Velásquez Vilca, podría estar asociada a diversos factores, entre ellos la capacidad de dilución del cuerpo receptor y, principalmente, las diferencias en la infraestructura y manejo de los residuos sólidos. (Velasquez Vilca, 2021)

En el caso de la ciudad de Oxapampa, el sistema evaluado corresponde a un relleno sanitario, el cual cuenta con medidas de ingeniería para el control de lixiviados, tales como impermeabilización mediante geomembranas, sistemas de drenaje y tratamiento a través de la recirculación de lixiviados. Estas condiciones contribuyen a minimizar la infiltración y dispersión de contaminantes hacia el ambiente. (Astudillo Mejia & Landi Villa, 2025) menciona que los métodos de impermeabilización por medio de sistemas completos de HDPE y arcilla con geomembrana es altamente eficiente, por lo que convierte en la alternativa más viable para la construcción de dichas infraestructuras.

Por otro lado, el estudio realizado por Velásquez Vilca hace referencia a un botadero, donde generalmente no se dispone de sistemas de impermeabilización ni de tratamiento de lixiviados, lo que favorece la infiltración directa de contaminantes hacia el suelo y cuerpos de agua cercanos. En consecuencia, las diferencias en la gestión y control de lixiviados entre un relleno sanitario y un botadero podrían explicar la menor afectación observada en el río San Jorge durante el desarrollo de la presente investigación.

CONCLUSIONES

1. Para la evaluación de la calidad de los lixiviados de un relleno sanitario no existe una normativa aplicable a este contexto, por ello se optó evaluar su calidad por medio de su incidencia en el cuerpo receptor (Rio San Jorge), cuya evaluación de calidad se define con el DS N°004-2017-MINAM (ECA para agua categoría 3).
2. Posterior a la comparación de los resultados de laboratorio con las especificaciones normativas, se concluye que la incidencia de los lixiviados en el cuerpo receptor, no afecta significativamente las concentraciones en el agua superficial, lo que consecuencia demuestra que la calidad de dichos lixiviados es adecuada y no genera impactos.
3. Con la finalidad de identificar potenciales riesgos en las concentraciones de los lixiviados se empleó el referente normativo (ECA para agua- cat3), con el que se concluye que no existen riesgos, pero se debe tener especial atención con las concentraciones del pH, DBO y DQO, debido a que están próximos al límite.
4. La evaluación de las muestras tomadas en el cuerpo receptor, permitió identificar las concentraciones de parámetros fisicoquímicos como Aceites y grasas, DBO, DQO, Nitritos, Sulfatos, pH, Temperatura y Conductividad, antes y después de las descargas de los lixiviados del relleno sanitario, al no observar variaciones significativas en los resultados se concluye que dicha actividad no está modificando las condiciones y características iniciales del Rio San Jorge.
5. De igual forma la investigación indica las características de los lixiviados no ocasionan modificaciones en la calidad ambiental del cuerpo receptor, debido a que los resultados de monitoreo de AS-OXA-01 (después de interactuar con el lixiviado) y AS-OXA-02 (antes de interactuar con el lixiviado), no difieren de manera significativa, asimismo todos los parámetros fisicoquímicos cumplen con la normativa ambiental DS N° 004-2017-MINAM

(ECA categoría 3), por lo que lo que su incidencia no representa un riesgo para conserva la calidad del rio san Jorge.

6. Por lo tanto, se afirma que los lixiviados no estarían generando una afectación significativa sobre la calidad del cuerpo receptor evidenciando que las condiciones actuales del manejo y la calidad de los lixiviados son adecuadas respecto al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema integral de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de Gramazú, que incluya procesos químicos y biológicos, con la finalidad de reducir la carga contaminante antes de su disposición final o posible descarga al ambiente.
2. Continuar con los monitorios ambientales de los lixiviados del relleno sanitario y el cuerpo receptor (Rio San Jorge), considerando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para identificar oportunamente posibles procesos de contaminación y evaluar la efectividad de las medidas de control implementadas.
3. Implementar medidas de control microbiológico y sanitario en las pozas de lixiviados, considerando la elevada concentración de pH, DBO, DQO y coliformes termotolrantes identificada en el estudio, con el objetivo de reducir el impacto al medio ambiente.
4. Desarrollar programas de capacitación y sensibilización ambiental dirigidos al personal encargado de la operación del relleno sanitario y a la población local, promoviendo prácticas adecuadas de manejo de residuos sólidos y protección de los recursos hídricos.
5. Evaluar la aplicación de tecnologías complementarias de tratamiento, tales como humedales artificiales, procesos avanzados de oxidación o coagulación–floculación, con el propósito de mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes presentes en los lixiviados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Astudillo Mejia, A. B., & Landi Villa, J. G. (2025). Evaluación de métodos de impermeabilización en rellenos sanitarios: caso Pichacay – Cuenca. Obtenido de https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/986536b4-b2bd-400d-92cc-23720e71cc74/content

Autoridad Nacional del Agua. (25 de abril de 2018). Resolucion Jefatural N°136-2018-ANA. Obtenido de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/R.J.%20136-2018-ANA.pdf

Bonilla Curi, Y. O., & Asto Liñan, J. (13 de Diciembre de 2018). Evaluación ambiental de la disposición final de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Villa de Pasco – distrito fundición de Tinyahuarco - 2018. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/480

Carbajal, R. (2022). Reserva de biósfera de Oxapampa: rumbo a la sostenibilidad. conservamos por naturaleza. Obtenido de https://www.conservamospornaturaleza.org/noticia/reserva-de-biosfera-de-oxapampa-sostenibilidad/

Carbonel, D. (2024). Caracterización de lixiviados y análisis del índice de potencial de contaminación en dos rellenos sanitarios peruanos. Obtenido de https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/55105

Cayetano Miranda, W. (11 de 01 de 2024). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario sobre la salud de los pobladores de la comunidad de Itapalluni - Puno 2023. Obtenido de https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891/725

Chinenye Adaobi, I., Prosper Eguono, O., & Philip Ayodele, B. (1 de Abril de 2024). Floculación verde para la remediación sostenible de lixiviados de vertederos

municipales utilizando extracto de Parkia biglobosa : optimización, perspectivas mecanicistas e implicaciones para el diseño. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-024-02815-0

Cruz Quispe, N. A. (2022). Evaluar, el lixiviado del relleno sanitario de Puno, y su efecto en la salud de los pobladores de la comunidad de Itapalluni, Distrito de Puno. Obtenido de https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14891/439/Nilda_Alvez_CRUZ_QUISPE.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Deza de Cunza, G. A., & Rengifo Gonzales, L. I. (2024). Eficacia de la fiscalización ambiental en los procedimientos sancionadores de una municipalidad provincial, año 2024. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_4effea7e55c84b0c9c5a7e364cd637df

Environmental Science and Pollution Research. (5 de marzo de 2024). Perspectiva global de los residuos sólidos urbanos y los lixiviados de vertederos: generación, composición, ecotoxicidad y estrategias de gestión sostenible. Obtenido de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38443532/

Fernandez Evangelista, L., & Vásquez García, R. M. (13 de Febrero de 2024). Evaluación de la calidad de aguas del río Tingo utilizando el índice biológico como indicador, ubicados en los distritos de Yanacancha, Yarusyacán y Pallanchacra de la provincia de Pasco -2022. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4016

Florian Zavaleta, J. L. (2022). Impacto del lixiviado del relleno sanitario de Cajamarca en la calidad del agua del Río Cajamarquino, distrito de Jesús, en el año 2021. Obtenido de https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_45c7ff6419733856378ff97182cd2237

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. Obtenido de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Composición actual y a largo plazo de los lixiviados de vertederos de RSU: Una revisión. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 297–336. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/238068310_Present_and_Long-Term_Composition_of_MSW_Landfill_Leachate

Mancheno Solina, A. L. (29 de setiembre de 2025). Analisis de Adveccion y Dispersion de Lixiviados del Relleno Sanitario Inchapo Latacunga. Obtenido de https://repositorio.utc.edu.ec/items/727a8e85-9577-4ebc-af6f-51b0f892f497

Mancilla Peña, F., Díaz Antillón, N. A., Chávez Bracamontes, R., & Jiménez Del Toro, J. C. (Septiembre de 2025). Caracterización y Análisis de Tratamiento con Arena de Mar de Lixiviados del Relleno Sanitario del Simar Sur Sureste en Jalisco México. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/395362520_Caracterizacion_y_Analisis_de_Tratamiento_con_Arena_de_Mar_de_Lixiviados_del_Relleno_Sanitario_del_Simar_Sur_Sureste_en_Jalisco_Mexico

Martinez, Massane, Ferrante, Bernava, & Yedaide. (2004). mpacto del lixiviado de rellenos sanitarios en la cuenca del arroyo Lobería: I. Caracterización de la carga contaminante. Revista Latino-Americana de Hidrogeología.

MINAM. (23 de Marzo de 2009). Ley de Recursos Hídricos N°29338. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf

MINAM. (2023). Normativa ambiental alineada a la vigilancia, control y monitoreos de la calidad ambiental. Obtenido de https://www.gob.pe/minam

Mulato Pari, B. (2021). Evaluación de la calidad del agua en el área de influencia. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/471eeaa3-5a36-47d8-9bb5-4d2f8b7e2a4f/content

Nohlen, D. (2020). EL MÉTODO COMPARATIVO*. Obtenido de https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6180/5.pdf

Oluwaseun A., M., Abdullahi O., S., & Oluwafemi S., O. (2026). Implicaciones ambientales y para la salud de los contaminantes emergentes en los lixiviados de vertederos: una revisión. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/407705382_Environmental_and_health_implications_of_emerging_pollutants_in_landfill_leachate_a_review

RAE. (2024). Definicion de Vertimiento. Obtenido de https://dle.rae.es/vertimiento

Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P., Renou, S., & Giva. (2008). Tratamiento de lixiviados de vertedero: Revisión y oportunidad. Journal of Hazardous Materials, 468-493. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407013593

Suero Sánchez, D. E. (2022). Manejo de lixiviados de la fracción orgánica de los residuos sólidos del relleno sanitario de Anta, Cusco, Perú. Obtenido de https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5370

Tchobanoglous, G., Stensel, D., Tsuchihashi , R., & Burton, F. (2022). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (2022). Obtenido de https://www.abpsoil.com/images/Books/Wastewater_Engineering_Treatment_Resource_Recovery_Metcalf_Eddy_5th.pdf

Ultraqua. (2024). Lixiviado de vertedero. Obtenido de https://ultraaqua.com/es/aplicacion/lixiviado-de-vertedero/

UNIR. (2024). Tipos de muestreo: los principales y sus características. UNIR Revistas. Obtenido de https://www.unir.net/ingenieria/revista/tipos-de-muestreo/

UNIR. (22 de Setiembre de 2025). Tipos de muestreo: los principales y sus características. Obtenido de https://peru.unir.net/revista/ingenieria/tipos-de-muestreo/

United Nations Environment Programme (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA). (28 de Febrero de 2024). Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024. Obtenido de https://www.unep.org/es/resources/perspectiva-mundial-de-la-gestion-de-residuos-2024

Velasquez Vilca, L. (2021). Evaluacion de niveles de contaminación de agua y suelo generados por lixiviado del botadero de Chilla en Juliaca 2021. Obtenido de https://es.scribd.com/document/655548668/Evaluacion-de-Niveles-de-Contaminacion-de-Agua-y-Suelo-en-El-Ex-Botadero-de-Chilla

Wang, J., & Qiao, Z. (1 de Setiembre de 2024). Una revisión exhaustiva de las tecnologías de tratamiento de lixiviados de vertederos. Obtenido de https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2024.1439128/full

World Health Organization. (21 de Marzo de 2022). Directrices para la calidad del agua potable: cuarta edición que incorpora la primera y la segunda adenda. Obtenido de https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064

Zúñiga Ruíz, P., Amaro Espejo, I., Bernal Ramírez, R., & Reyes Velázquez, C. (Agosto de 2024). Evaluación de la Calidad del Agua Subterránea Cercana a un Relleno Sanitario. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792024000100112&script=sci_arttext

ANEXOS

Anexo 1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Figura 5 *Ubicación de los puntos de recolección de muestras*



Anexo 2 Especificaciones del referente normativo

Figura 6 *Parámetros establecidos en el ECA para agua - Categoria 3*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO_3^--N) + Nitritos (NO_2^--N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO_2^--N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

Anexo 3 Matriz de consistencia

Tabla 9 *Evaluación ambiental de la calidad del agua de los lixiviados del relleno sanitario ubicado en la zona de Gramazu, distrito y provincia Oxapampa, 2024*

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	POBLACION	DISEÑO
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**V.I**	**Población**	**Método**
¿Cuál es la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024?	Evaluar la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú y su incidencia en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024.	La calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario de Gramazú no incide significativamente en el cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024	Calidad fisicoquímica de los llixiviados del relleno sanitario de Gramazu.	Los lixiviados del relleno sanitario ubicado en la zona de Gramazu,	Método descriptivo–comparativo
Problemas Específicos	**Objetivos Específicos**	**Hipótesis Específicas**	**V.D**	**Muestra**	**Nivel de investigación**
¿La calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú modifica las condiciones iniciales del cuerpo receptor Rio San Jorge, en 2024?	Determinar la calidad fisicoquímica de los lixiviados generados en el relleno sanitario del sector de Gramazú y el cuerpo receptor (Río San Jorge), en 2024	La calidad fisicoquímica de las aguas del Rio San Jorge posterior a su interacción con los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú, no evidencian modificaciones significativas, en 2024	Calidad del cuerpo receptor (Río San Jorge), 2024	Puntos existentes, determinados estratégicamente en función al diseño de infraestructura del relleno sanitario de Gramazú Adicionalmente se establecieron dos puntos de monitoreo en el cuerpo receptor (Rio San Jorge)	Nivel descriptivo–Correlaciongal
¿Cuál es la incidencia de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú sobre la calidad del agua del río San Jorge, considerando el ECA para Agua establecidos en el DS N.° 004-2017-MINAM, en 2024?	Determinar la incidencia de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario del sector de Gramazú sobre la calidad del agua del río San Jorge, considerado el ECA para Agua establecidos en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, en 2024.	La calidad de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la zona de Gramazú no influye significativamente en la calidad del Rio san Jorge, considerando el ECA para Agua establecidos en el DS N.° 004-2017-MINAM, en 2024			

Fuente: elaboración propia

Anexo 4 Panel Fotográfico

Fotografía 1 *Relleno sanitario*



Fotografía 2 *Punto de monitoreo PZ1*



Fotografía 3 *Punto de monitoreo PZ2*



Fotografía 4 *Punto de monitoreo PZ3*



Fotografía 5 *Poza de lixiviados*



Fotografía 6 *Punto de monitoreo agua superficial AS-OXA-01*



Fotografía 7 *Punto de monitoreo agua superficial AS-OXA-02*



Anexo 5 Resultados de monitoreo de lixiviados, agua superficial, certificado de acreditación, certificados de calibración, etc.