

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Caracterización fisicoquímica de los lixiviados producidos por el relleno
sanitario de Oxapampa, 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Greesy Abigail CAMPOS ROMERO

Asesor:

Mg. Pelayo Hugo VASQUEZ BERROCAL

Oxapampa – Perú - 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Caracterización fisicoquímica de los lixiviados producidos por el relleno
sanitario de Oxapampa, 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Hitlser Juan CASTILLO PAREDES
PRESIDENTE

Mg. Anderson MARCELO MANRIQUE
MIEMBRO

Mg. Jorge Zuriel CURI AGUIRRE
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 002-2026-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:

Tesis:

**“Caracterización fisicoquímica de los lixiviados producidos por el
relleno sanitario de Oxapampa, 2024”**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Greesy Abigail, CAMPOS ROMERO

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Pelayo Hugo VASQUEZ BERROCAL

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

9 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 30 de marzo del 2026



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20164605046 soft:
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.03.2026 16:39:12 -05:00

DEDICATORIA

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme darme un día más de vida y guiar mi camino día a día, gracias.

A mis padres por creer en mí, apoyarme siempre y darme la confianza de poder seguir adelante con mis estudios a pesar de muchas dificultades, sin ellos este trabajo de investigación no sería posible y por ayudarme a cumplir esta meta.

A mis hermanos que estuvieron presentes en esta etapa y siempre dándome aliento para lograrlo.

Agradecerles a todos mis docentes por transmitirme los conocimientos necesarios en cada ciclo, por alentarme a seguir adelante y haberme acompañado durante mi formación profesional.

Greesy

AGRADECIMIENTO

A mis padres por el sacrificio y esfuerzo que hacen por darme siempre lo mejor, esta tesis es un testimonio de su sacrificio y amor, y me llena de orgullo honrarlos de esta manera. Gracias por inculcarme la importancia del trabajo duro y de no rendirme a pesar de las dificultades que se presenten. Los amo profundamente.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar y comparar las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados activos y pasivos generados en el relleno sanitario de Oxapampa durante el año 2024, así como evaluar su cumplimiento con la normativa ambiental vigentes, se empleó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, transversal y descriptivo-comparativo, realizando muestreos puntuales en los pozos RSL-01 (lixiviados activos) y RSL-02 (lixiviados pasivos), cuyos análisis incluyeron parámetros fisicoquímicos, carga orgánica, nutrientes y metales, determinados mediante métodos normalizados APHA y analizados estadísticamente mediante pruebas de normalidad y la prueba no paramétrica U de Mann–Whitney. Los resultados evidenciaron que los lixiviados activos presentan una elevada carga orgánica y mayores concentraciones de nutrientes, destacando valores de DBO_5 y DQO que superan los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, mientras que los lixiviados pasivos mostraron mayores concentraciones de ciertos metales, aunque sin exceder los límites normativos para carga orgánica; el análisis comparativo confirmó diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de lixiviados, concluyéndose que estos efluentes representan un riesgo potencial para el suelo y los cuerpos de agua de la zona, por lo que se requiere implementar estrategias de manejo y tratamiento diferenciadas según el tipo de lixiviado generado.

Palabras clave: Lixiviados, caracterización fisicoquímica, relleno sanitario.

ABSTRACT

This research aimed to characterize and compare the physicochemical properties of active and passive leachate generated at the Oxapampa landfill during 2024, as well as to evaluate its compliance with current environmental regulations. A quantitative approach was used, with a non-experimental, cross-sectional, and descriptive-comparative design. Point samples were taken from wells RSL-01 (active leachate) and RSL-02 (passive leachate). The analyses included physicochemical parameters, organic load, nutrients, and metals, determined using APHA standardized methods and statistically analyzed using normality tests and the non-parametric Mann-Whitney U test. The results showed that the active leachate has a high organic load and higher nutrient concentrations, with BOD₅ and COD values exceeding the maximum permissible limits established in the D.S. No. 003-2010-MINAM, while passive leachates showed higher concentrations of certain metals, although without exceeding the regulatory limits for organic load; the comparative analysis confirmed statistically significant differences between both types of leachate, concluding that these effluents represent a potential risk to the soil and water bodies of the area, and therefore require the implementation of differentiated management and treatment strategies according to the type of leachate generated.

Keywords: Leachate, physicochemical characterization, landfill.

INTRODUCCIÓN

Una adecuada gestión de los residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales retos ambientales de las ciudades actuales, especialmente en contextos donde la expansión urbana y la presión sobre los recursos naturales generan impactos ambientales significativos. Uno de los efectos críticos de la disposición inadecuada de residuos sólidos en rellenos sanitarios es la generación de lixiviados, líquidos altamente contaminantes que se producen por la percolación del agua a través de los residuos sólidos, arrastrando compuestos orgánicos, inorgánicos, nutrientes, sales y metales pesados. Los lixiviados, si no son tratados adecuadamente, pueden provocar la contaminación del suelo, cuerpos de agua superficiales y subterráneos, representando un riesgo para la salud humana y los ecosistemas.

En el Perú, la disposición final de residuos sólidos siempre ha sido históricamente deficiente, con un número limitado de rellenos sanitarios adecuados y una gestión deficiente de los lixiviados generados. En la provincia de Oxapampa, región Pasco, existe un relleno sanitario que atiende a los distritos de Oxapampa, Chontabamba y Huancabamba, en este contexto, resulta prioritario conocer la calidad de los lixiviados generados para establecer un tratamiento que minimice su impacto ambiental. Diversas investigaciones en el ámbito nacional e internacional han demostrado que la composición de los lixiviados puede variar según la edad del relleno, las condiciones climáticas, y el tipo de residuos dispuestos, lo cual hace necesaria su caracterización específica.

El objetivo de la investigación fue evaluar las características fisicoquímicas de los lixiviados producidos en el relleno sanitario de la Municipalidad Provincial de Oxapampa, como objetivos específicos, se planteó determinar la composición fisicoquímica de los lixiviados activos y pasivos, y proponer un tratamiento adecuado según sus características.

La relevancia de este estudio radica en que proporciona información técnica actualizada sobre los lixiviados del relleno sanitario de Oxapampa, permitiendo mejorar la toma de decisiones respecto a su manejo, además, contribuye al desarrollo de estrategias

sostenibles de tratamiento y control de lixiviados en rellenos sanitarios, fortaleciendo la gestión ambiental local y protegiendo la salud pública.

Para el desarrollo del trabajo se utilizó una metodología de tipo cuantitativo, no experimental, descriptivo y comparativo, centrada en el análisis de muestras de lixiviados recolectadas en dos puntos del relleno sanitario, uno en operación (lixiviados activos) y otro del área de recuperación (lixiviados pasivos). Los parámetros analizados incluyeron indicadores de carga orgánica (DBO, DQO), nutrientes (nitrógeno y fósforo), metales pesados (como aluminio, arsénico, bario, hierro, entre otros), así como parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura. Las muestras fueron analizadas en laboratorios acreditados y con equipos de medición calibrados, garantizando la confiabilidad de los resultados.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
1.3.	Formulación del problema	3
1.3.1.	Problema general.....	3
1.3.2.	Problemas específicos.....	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3
1.5.	Justificación de la investigación	4
1.6.	Limitaciones de la investigación	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	7
2.2.	Bases teóricas – científicas	10
2.3.	Definición de términos básicos.....	31
2.4.	Formulación de hipótesis.....	32
2.4.1.	Hipótesis general	32
2.4.2.	Hipótesis específicas	32
2.5.	Identificación de variables	33
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	34

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	35
------	-----------------------------	----

3.2.	Nivel de investigación	35
3.3.	Métodos de investigación	36
3.4.	Diseño de investigación.....	36
3.5.	Población y muestra	36
3.5.1.	Población	36
3.5.2.	Muestra.	37
3.6.	Técnicas e instrumentos recolección de datos	37
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	37
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	38
3.9.	Tratamiento estadístico	38
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	38

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	40
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	43
4.3.	Prueba de hipótesis	54
4.4.	Discusión de resultados.....	60

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Composición química de los lixiviados.	23
Tabla 2. Operacionalidad de variables.....	34
Tabla 3. Resultado de laboratorio de la lixiviación.....	41
Tabla 4. Límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.....	42
Tabla 5. Valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario.....	42
Tabla 6. Porcentaje de parámetros (referencia ECAs - agua)	55
Tabla 7. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk	56
Tabla 8. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas	56
Tabla 9. Prueba T para Muestras Independientes.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Esquema general de manejo de lixiviados	30
Figura 2. Demanda bioquímica de oxígeno	43
Figura 3. Demanda química de oxígeno	44
Figura 4. Fósforo total en lixiviados.....	45
Figura 5. Nitrógeno amoniacal en lixiviado	45
Figura 6. Nitrógeno total en lixiviados	46
Figura 7. Contenido de aluminio en lixiviados.....	47
Figura 8. Contenido de arsénico en lixiviados	47
Figura 9. Contenido de bario en lixiviados	48
Figura 10. Contenido de boro en lixiviados	49
Figura 11. Contenido de hierro en lixiviados.....	49
Figura 12. Contenido de magnesio en lixiviados	50
Figura 13. Contenido de níquel en lixiviados	50
Figura 14. Contenido de plomo en lixiviados	51
Figura 15. Contenido de zinc en lixiviados.....	51
Figura 16. pH de lixiviados	52
Figura 17. Temperatura de lixiviados	53
Figura 18. Conductividad de lixiviados.....	53
Figura 19. Sólidos totales disueltos en los lixiviados	54
Figura 20. Región de aceptación y rechazo, unilateral de cola derecha.....	57

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La gestión de residuos sólidos municipales es una problemática ambiental prioritaria en el Perú, especialmente en ciudades en crecimiento donde la disposición final enfrenta limitaciones técnicas y operativas (MINAM, 2019). En la provincia de Oxapampa, el incremento de la actividad urbana, turística y comercial ha generado incremento de residuos sólidos, incrementando también la producción de lixiviados dentro del relleno sanitario.

Si estos lixiviados no son adecuadamente controlados, podrían deteriorar la calidad del suelo y agua, afectando a la salud pública como también actividades socioeconómicas locales como turismo, agricultura y ganadería, pilares económicos del territorio (Orihuela Paredes, 2018). Considerando que la zona forma parte de la Reserva de Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha, el riesgo ambiental adquiere una mayor relevancia ecológica y normativa (UNESCO, 2021).

El relleno sanitario de Oxapampa constituye la infraestructura oficial para la disposición final de los residuos sólidos municipales del distrito de Oxapampa, Chontabamba y Huancabamba. Debido a las condiciones climáticas de la zona caracterizadas por una elevada precipitación anual (UNESCO, 2021) y a la naturaleza

orgánica predominante de los residuos, la generación de lixiviados es un proceso continuo y de alto impacto ambiental, estos lixiviados presentan variaciones en su composición fisicoquímica dependiendo del estado de la celda, el tiempo de degradación de los residuos y la funcionalidad del sistema de drenaje (Christensen, 2011),.

En este contexto, el relleno sanitario cuenta con celdas activas, donde se depositan residuos recientemente dispuestos y que generan lixiviados activos con altas cargas orgánicas, y con una zona de recuperación, donde los residuos tienen mayor tiempo de descomposición y generan lixiviados pasivos generalmente con menor biodegradabilidad, pero con mayor presencia de inorgánicos y metales. Sin embargo, no se cuenta con información técnica actualizada que permita caracterizar y comparar ambos tipos de lixiviados en el año 2024, tampoco se dispone de estudios que contrasten sus parámetros con la normativa ambiental vigente.

Esta falta de información limita la capacidad de la municipalidad para implementar acciones de control, tratamiento y monitoreo diferenciadas, según la etapa de degradación de los residuos. Asimismo, la ausencia de un análisis comparativo dificulta identificar qué parámetros presentan mayores riesgos y en qué etapa del proceso de degradación del relleno se originan.

En consecuencia, surge la necesidad de caracterizar fisicoquímicamente los lixiviados activos y pasivos, y comparar sus parámetros para determinar si existen diferencias significativas que justifiquen estrategias de gestión diferenciadas. La inexistencia de estudios recientes en Oxapampa respecto a este análisis constituye el vacío de conocimiento que el presente trabajo busca atender.

Este estudio es viable académica y técnicamente gracias al acceso al relleno sanitario, a los laboratorios certificados para análisis fisicoquímicos y al soporte institucional de la Municipalidad Provincial de Oxapampa, se fundamenta en un enfoque metodológico riguroso basado en normas estandarizadas (Baird & Rice, 2017) y procesamiento estadístico para garantizar validez científica

1.2. Delimitación de la investigación

El estudio se desarrolla en el relleno sanitario de Oxapampa, ubicado en el distrito y provincia de Oxapampa, región Pasco, en el relleno sanitario, ubicado a 12 Km de la zona urbana de Oxapampa, en el sector denominado San Jorge. El análisis se centra específicamente en dos zonas operativas del relleno:

- **Las celdas activas**, donde se realiza la disposición actual de los residuos sólidos municipales y se generan lixiviados activos.
- **La zona de recuperación**, correspondiente a celdas clausuradas o en proceso de cierre progresivo, donde se producen lixiviados pasivos. (Anexo E, foto E2).

Los puntos de muestreo corresponden exclusivamente a los sistemas de captación de lixiviados de cada área, según la infraestructura existente.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados activos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024?
- ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024?
- ¿Qué parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos superan los límites permisibles establecidos en la normativa nacional vigente?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados activos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024.
- Determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024.
- Identificar qué parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos superan los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente.

1.5. Justificación de la investigación

Justificación Ambiental

Los lixiviados son efluentes altamente contaminantes generados por la degradación de residuos, capaces de alterar la calidad de suelos y aguas debido a su elevada carga orgánica, inorgánica y presencia de metales pesados (Heimlich et al., 2007). En Oxapampa, las condiciones de alta pluviosidad y suelos permeables incrementan la producción e infiltración del lixiviado, aumentando el riesgo de afectación a los recursos hídricos cercanos, esenciales en la Reserva de Biósfera Oxapampa–Asháninka–Yánesha (UNESCO, 2021), por ello, determinar las características químicas del lixiviado es fundamental para prevenir impactos sobre ecosistemas estratégicos y proteger la biodiversidad local.

Justificación Social y Sanitaria

La exposición de la población humana a lixiviados sin tratamiento puede generar riesgos de salud pública por presencia de microorganismos patógenos, metales tóxicos y compuestos orgánicos persistentes (Correal et al., 2023). En relleno sanitario de Oxapampa se encuentra en el sector de Gramazú, donde comunidades y actividades económicas cercanas al relleno podrían verse afectadas si ocurre filtración o esorrentía hacia fuentes de agua usadas para consumo o riego, esta investigación contribuye a proteger la salud humana y la seguridad hídrica, aspectos prioritarios en la gestión ambiental municipal (OPS-OMS, 2020).

Justificación Científica y Técnica

El comportamiento químico del lixiviado cambia con la edad del residuo, los lixiviados activos presentan mayor carga de materia orgánica biodegradable, mientras que los lixiviados pasivos contienen mayores niveles de sustancias recalcitrantes y metales pesados (Morales Corozo, 2022). Evaluar estas variaciones permite establecer el estado de degradación de los residuos y seleccionar tecnologías de tratamiento compatibles con la composición predominante, esta investigación genera evidencia científica local necesaria para profundizar el conocimiento sobre contaminación por residuos sólidos en la región andino-amazónica.

Justificación Metodológica

La caracterización fisicoquímica del lixiviado mediante normas técnicas internacionales permite obtener datos confiables y comparables con otros estudios. El análisis estadístico de diferencias entre tipos de lixiviado permite fortalecer la validez de los resultados y la aplicabilidad de los hallazgos para optimizar el diseño y operación de sistemas de captación y tratamiento, este enfoque empírico fortalece la rigurosidad metodológica y proporciona insumos para futuras investigaciones experimentales en tratamiento de lixiviados.

Justificación Normativa e Institucional

El Perú exige que la disposición final de residuos sólidos minimice impactos al ambiente y cumpla con estándares de calidad, como los Estándares de Calidad Ambiental para Agua D.S 04-2017-MINAM (MINAM, 2017) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (MINAM, 2010). Sin embargo, no existe aún normativa específica sobre lixiviados municipales, lo cual vuelve necesaria la evaluación técnica para su gestión segura, los resultados de esta investigación aportarán evidencia para apoyar decisiones de la municipalidad de Oxapampa y futuras adecuaciones regulatorias.

1.6. Limitaciones de la investigación

A pesar de que se logró caracterizar parámetros fisicoquímicos relevantes del lixiviado del relleno sanitario de Oxapampa, se identificaron ciertas limitaciones

metodológicas y operativas que deben ser consideradas al interpretar los resultados:

El muestreo se realizó en un periodo específico del año, lo cual no permite evaluar completamente la variabilidad estacional asociada a las fuertes lluvias de Oxapampa que incrementan la generación y dilución del lixiviado, los resultados deben interpretarse dentro del marco temporal de la campaña ejecutada.

El estudio se enfocó en la calidad fisicoquímica, por lo que no se incluyeron parámetros microbiológicos ni ensayos ecotoxicológicos, que podrían complementar la evaluación integral del riesgo ambiental del lixiviado sobre cuerpos de agua y suelos.

Algunos parámetros que requieren equipamiento instrumental de alta especialización como contaminantes orgánicos persistentes (COP) o compuestos farmacéuticos no fueron analizados, por lo que la caracterización se centró en indicadores críticos más comunes: materia orgánica, sólidos disueltos, nutrientes y metales.

Se determinaron niveles de contaminantes en el lixiviado, pero no se evaluó su posible migración hacia aguas subterráneas o superficiales, debido a la falta de piezómetros e infraestructura de seguimiento del flujo subterráneo en el entorno del relleno.

El Perú no cuenta con límites máximos permisibles específicos para lixiviados municipales, por lo que la comparación se realizó con la normativa para efluentes o con Estándares de Calidad Ambiental para Agua, lo cual podría generar variaciones interpretativas del grado de riesgo ambiental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Internacionales

En un estudio realizado por, Del Ángel-Hernández et al., (2013), en el relleno sanitario "El Verde" de la ciudad de León, Guanajuato, México, se caracterizaron los lixiviados generados en dicho relleno. Los resultados mostraron que los lixiviados presentaban un pH aproximado de 8.4, concentraciones de cromo total de hasta 34 mg/L, una salinidad de 0.313 M (expresada como NaCl) y una concentración de amoníaco de 5700 mg/L. Además, se observaron diferencias significativas en las concentraciones de algunos contaminantes entre los lixiviados recién generados y aquellos que se encontraban almacenados en lagunas, lo que sugiere la ocurrencia de procesos de sedimentación, oxidación y otros factores ambientales que afectan la composición de los lixiviados.

Estos hallazgos resaltan la importancia de caracterizar y comprender la composición fisicoquímica de los lixiviados producidos en rellenos sanitarios, ya que esta información es fundamental para el diseño y selección de tratamientos adecuados que permitan su gestión y disposición final de manera ambientalmente segura.

En el estudio realizado por Morales Corozo, (2022) en el relleno sanitario del Cantón Gonzalo Pizarro, Ecuador, se desarrolló una metodología para calcular la cantidad de lixiviados generados a través de la evaluación del balance hídrico de los residuos sólidos en las celdas de disposición final. Los resultados mostraron una producción estimada de 786,434.25 kg de lixiviados, considerando factores como la cantidad de desechos sólidos, la precipitación fluvial, la humedad del material de cobertura, la evapotranspiración y la formación de gases.

Asimismo, el estudio resalta la importancia de caracterizar los lixiviados a través de análisis físicos, biológicos y químicos, con el fin de establecer alternativas adecuadas para el diseño de sistemas de tratamiento. Se menciona que los lixiviados pueden tener una alta carga contaminante, incluyendo la presencia de patógenos y sustancias tóxicas, lo cual requiere un enfoque específico para su gestión y tratamiento.

Estos hallazgos evidencian la necesidad de realizar una caracterización detallada de los lixiviados producidos en rellenos sanitarios, con el objetivo de comprender su composición fisicoquímica y seleccionar las tecnologías más efectivas para su tratamiento y disposición final de manera ambientalmente segura, evitando impactos negativos en los recursos hídricos, suelos y la salud de las poblaciones aledañas.

El estudio de Mayor Torrez et al., (2018) caracterizó fisicoquímicamente los lixiviados provenientes de residuos orgánicos domésticos en Armenia, Colombia. Los investigadores encontraron altos valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 4538 mg/L), demanda química de oxígeno (DQO 84634 mg/L), carbono orgánico disuelto (30468 mg/L) y azúcares reductores (35786 ppm), indicando una alta carga contaminante. También analizaron la presencia de minerales como sodio, potasio, calcio, manganeso, hierro y zinc, además de compuestos como nitratos (72,92 ppm) y fosfatos (241,19 ppm).

Este estudio demuestra que los lixiviados de residuos orgánicos domésticos

presentan cargas contaminantes elevadas, similares a los lixiviados jóvenes de rellenos sanitarios. Los autores proponen que, debido a su composición, estos lixiviados podrían ser tratados mediante biorremediación con microorganismos heterótrofos que aprovechen los nutrientes presentes.

Nacionales

La investigación realizada por Mejía Cahuana & Chire Noriega, (2023), en el distrito de Yura, ubicado en la región de Arequipa, Perú, tiene por objetivo establecer los escenarios de riesgo provocados por los lixiviados, y determinar las consecuencias ambientales y socioeconómicas de estos riesgos en el botadero de Quebrada Honda, Yura – Arequipa, la investigación empleó una metodología mixta que incluyó la recopilación de información de diversos tipos de documentación, visitas técnicas al área de estudio, análisis de muestras de suelo y encuestas aplicadas a la población local. Los aspectos metodológicos abarcaron la identificación de peligros, sus fuentes, causas y efectos, y la formulación de escenarios de riesgo basados en la ubicación, tipo de peligro, causas y consecuencias, se identificaron elementos de riesgo significativos, tales como la contaminación de suelos por metales pesados debido al rebose y filtración de pozas de lixiviados contaminantes, se determinaron impactos en la salud y economía de la población local, así como en la ganadería y agricultura debido a la exposición a contaminantes, la percepción de la población indicó una alta conciencia sobre los incidentes relacionados con los lixiviados y su impacto negativo en la calidad de vida y el medio ambiente local, llegando a la conclusiones que los lixiviados del botadero de Quebrada Honda representan un riesgo significativo para el entorno natural, humano y socioeconómico. Los hallazgos subrayan la necesidad de implementar medidas de mitigación y control para reducir los impactos negativos de estos lixiviados en la comunidad de Yura y su entorno.

Sánchez Chávez, (2019), en su tesis titulada "Evaluación de los lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la Quebrada Vientojirca – Independencia – Huaraz – Ancash - 2018". Evalúa los

lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca y determinar el impacto ambiental en la Quebrada Vientojirca, con el fin de medir el grado de contaminación y proponer métodos técnicos para mejorar el tratamiento de los lixiviados y minimizar los impactos ambientales. El autor desarrollo la investigación en tres etapas: Primera etapa: Reconocimiento del ámbito de estudio. Segunda etapa: Elaboración del plan de recolección de datos, identificación de puntos de muestreo tanto en el botadero de Carhuashjirca como en el cuerpo de agua de la Quebrada Vientojirca, recolección y traslado de muestras al laboratorio de calidad ambiental de la UNASAM. Tercera etapa: Análisis y comparación de los resultados obtenidos con la normativa vigente. Llegando a los siguientes resultados: Los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados se encontraron dentro de los límites máximos permisibles. Los parámetros de metales totales, microbiológicos y bioquímicos excedieron estos límites según la normativa ambiental vigente, convirtiendo a estos lixiviados en sustancias potencialmente contaminantes para la Quebrada Vientojirca. El agua de la Quebrada Vientojirca no es apta para consumo humano. Donde se concluyó que los lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca representan una fuente de contaminación significativa para la Quebrada Vientojirca. Se propuso como solución cambiar las tuberías de recirculación, ampliar los tanques de sedimentación y proporcionar capacitación permanente al personal del botadero para mejorar el tratamiento de los lixiviados y minimizar los impactos ambientales en la Quebrada Vientojirca.

Merino Álvarez, (2022), en su trabajo de investigación, “Caracterización fisicoquímica de los lixiviados en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca, año 2021” demuestra los lixiviados de los rellenos sanitarios de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, se encuentran con una concentración elevada; obteniendo resultados como: la DQO, con un valor de 1833 mg/L; la DBO5, con un valor de 41 mg/L; los sólidos totales en suspendidos, con un valor de 80 mL/L.

2.2. Bases teóricas – científicas

Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU):

Definición:

Los residuos sólidos urbanos son aquellos generados por las actividades domésticas, comerciales, institucionales y de servicios públicos que no contienen materiales peligrosos. Estos residuos se caracterizan por su origen y la similitud con los residuos domiciliarios, abarcando desde basura doméstica hasta residuos de mercados, parques, jardines y establecimientos comerciales (MINAM, 2016).

Los residuos sólidos urbanos se clasifican en las siguientes categorías principales:

a. Residuos Orgánicos:

Residuos biodegradables provenientes de restos de alimentos, poda de jardines, residuos agrícolas, etc.(MINAM, 2016).

Ejemplos: Cáscaras de frutas y verduras, restos de comida, hojas y ramas.

b. Residuos Inorgánicos:

Residuos no biodegradables que pueden ser reciclados o reutilizados (MINAM, 2016).

Ejemplos: Plásticos, metales, vidrio, papel y cartón.

c. Residuos No Aprovechables:

Residuos que no pueden ser reciclados ni reutilizados y generalmente se destinan a rellenos sanitarios (MINAM, 2016).

Ejemplos: Papeles sucios, residuos sanitarios, textiles contaminados.

d. Residuos Reciclables:

Residuos inorgánicos que pueden ser procesados para fabricar nuevos productos (MINAM, 2016).

Ejemplos: Botellas de plástico, latas de aluminio, botellas de vidrio, papel y cartón limpio.

Disposición y Manejo

La gestión de estos residuos incluye actividades de recolección, transporte,

tratamiento y disposición final. La disposición final debe realizarse en rellenos sanitarios que cumplan con las normativas ambientales para minimizar los impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente.

Composición de los Residuos Sólidos Urbanos en Perú

- Materia Orgánica: 53.16%
- Residuos No Reaprovechables: 18.64%
- Residuos Reaprovechables: 18.64%
- Residuos Reciclables: 6.83%

Normativas y regulaciones: Legislación nacional e internacional sobre la gestión de residuos sólidos.

Legislación Nacional en Perú

- a. Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos. Detalla procedimientos específicos para la clasificación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos: Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).
- b. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Ley N° 1278). Ley más reciente que actualiza y refuerza el marco normativo para la gestión integral de residuos sólidos en Perú. Incluye disposiciones para la minimización de residuos, responsabilidad extendida del productor, y promueve la economía circular y el reciclaje: Congreso de la República del Perú. (2016).
- c. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024. Descripción: Documento que establece las directrices y estrategias nacionales para la gestión integral de residuos sólidos, con un enfoque en la prevención, minimización, reutilización, reciclaje y disposición final adecuada: Ministerio del Ambiente (MINAM).

Directrices Internacionales

- a. Directrices de la OMS para la Gestión de Residuos de Atención de Salud. Proporciona recomendaciones para la gestión segura y efectiva de los residuos

generados por las actividades de atención médica. Incluye procedimientos para la segregación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos.

- b. Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea (2008/98/EC): Marco legal que regula la gestión de residuos en los países miembros de la UE. Establece la jerarquía de residuos, que prioriza la prevención, reutilización, reciclaje y otras formas de recuperación antes de la disposición final: Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2008).
- c. Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) - Estados Unidos: Ley federal que regula la gestión de residuos sólidos y peligrosos en Estados Unidos. Establece estándares para el manejo seguro y responsable de estos residuos: Environmental Protection Agency (EPA).
- d. Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación: Tratado internacional diseñado para reducir los movimientos de desechos peligrosos entre naciones y, en particular, para prevenir la transferencia de residuos peligrosos de países desarrollados a países en desarrollo: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (1989).

Otros Instrumentos Internacionales

- a. Ley de Residuos de Japón: Conjunto de leyes que regulan la gestión de residuos en Japón, promoviendo la reducción de residuos y el reciclaje. Incluye la Ley de Promoción de Reciclaje de Recursos y la Ley de Gestión de Residuos: Ministerio del Medio Ambiente de Japón. (2000).
- b. Protocolo de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes: Acuerdo internacional que busca eliminar o restringir la producción y uso de contaminantes orgánicos persistentes, muchos de los cuales se encuentran en residuos peligrosos: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2001).

Impacto ambiental: Efectos de la mala gestión de los RSU sobre el medio ambiente, la salud humana y los ecosistemas.

Impacto en el Medio Ambiente

- a. **Aire:** Los RSU depositados en vertederos liberan gases tóxicos como hidrocarburos ligeros (HCB), metano (CH_4), sulfuro de hidrógeno (H_2S), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2), dioxinas, furanos, óxidos metálicos, cenizas y metales pesados. Estos gases pueden contribuir al efecto invernadero y la contaminación del aire (Dávila Sámano et al., 2024).
- b. **Agua:** Los lixiviados generados por los RSU contienen materia orgánica disuelta, sales inorgánicas, trazas de impurezas orgánicas y metales pesados. Estos lixiviados, al infiltrarse en el suelo, pueden contaminar las aguas subterráneas, afectando la calidad del agua potable y los ecosistemas acuáticos (Dávila Sámano et al., 2024).
- c. **Suelo:** La acumulación de metales pesados y otros contaminantes en el suelo puede alterar la composición química del suelo, afectando la flora y fauna local. Además, la contaminación del suelo puede afectar negativamente la agricultura y la salud de los ecosistemas terrestres (Dávila Sámano et al., 2024).

Impacto en la Salud Humana.

- a. **Enfermedades Respiratorias:** La exposición a los gases tóxicos liberados por los RSU puede causar enfermedades respiratorias, incluyendo asma, bronquitis y otras enfermedades pulmonares (Dávila Sámano et al., 2024).
- b. **Contaminación del Agua:** El consumo de agua contaminada por lixiviados puede causar enfermedades gastrointestinales y otras condiciones de salud graves debido a la presencia de metales pesados y otros contaminantes (Dávila Sámano et al., 2024).
- c. **Exposición Directa:** Las personas que viven cerca de vertederos o trabajan en

la gestión de residuos están en riesgo de exposición directa a contaminantes, lo que puede llevar a problemas de salud crónicos y agudos (Dávila Sámano et al., 2024).

Impacto en los Ecosistemas

- a. Biodiversidad:** La contaminación del suelo y el agua afecta a la biodiversidad local, pudiendo llevar a la disminución o extinción de especies sensibles a los cambios químicos en su entorno (Dávila Sámano et al., 2024).
- b. Cadenas Tróficas:** Los contaminantes pueden bioacumularse y biomagnificarse a lo largo de las cadenas tróficas, afectando a diferentes niveles de los ecosistemas, desde los productores primarios hasta los consumidores terciarios (Dávila Sámano et al., 2024).
- c. Calidad del Hábitat:** La alteración de las condiciones del suelo y el agua puede deteriorar los hábitats naturales, afectando la calidad de vida de las especies que dependen de ellos (Dávila Sámano et al., 2024).

Estas consecuencias subrayan la importancia de una gestión adecuada de los RSU para proteger el medio ambiente, la salud humana y los ecosistemas (Dávila Sámano et al., 2024).

Rellenos Sanitarios:

Diseño y operación: Descripción del diseño, construcción y operación de un relleno sanitario se definirá se acuerdo MINAM, (2018) guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario.

a. Diseño de relleno sanitario

Selección del Sitio

➤ Estudio de Selección del Terreno:

Evaluación de Múltiples Áreas Potenciales: Se analizan varias ubicaciones posibles para determinar cuál es la más adecuada para el relleno sanitario.

Factores Considerados: Proximidad a áreas urbanas, accesibilidad, tipo

de suelo, y ausencia de cuerpos de agua cercanos.(MINAM, 2018)

➤ **Consideraciones de Selección de Sitio:**

Factores Técnicos y Restricciones de Ubicación: Se incluyen aspectos legales, ambientales, y de uso del suelo.

Impacto Ambiental: Evaluación del impacto ambiental potencial y medidas de mitigación.(MINAM, 2018)

➤ **Criterios Técnicos:**

Geológicos y Hidrogeológicos: Estudio de la estabilidad del suelo y la presencia de acuíferos.

Ambientales: Impacto en la fauna y flora, así como en las comunidades cercanas. (MINAM, 2018)

➤ **Factores de Evaluación:**

Proximidad a Generadores de Residuos: Reducción de costos de transporte.

Accesibilidad: Facilidad de acceso para vehículos de recolección.

Condiciones Climáticas: Consideraciones para manejo de lixiviados y biogás.(MINAM, 2018)

Proyecto Ejecutivo

➤ **Estudios Básicos:**

Estudio Demográfico: Análisis de la población servida y proyección de generación de residuos.

Estudio de Generación de Residuos: Caracterización de residuos sólidos generados.

Información Topográfica: Mapas y levantamientos topográficos del área seleccionada.

Mecánica de Suelos (Geotecnia): Estudio de la capacidad de carga y estabilidad del suelo.

Estudios Geohidrológicos y Geofísicos: Evaluación de la presencia y

comportamiento de aguas subterráneas.

Estudio Geológico: Análisis de las formaciones geológicas del área. (MINAM, 2018)

➤ **Diseño del Relleno Sanitario Manual:**

Selección del Método de Disposición de Residuos: Método de trincheras, áreas, o relleno de cantera.

Cálculo de la Vida Útil del Relleno: Proyección de la capacidad del sitio basado en la generación de residuos.

Diseño de la Celda Diaria: Dimensiones y construcción diaria de celdas para disposición de residuos.

Sistemas de Drenaje Pluvial y de Lixiviados: Infraestructura para manejar y tratar aguas pluviales y lixiviados.

Sistemas de Monitoreo y Captación de Biogás: Instalación de pozos de extracción y sistemas de monitoreo de gases. (MINAM, 2018)

b. Construcción del Relleno Sanitario

Preparación del Sitio y proceso Constructivo

➤ **Limpieza y Desmonte del Área:**

Retiro de Vegetación y Obstrucciones: Limpieza del terreno para facilitar la construcción.

Tratamiento del Suelo Soporte: Mejora de las propiedades del suelo para soportar la estructura del relleno.

Conformación de Taludes y Cortes: Creación de pendientes para el manejo de aguas y estabilidad del relleno. (MINAM, 2018)

➤ **Construcción de Trincheras y Drenes de Lixiviados:**

Excavación y Preparación de Trincheras: Instalación de sistemas de drenaje para capturar y dirigir lixiviados.

Construcción de Celdas y Chimeneas para Biogás: Infraestructura para la disposición de residuos y manejo de gases.

➤ **Impermeabilización con Arcilla y Geomembranas:**

Capas de Protección: Uso de materiales impermeables para evitar la filtración de lixiviados al suelo. (MINAM, 2018)

c. Operación del Relleno Sanitario

Control de acceso, colocación y compactación de Residuos

Control de Vehículos y Personal: Registro y monitoreo de entradas y salidas para asegurar la seguridad y cumplimiento de regulaciones.

Métodos Eficientes de Compactación: Uso de maquinaria pesada para maximizar el espacio disponible y reducir el volumen de residuos. (MINAM, 2018)

Operación durante la conformación de la celda y cobertura

Cobertura Diaria: Aplicación de capas de tierra o material sintético para cubrir residuos y minimizar olores y proliferación de vectores.

Aplicación de Capas de Protección: Uso de materiales adecuados para la cobertura temporal y final de las celdas. (MINAM, 2018)

Monitoreo

Control de Ecurrimientos y Captación de Aguas: Infraestructura para manejar el flujo de aguas pluviales y evitar contaminación.

Medidas Preventivas y de Respuesta: Estrategias para prevenir y controlar incendios, manejo de plagas, y evitar la dispersión de materiales ligeros.

Sistemas de Detección y Tratamiento: Instalación de sistemas para detectar y tratar lixiviados y gases generados por la descomposición de residuos. (MINAM, 2018)

Procesos de descomposición residuos sólidos urbanos Descomposición

Aeróbica

La descomposición aeróbica ocurre en presencia de oxígeno. Este proceso es común en las capas superiores de los residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario, donde el oxígeno está disponible. (Christensen, 2011)

Mecanismos Biológicos:

Microorganismos Aeróbicos, bacterias y hongos utilizan oxígeno para descomponer materia orgánica; los subproductos principales son dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), la descomposición aeróbica es exotérmica, lo que genera calor y puede aumentar la temperatura del material en descomposición (Christensen, 2011).

Reacciones Químicas:

La materia orgánica (C_xH_yO_z) se oxida para producir CO₂, H₂O y energía.

Ecuación General:



Descomposición Anaeróbica

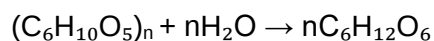
La descomposición anaeróbica ocurre en ausencia de oxígeno y es dominante en las capas más profundas de los residuos donde el oxígeno no puede penetrar (Christensen, 2011).

Mecanismos Biológicos:

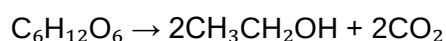
Microorganismos anaeróbicos, bacterias anaeróbicas descomponen la materia orgánica en varias etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Producen Biogás, se generan gases como metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), además de compuestos menores como sulfuro de hidrógeno (H₂S) (Christensen, 2011).

Reacciones Químicas:

Hidrólisis: Las macromoléculas orgánicas (carbohidratos, proteínas, grasas) se descomponen en moléculas más simples (azúcares, aminoácidos, ácidos grasos).(Christensen, 2011)

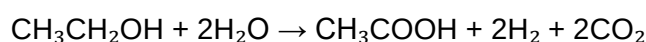


Acidogénesis: Los productos de la hidrólisis se fermentan a ácidos grasos volátiles, alcoholes y otros compuestos.(Christensen, 2011)



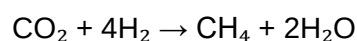
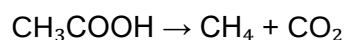
Acetogénesis: Los ácidos grasos y alcoholes se convierten en acetato, CO₂

y H₂.



Metanogénesis: El acetato y el hidrógeno se convierten en metano y CO₂.

(Heimlich et al., 2007)



Etapas de Descomposición en un Relleno Sanitario

Fase Inicial (Aeróbica):

Tiene una duración de días a semanas, se caracteriza por la presencia de oxígeno residual, rápida degradación de residuos frescos, alta producción de calor (Christensen, 2011).

Fase de Transición (Anaeróbica Inicial):

Duración de semanas a meses, y se caracteriza por consumo de oxígeno restante, aumento en la actividad de microorganismos anaeróbicos, formación inicial de ácidos grasos volátiles (Christensen, 2011).

Fase de Fermentación Ácida (Acidogénesis):

Duración de meses a años, se caracteriza por la acumulación de ácidos grasos volátiles, pH disminuye, olor fuerte, alta demanda biológica de oxígeno (DBO) (Christensen, 2011).

Fase Metanogénica:

Duración de años a décadas, se caracteriza por la conversión de ácidos grasos volátiles a metano y CO₂, estabilización del pH, disminución de la DBO. (Christensen, 2011)

Importancia de la Gestión de Descomposición

Captura de Biogás: Los rellenos sanitarios modernos están diseñados para capturar y utilizar el metano producido, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y proporciona una fuente de energía renovable (Christensen, 2011).

Manejo de Lixiviados: La correcta gestión de lixiviados es esencial para evitar la contaminación del suelo y las aguas subterráneas. Los lixiviados son tratados mediante sistemas de colección y plantas de tratamiento (Christensen, 2011).

Monitoreo Ambiental: Los rellenos sanitarios requieren un monitoreo continuo de la producción de biogás, la calidad del aire, el agua y el suelo para garantizar que no se produzcan impactos ambientales negativos (Christensen, 2011).

Lixiviados:

Definición y características:

Los lixiviados se generan en los vertederos y contienen diversos constituyentes derivados de la solubilización de los materiales depositados y de los productos de reacciones químicas y bioquímicas dentro del vertedero. En general, el lixiviado es el resultado de la precipitación, de la escorrentía no controlada y del agua de irrigación que entra en el vertedero, así como de la pérdida de humedad de los propios residuos (López Velasco, 2015).

Proceso de Generación de Lixiviados

El proceso de generación de lixiviados involucra varios factores:

- **Precipitación:** La cantidad de lluvia que se filtra a través de la masa de residuos es uno de los factores principales que influye en el volumen de lixiviados. Las precipitaciones aumentan la cantidad de agua que penetra en el vertedero, generando mayor volumen de lixiviado (López Velasco, 2015).
- **Escorrentía no controlada:** El agua de escorrentía que no se maneja adecuadamente también contribuye a la formación de lixiviados (López Velasco, 2015).
- **Irrigación:** El agua utilizada en procesos de irrigación dentro del vertedero contribuye a la generación de lixiviados (López Velasco, 2015).
- **Pérdida de Humedad de los Residuos:** Los residuos sólidos urbanos contienen humedad intrínseca que se libera a medida que los residuos se descomponen, contribuyendo a la formación de lixiviados (López Velasco, 2015).

Composición química:

Los lixiviados producidos en los rellenos sanitario tienen una composición química diversa y pueden contener varios tipos de contaminantes. Los componentes comunes de los lixiviados incluyen:

- Metales pesados: Estos incluyen plomo, cadmio, mercurio, zinc, cobre y hierro. Estos metales pueden tener diversas fuentes, como baterías, aparatos electrónicos, y plásticos, y son altamente tóxicos. Por ejemplo, el plomo puede causar lesiones cerebrales en niños e hipertensión en adultos, mientras que el mercurio puede producir daños renales y neurológicos (Chávez Montes, 2011; López Velasco, 2015)
- Compuestos orgánicos: Los lixiviados pueden contener una variedad de compuestos orgánicos, como cloruro de vinilo, cloruro de metilo, tetracloruro de carbono y clorobencenos. Estos compuestos son persistentes y bioacumulativos, lo que significa que pueden permanecer en el medio ambiente durante largos periodos y acumularse en la cadena alimentaria (López Velasco, 2015).
- Nutrientes: Los lixiviados también pueden tener altas concentraciones de nutrientes, principalmente en forma de amonio, así como fósforo total y ortofosfato. Estos nutrientes pueden contribuir a la eutrofización de cuerpos de agua, lo que puede causar un crecimiento excesivo de algas y afectar negativamente a la vida acuática (López Velasco, 2015; Suarez Robayo & Arias Valencia, 2015)
- Sales: Las concentraciones de cloruros y sulfatos suelen ser altas en los lixiviados. Estas sales pueden afectar la calidad del agua y su capacidad para ser utilizada para el consumo humano o riego (López Velasco, 2015).
- Microorganismos: Los lixiviados contienen una variedad de microorganismos, incluidos aquellos responsables de la descomposición de la materia orgánica. Estos pueden ser tanto aeróbicos como anaeróbicos, dependiendo de las

condiciones del vertedero (López Velasco, 2015).

La composición de los lixiviados puede variar considerablemente dependiendo del tipo de residuo, las condiciones climáticas y la fase de descomposición en la que se encuentren los residuos. Por ejemplo, durante la fase ácida de descomposición, el pH será bajo y las concentraciones de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), COT (Carbono Orgánico Total) y metales pesados serán altas. En contraste, durante la fase de fermentación de metano, el pH estará entre 6.5 y 7.5, y las concentraciones de estos contaminantes serán significativamente más bajas (López Velasco, 2015; Morales Corozo, 2022).

La composición de los lixiviados varía con el tiempo y depende de factores como la edad del vertedero y las condiciones ambientales. Según López Velasco, (2015), se presentan datos típicos sobre la composición de lixiviados procedentes de vertederos nuevos y antiguos. La siguiente tabla resume estos datos:

Tabla 1. Composición química de los lixiviados.

Parámetro (mg/l)	Vertedero nuevo	Vertedero antiguo
COT	6000	80-160
DBO ₅	10000	100-200
DQO	18000	100-500
Alcalinidad (como CaCO ₃)	3000	200-1000
Dureza total (como CaCO ₃)	3500	200-500
pH	6	6,6-7,5
Sólidos en suspensión	500	100-400
Nitrato	25	5-10
Nitrógeno amoniacal	200	20-40
Nitrógeno orgánico	200	80-120
Fósforo total	30	5-10
Ortofosfato	20	4-8
Calcio	1000	100-400
Cloro	500	100-400

Hierro total	60	20-200
Magnesio	250	50-200
Potasio	300	50-400
Sodio	500	100-200
Sulfatos	300	20-50

Fuente:(Christensen, 2011)

Factores que afectan la composición de los lixiviados:

- Composición de los Residuos: La naturaleza y composición de los residuos sólidos tienen un impacto significativo en la cantidad y calidad de los lixiviados generados. Residuos orgánicos, residuos industriales, y materiales peligrosos pueden alterar tanto el volumen como la toxicidad de los lixiviados (López Velasco, 2015).
- Edad del Vertedero: Los vertederos nuevos (activos) y antiguos (pasivos) producen lixiviados con diferentes características. Por ejemplo, los lixiviados de vertederos nuevos tienden a tener mayores concentraciones de materia orgánica y nutrientes, mientras que los vertederos más antiguos generan lixiviados con niveles más altos de ciertos metales pesados y otros compuestos inorgánicos (López Velasco, 2015; Montoya Salazar & Trujillo Romero, 2019).
- Condiciones Climáticas: La precipitación es uno de los factores más importantes que afectan la generación de lixiviados. Regímenes de lluvia alta pueden aumentar considerablemente el volumen de lixiviados debido a la mayor percolación de agua a través de los residuos. Asimismo, la evapotranspiración puede reducir el volumen de lixiviados en climas secos (López Velasco, 2015).
- Diseño y Operación del Vertedero: La presencia de sistemas de recubrimiento y sellado adecuados puede reducir la cantidad de agua que se infiltra en los residuos, limitando así la generación de lixiviados. Sistemas de drenaje y captación de lixiviados bien diseñados también juegan un papel crucial en la gestión y tratamiento de estos líquidos (López Velasco, 2015).
- Interacción con el Suelo y Aguas Subterráneas: La naturaleza del terreno donde

se encuentra el vertedero influye en el movimiento de los lixiviados, terrenos permeables pueden facilitar la migración de lixiviados hacia el subsuelo, mientras que suelos arcillosos pueden retardar este movimiento (López Velasco, 2015).

- **Actividades de Gestión:** La segregación y tratamiento previo de los residuos, así como el manejo de las aguas pluviales, son actividades que pueden controlar y minimizar la generación de lixiviados (López Velasco, 2015).

La generación de lixiviados es un proceso complejo influenciado por múltiples factores que deben ser considerados cuidadosamente en el diseño y operación de los vertederos para minimizar su impacto ambiental y sanitario. La comprensión de estos factores permite implementar estrategias efectivas de gestión y tratamiento de lixiviados, cruciales para la protección del medio ambiente y la salud pública.

Impacto Ambiental de los Lixiviados:

Contaminación de aguas superficiales y subterráneas:

Los lixiviados son una fuente potencial de contaminación para las aguas superficiales y subterráneas. Estos pueden infiltrarse a través del suelo y provocar contaminación, especialmente si no son recolectados, tratados y dispuestos adecuadamente. La infiltración de lixiviados en el agua subterránea puede añadir demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), agotar el oxígeno disuelto, aumentar el contenido de minerales (como cloros, sulfatos, bicarbonato, sodio y potasio), y añadir compuestos orgánicos complejos como pesticidas e hidrocarburos (Cuichan Ango, 2022; Giménez Vedia, 2019)

Efectos en el suelo y la vegetación:

La filtración de lixiviados puede afectar negativamente el suelo, causando pérdida de nutrientes y deterioro de sus capas. Esto puede dejar el suelo inservible para usos futuros, tanto en el relleno sanitario como en sus alrededores. Además, la acumulación de lixiviados puede alterar los parámetros del suelo y disminuir su calidad, afectando la vegetación y el ecosistema local (Giménez Vedia, 2019).

Riesgos para la salud humana:

La exposición a lixiviados puede tener varios impactos negativos en la salud humana. Los lixiviados pueden aumentar la proliferación de microorganismos patógenos, provocando enfermedades como diarrea, dengue y otras infecciones. Las personas que viven cerca de los rellenos sanitarios están en riesgo de sufrir problemas de salud como enfermedades respiratorias, alergias y erupciones cutáneas debido a la contaminación del aire y el agua por lixiviados (Giménez Vedia, 2019).

Tipos de tratamiento de lixiviados

Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios requieren de tratamientos adecuados, debido a su compleja composición, que incluye materia orgánica, metales pesados, amonio y compuestos refractarios. Los principales métodos de tratamiento se dividen en biológicos, fisicoquímicos y combinados.

Tratamiento Biológico

Los procesos biológicos aprovechan la capacidad de los microorganismos para degradar contaminantes orgánicos. Se dividen en:

a. Tratamiento Aeróbico

- **Lodos activados:** Es utilizado en estaciones de tratamiento de aguas residuales, permite la biodegradación de compuestos orgánicos mediante la oxigenación forzada.
- **Reactor secuencial por lotes (SBR):** Se utiliza con éxito en el tratamiento de lixiviados jóvenes, logrando la reducción de DBO y nitrógeno amoniacal.
- **Biorreactores de membrana (MBR):** Combinan procesos biológicos con filtración por membranas para eliminar contaminantes refractarios.

b. Tratamiento Anaeróbico

- **Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket):** Adecuado para lixiviados con alta carga orgánica, generando biogás como subproducto.
- **Reactor EGSB (Expanded Granular Sludge Bed):** Permite mayor eficiencia en la degradación de materia orgánica y remoción de nitrógeno.

c. Procesos Combinados

- **Nitrificación/Desnitrificación:** Convierte el amonio en nitrógeno gaseoso, reduciendo la contaminación nitrogenada.
- **Proceso Anammox:** Un tratamiento biológico avanzado que permite la eliminación de nitrógeno sin necesidad de una fuente externa de carbono.
- **Humedales construidos:** Sistemas naturales que usan sustratos y vegetación para la remoción de contaminantes.

Tratamiento Físico y Químico

Se busca la eliminación de contaminantes inorgánicos y compuestos orgánicos refractarios, mediante procesos de separación o transformación química.

a. Coagulación y Floculación

- Uso de coagulantes como cloruro férrico y policloruro de aluminio para la eliminación de sólidos y materia orgánica no biodegradable.
- Aplicación de agentes naturales como quitosano y corteza de pino, logrando remociones de hasta 91% de turbidez.

b. Adsorción

- **Carbón activado:** Remueve compuestos orgánicos recalcitrantes y metales pesados.
- **Zeolitas y resinas de intercambio iónico:** Eficaces en la eliminación de amonio y metales.

c. Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs)

- **Fotocatálisis con TiO_2 :** Descomposición de contaminantes mediante luz ultravioleta.

- **Proceso Fenton y Foto-Fenton:** Eliminación de materia orgánica mediante la generación de radicales hidroxilos.
- **Ozonización:** Desinfección y degradación de contaminantes orgánicos.

d. Filtración por Membranas

- **Ultrafiltración y Nanofiltración:** Separación de sólidos y compuestos disueltos.
- **Ósmosis inversa:** Alta eficiencia en la eliminación de sales y materia orgánica.

e. Precipitación Química

Eliminación de metales pesados y fosfatos mediante la adición de reactivos como hidróxido de calcio.

Combinación de Métodos

Los tratamientos combinados han demostrado ser más efectivos que los individuales. Algunas combinaciones incluyen:

- a. **MBR + Ósmosis Inversa:** Logra una reducción del 99% de la DQO y amonio.
- b. **Foto-Fenton + Tratamiento Biológico:** Permite tratar altos niveles de carga orgánica.
- c. **Coagulación-Floculación + Adsorción:** Mejora la eficiencia en la remoción de metales pesados.

Cálculo de generación de lixiviados.

El lixiviado es el exceso de agua que se genera dentro de los residuos, resultado de la humedad aportada, la lluvia y la capacidad de almacenamiento (capacidad de campo) de los residuos. Tchobanoglous (1994) sugiere una metodología para estimar la cantidad de lixiviados utilizando un balance hídrico en un volumen de control (área unitaria x altura del relleno) del vertedero, el balance se basa en la siguiente expresión:

Entrada de agua = Salidas de Agua + Agua almacenada

$$Pa + Pr = Gw + Gv + CC + Lv \text{ (exceso de agua)}$$

Donde:

Pa: Agua presente en el interior de los residuos, Pa (inicialmente corresponde al contenido de humedad de los residuos dispuestos, Kg/m²).

Pr: Percolación de agua lluvia hacia el interior de la masa de residuos, Kg/m².

Gw: Agua consumida en la generación de gas, Kg/m².

Gv: Agua perdida como vapor de agua en el gas, Kg/m².

CC: Capacidad de retención de agua del relleno (Capacidad de campo), Kg/m².

Lv: Exceso de agua ó producción de lixiviados, Kg/m².

La cantidad de agua que se infiltra en el interior del relleno (Pr) está determinada por las condiciones climáticas, las propiedades del material de cobertura (tipo y espesor), la pendiente final del relleno y la presencia de vegetación. Según la metodología de Tchobanoglous, esta infiltración puede estimarse mediante un balance hídrico en la cobertura final, para lo cual se emplea la siguiente expresión:

$$Pr = P - R - ETP$$

Donde:

P: Precipitación atmosférica por unidad de área, mm/m².

R: Cantidad de agua que se pierde por escorrentía superficial, por unidad de área, mm/m².

ETP: Cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración por unidad de área, mm/m².

Pr: Cantidad de agua que se infiltra a través de la materia de cobertura y entra hasta los residuos sólidos, por unidad de área, mm/m².

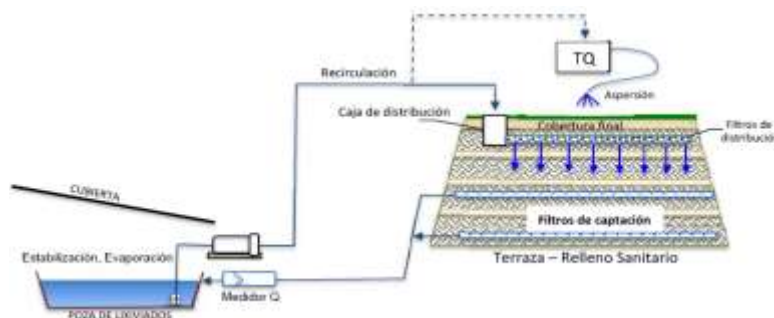
Manejo de lixiviados del relleno sanitario de Oxapampa

Para el manejo de lixiviados en el relleno sanitario de Oxapampa, se han previsto la construcción de los siguientes Componentes.

- **Captación.** Un sistema de drenaje y filtros de fondo en las Terrazas 1 y 2.
- **Conducción:** Una tubería de conducción de 8" en tubería de HDPE desde las Terrazas 1 y 2 hasta la poza de control de lixiviados.

- **Medición:** Previa a la entrada en la poza se ha previsto la colocación de un canal y vertedero triangular que permita medir el caudal de lixiviado que ingresa a la poza.
- **Tratamiento.** Comprende un proceso de regulación por medio de una poza de control y de recirculación. La poza fue construida desde la etapa de adecuación inicial y está provista de una cubierta para garantizar mejores condiciones de estabilización y promover la evaporación.

Figura 1. Esquema general de manejo de lixiviados



Fuente: Consultoría (2014)

Los lixiviados se vienen tratando con, DAC-1 y ART-12, que son nombres comerciales o códigos técnicos que refieren a productos químicos especializados o tecnologías aplicadas en el tratamiento de aguas residuales y lixiviados. A continuación, te explicamos lo que representan comúnmente estos nombres, aunque pueden variar ligeramente según el fabricante o proveedor:

DAC-1 es el nombre comercial de un coagulante orgánico o inorgánico diseñado específicamente para el tratamiento de lixiviados con alta carga orgánica y alto contenido de metales pesados, también puede hacer referencia a un producto a base de sales férricas o aluminicas que facilita la coagulación-floculación en lixiviados difíciles de tratar. (Consultoría, 2014)

Tiene por función reducir la DQO, DBO y turbidez, precipita metales pesados como plomo, zinc, níquel, entre otros y mejora la sedimentabilidad de sólidos suspendidos.

Se aplica en la etapa de tratamiento fisicoquímico del lixiviado, generalmente

junto con un floculante (como polielectrolitos).

ART-12 es un acondicionador reactivo o adsorbente específico, utilizado para neutralizar cargas contaminantes difíciles, como metales pesados, compuestos orgánicos refractarios o colorantes.

Tiene como función actuar como adsorbente o catalizador que complementa el tratamiento químico, también se emplea en sistemas de pulido o remoción final, especialmente en lixiviados complejos o tratados parcialmente, ayuda a estabilizar el pH o a mejorar la retención de contaminantes. (Consultoría, 2014)

2.3. Definición de términos básicos

- a. **Características fisicoquímicas:** Propiedades físicas y químicas de una sustancia, como su pH, conductividad, contenido de materia orgánica, entre otras (Dávila Sámano et al., 2021).
- b. **Contaminación de aguas subterráneas:** Introducción de contaminantes en el agua que se encuentra debajo de la superficie terrestre, afectando su calidad y disponibilidad (OMS, 2018).
- c. **Contaminación de aguas superficiales:** Introducción de sustancias nocivas en ríos, lagos y otros cuerpos de agua que afectan su calidad y la vida acuática (OMS, 2018).
- d. **Cronograma de monitoreo:** Plan que detalla los tiempos y frecuencias con los que se realizarán mediciones y evaluaciones de ciertos parámetros ambientales para controlar la contaminación (Cordova Baldeon et al., 2023).
- e. **Degradación de residuos:** Proceso de descomposición de los residuos sólidos a través de procesos biológicos, químicos y físicos. (Gimenez Vedia, 2019)
- f. **Escorrentía:** Flujo de agua sobre la superficie del suelo, que puede transportar contaminantes a cuerpos de agua superficiales (MINAM, 2018).
- g. **Freática:** Relativo al agua subterránea que se encuentra en la zona saturada del suelo (Chávez Montes, 2011).
- h. **Infiltración de aguas lluvias:** Proceso mediante el cual el agua de lluvia penetra

en el suelo y puede llegar a contaminar las aguas subterráneas (Dávila Sámano et al., 2021).

- i. **Impacto ambiental:** Efecto que una actividad o proyecto tiene sobre el medio ambiente, incluyendo el aire, agua, suelo, flora y fauna.
- j. **Materia orgánica biodegradable:** Componentes de los residuos que pueden descomponerse de forma natural por acción de microorganismos (Mejia Cahuana & Chire Noriega, 2023).
- k. **Medidas de mitigación:** Acciones diseñadas para reducir o eliminar los efectos negativos de una actividad sobre el medio ambiente (Mejia Cahuana & Chire Noriega, 2023).
- l. **Planta de Lixiviados:** Líquido que se produce cuando el agua pasa a través de residuos sólidos, disolviendo compuestos químicos y orgánicos presentes en ellos (Giménez Vedia, 2019).
- m. **Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Desechos generados en áreas urbanas, incluyendo basura doméstica, industrial y comercial (MINAM, 2016).
- n. **Tratamiento:** Instalación diseñada para tratar aguas residuales, lixiviados u otros líquidos contaminados para hacerlos seguros para su liberación o reutilización (Dávila Sámano et al., 2021).
- o. **Tratamientos de lixiviados:** Métodos y procesos utilizados para reducir o eliminar los contaminantes presentes en los lixiviados antes de su liberación al medio ambiente (MINAM, 2016).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Existen diferencias entre los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados activos presentan

diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

- Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados pasivos presentan diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024.
- Los parámetros analizados de los lixiviados activos y pasivos exceden los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS 003-2010-MINAM) y los valores máximos admisibles (DS 010-2019-VIVIENDA).

2.5. Identificación de variables

Variable dependiente.

Tipo de lixiviado según su origen en el relleno sanitario

Definición conceptual:

Se refiere a la categoría operativa que diferencia a los lixiviados generados en las celdas activas (lixiviados activos) y los generados en la zona de recuperación (lixiviados pasivos), los cuales presentan características distintivas derivadas del tiempo de permanencia del residuo, el grado de degradación y las condiciones del proceso de descomposición.

Variable independiente.

Características fisicoquímicas de los lixiviados

Definición conceptual:

Conjunto de propiedades medibles que describen la composición físico-química del lixiviado generado en un relleno sanitario, incluyendo parámetros como pH, conductividad eléctrica, DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, sólidos disueltos totales y metales.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2. Operacionalidad de variables.

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Método / Norma Técnica	Técnica / Instrumento
Dependiente: Tipo de lixiviado (activos/ pasivos)	Origen del lixiviado	Categoría operativa del punto (activo/pasivo)	Categórica nominal	Registro operativo del relleno sanitario	Ficha de campo / Observación directa
Independiente: Características fisicoquímicas del lixiviado	Parámetros químicos generales	DBO ₅ DQO Fósforo total nitrógeno amoniacal Nitrógeno total	mg/L	APHA 5210 B APHA 5220 D APHA 4500-P B APHA 4500-NH3 D PHA- 4500-N C	Instrumental: Espectrofotómetro
	Metales totales	Aluminio Arsénico Bario Berilio Boro Cadmio Cobre Cobalto Cromo Hierro Litio Magnesio Manganeso Mercurio Níquel Plomo Selenio Zinc	mg/L	APHA 5220 D APHA 3114 C APHA 4500-B C APHA 3111 B	Instrumental: ICP-MS
	Parámetros de campo	pH Conductividad STD Turbiedad	uS/cm mg/L NTU		Instrumental: Potenciómetro Multiparámetro turbidímetro
	Evaluación normativa	Parámetros que superan límites	Cumple / No cumple	D.S. N.º 010-2019-MINAM u otra norma vigente	Contraste con límites normativos

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El estudio se desarrolla bajo el enfoque cuantitativo, dado que emplea la medición numérica de parámetros fisicoquímicos y el análisis estadístico para describir los resultados (Hernández Sampieri, 2014). Es una investigación descriptiva, porque caracteriza las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados generados en celdas activas y en la zona de recuperación del relleno sanitario (Baena Paz, 2017). Asimismo, es comparativa, ya que contrasta dichos parámetros entre ambos tipos de lixiviados (activos y pasivos) para identificar diferencias significativas (Ccanto Mallma, 2014). Por tanto, el estudio se clasifica como una investigación descriptiva–comparativa de enfoque cuantitativo.

3.2. Nivel de investigación

El estudio presenta un nivel descriptivo, porque detalla las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados activos y pasivos sin manipular variables (Hernández Sampieri, 2014). Asimismo, es comparativo, ya que contrasta los valores de dichos parámetros entre ambos grupos para identificar diferencias significativas (Bernal, 2010). En conjunto, el nivel del estudio se clasifica como descriptivo–comparativo, lo cual se ajusta a su propósito de caracterizar y comparar las características

fisicoquímicas de los lixiviados analizados.

3.3. Métodos de investigación

El estudio utiliza un método descriptivo–comparativo de enfoque cuantitativo, mediante el cual se caracterizan los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados de las celdas activas y la zona de recuperación del relleno sanitario de Oxapampa (Hernández Sampieri, 2014).

El método consiste en Recolectar muestras de lixiviados en ambos puntos de muestreo, analizar sus propiedades fisicoquímicas mediante técnicas estandarizadas de laboratorio y comparar estadísticamente los resultados para identificar diferencias significativas entre los dos tipos de lixiviados.

3.4. Diseño de investigación

El estudio adopta un diseño no experimental, porque las variables no son manipuladas y los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados se observan tal como se presentan en el relleno sanitario de Oxapampa (Hernández Sampieri, 2014).

Asimismo, corresponde a un diseño transversal, dado que la recolección de datos se realizó en un único periodo durante el año 2024, permitiendo obtener una caracterización puntual del estado fisicoquímico de los lixiviados (Arias Gonzales, 2021; Pacheco Espejel & Cruz Estrada, 2006).

En función de sus objetivos, el estudio asume un diseño descriptivo–comparativo, ya que describe las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados y compara estos parámetros entre dos grupos independientes: lixiviados activos y lixiviados pasivos permitiendo identificar diferencias significativas en su composición sin alterar las condiciones del fenómeno estudiado (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está conformada por los lixiviados activos y pasivos generados en las celdas y pozas del relleno sanitario municipal de Oxapampa, ubicado en el

sector San Jorge, esta población comprende todas las muestras de lixiviado susceptibles de ser caracterizadas fisicoquímicamente, diferenciadas según su origen, lixiviados activos, provenientes de celdas en operación, y lixiviados pasivos, provenientes de celdas en proceso de recuperación.

3.5.2. Muestra.

La muestra son dos estratos principales (lixiviados activos y pasivos), necesarios para ser llevado al laboratorio para el análisis fisicoquímico.

Para el cuál se tomará 2 puntos

Punto 1: Lixiviados activos del relleno sanitario de Oxapampa. (RSL-01)

Punto 2: Lixiviados pasivos del área de recuperación del relleno sanitario de Oxapampa. (RSL -02).

3.6. Técnicas e instrumentos recolección de datos

La investigación empleó la técnica metrológica para medir las características fisicoquímicas de los lixiviados, la DBO_5 y DQO se determinaron bajo métodos estandarizados en laboratorio. los metales fueron analizados mediante ICP-MS en el laboratorio acreditado EQUAS. Los parámetros pH, conductividad, STD y temperatura se midieron con un equipo multiparamétrico HANNA HI 991200, y la turbidez con un turbidímetro OAKTON T-100.

La toma de muestras se realizó siguiendo el Protocolo de Monitoreo de Efluentes del MVCS (OMA/MVCS, 2013) y los Standard Methods (APHA, 2017), aplicando muestreo puntual que incluye: selección del punto representativo, acondicionamiento del área, purga del sistema, obtención del volumen requerido, preservación inmediata y registro en cadena de custodia.

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

Procedimiento de Selección

La selección de los equipos de parámetros de campo Turbidímetro para medir la turbiedad, multiparámetro para medir el pH, conductividad y solidos disueltos totales, ICP-MS para medir metales totales y métodos acreditados para medir DBO,

DQO, nitrógeno y fósforo totales.

Procedimiento de validación

El laboratorio de ensayo “Environmental Quality Analytical Services S.A. (EQUAS).” está acreditado por el organismo de acreditación INACAL-DA con registro N° LE – 030, ISO 9001:” Sistemas de Gestión de la Calidad” y NTP-ISO/IEC 17025: “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizará la estadística descriptiva, tablas de frecuencias, gráficos de barras y otros. La estadística inferencial con la finalidad de hacer un adecuado análisis e inferencia estadística de prueba de t de Student, para comparar las características de los lixiviados activos (celdas en operación) y pasivos (zona de recuperación).

3.9. Tratamiento estadístico

Los resultados obtenidos de la caracterización de los lixiviados de las zonas de operación y la zona de recuperación, en las pruebas de campo y con los resultados obtenidos en los laboratorios, serán tratados utilizando Excel y el software JAMOV, para determinar la influencia en la calidad de agua.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente investigación se desarrolló respetando los principios de la ética en investigación científica, donde prevalece el principio de generar conocimiento que contribuya al bienestar social y a la protección del ambiente, se resguardó la integridad de los trabajadores del relleno sanitario durante las actividades de campo, promoviendo prácticas de seguridad y manejo responsable de muestras peligrosas (OPS-OMS, 2020).

La información generada será empleada exclusivamente con fines académicos, científicos y de gestión ambiental, evitando cualquier uso que afecte derechos de instituciones o personas, se mantuvo transparencia en los procedimientos y trazabilidad en los datos analíticos a través de la cadena de custodia

y el aseguramiento de la calidad, garantizando criterios de honestidad, precisión y responsabilidad social.

El estudio se enmarca en una visión ontológica realista, asumiendo que las características fisicoquímicas del lixiviado existen independientemente del observador y pueden ser cuantificadas mediante instrumentos objetivos, se sustenta en un enfoque axiológico ambiental, que reconoce la protección de la naturaleza como obligatorio en la toma de decisiones científicas.

La investigación adopta una postura empírico-analítica, característica del paradigma positivista, en la que el conocimiento se genera mediante observación sistemática, medición cuantitativa, contrastación de hipótesis y análisis estadístico (Hernández Sampieri, 2014).

El estudio considera que el conocimiento válido proviene de datos observables y verificables, las conclusiones se fundamentan en la evidencia experimental, y las generalizaciones se determinan mediante relaciones causales sustentadas en teoría científica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Para la realización del trabajo de campo, se coordinó con el responsable del relleno sanitario, obteniendo el permiso para el muestreo de los lixiviados para el 20 de febrero del 2025.

La toma de muestra se realizó en los pozos de lixiviados activos de la zona de operación (Anexo E, foto E5) del relleno sanitario de Oxapampa (RSL-01) y de los lixiviados pasivos (Anexo E, foto E6) del área de recuperación del relleno sanitario de Oxapampa (RSL-02).

Se tomaron muestras (Anexo E, foto E7) para análisis de metales pesados, parámetros químicos DQO (APHA 5210 B), DBO (APHA 5220 D), fósforo total (APHA 4500-P B E), nitrógeno amoniacal (APHA 4500-NH₃ D) y nitrógeno total (APHA- 4500-N C / EPA 352.1), el cual fue llevado al laboratorio Environmental Quality Analytical Services S.A. (EQUAS), para su respectivo análisis.

También se determinaron los parámetros (Anexo E, foto E8) de campo como pH, Conductividad y sólidos totales disueltos con un equipo multiparamétrico HANNA HI 991200 y la turbidez con un turbidímetro OAKTON T-100.

Del análisis de laboratorio Environmental Quality Analytical Services S.A.

(EQUAS) el reporte de los resultados se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Resultado de laboratorio de la lixiviación.

Parámetro		RSL-01	RSL-02	Expresado	Método de ensayo
Parámetros químicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno		458	61	mg/L	APHA 5210 B
Demanda química de Oxígeno		995	114	mg O2/L	APHA 5220 D
Fosforo Total		9.132	0.141	mg P/L	APHA 4500-P B (Item 5), E
Nitrógeno amoniacal		1.82	0.48	mg NH3-N/L	APHA 4500-NH3 D
Nitrógeno total		28.41	1.39	mg N/L	PHA- 4500-N C / EPA 352.1 (Validado)
Metales totales					
Aluminio		0.543	1.868	mg/L	APHA 3111 D
Arsénico		0.006	0.006	mg/L	APHA 3114 C
Bario		0.57	0.37	mg/L	APHA 3111 D
Berilio		<0.006	<0.006	mg/L	APHA 3111 D
Boro		0.12	<0.02	mg/L	APHA 4500-B C
Cadmio		<0.003	<0.003	mg/L	APHA 3111 B
Cobre		<0.006	<0.006	mg/L	APHA 3111 B
Cobalto		<0.008	<0.008	mg/L	APHA 3111 B
Cromo		<0.010	<0.010	mg/L	APHA 3111 B
Hierro		4.765	4.765	mg/L	APHA 3111 B
Litio		<0.003	<0.003	mg/L	APHA 3111 B
Magnesio		38.94	19.27	mg/L	APHA 3111 B
Manganeso		1.815	4.436	mg/L	APHA 3111 B
Mercurio		<0.0002	<0.0002	mg/L	APHA 3112 B
Níquel		0.059	<0.011	mg/L	APHA 3111 B
Plomo		<0.01	0.098	mg/L	APHA 3111 B
Selenio		<0.001	<0.001	mg/L	APHA 3114 C
Zinc		0.104	0.17	mg/L	APHA 3111 B
Parámetros de campo					
pH		8.21	7.68		
Conductividad		3445	305	uS/cm	
STD		1729	152	mg/L	
Turbidez		25.2	44.2	NTU	

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua

Parámetro	Unidad	LMP
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	*C	<35

Fuente: MINAM,(2010)

Tabla 5. Valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Anexo 1			
Parámetro	Unidad	Simbología	VMA
Demanda bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/l	A. y C.	100
Anexo 2			
Parámetro	Unidad	Simbología	VMA
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsenico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Niquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/l	NH ₄	80
Potencial hidrógeno	unidad	pH	6--9
Sólidos sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

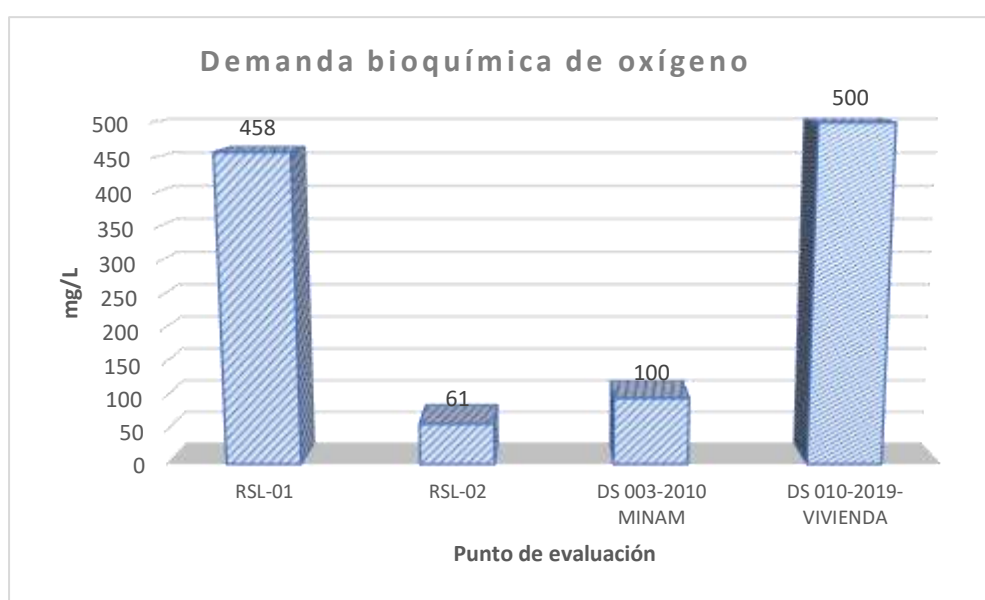
Fuente: (VIVIENDA, 2019)

En temas ambientales, los Límites Máximos Permisibles (LMP) para lixiviados de relleno sanitario no están estandarizados a nivel mundial como ocurre con otros efluentes. En cambio, cada país o región establece sus propios límites con base en criterios locales de salud pública, capacidad de tratamiento, condiciones geográficas y legislación ambiental. En Perú, no existe una norma específica para lixiviados de relleno sanitario, pero pueden aplicar los LMP de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, para ser vertidos a cuerpos de agua D.S. N.º 003-2010-MINAM, dependiendo del cuerpo receptor o DS 010-2019-VIVIENDA de valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Como se observa en la tabla 3, no existe presencia o no es detectado por el método de análisis, los metales Berilio, Cadmio, Cobre, Cobalto, Cromo, Litio, Mercurio y Selenio.

Figura 2. Demanda bioquímica de oxígeno



Fuente: elaboración propia

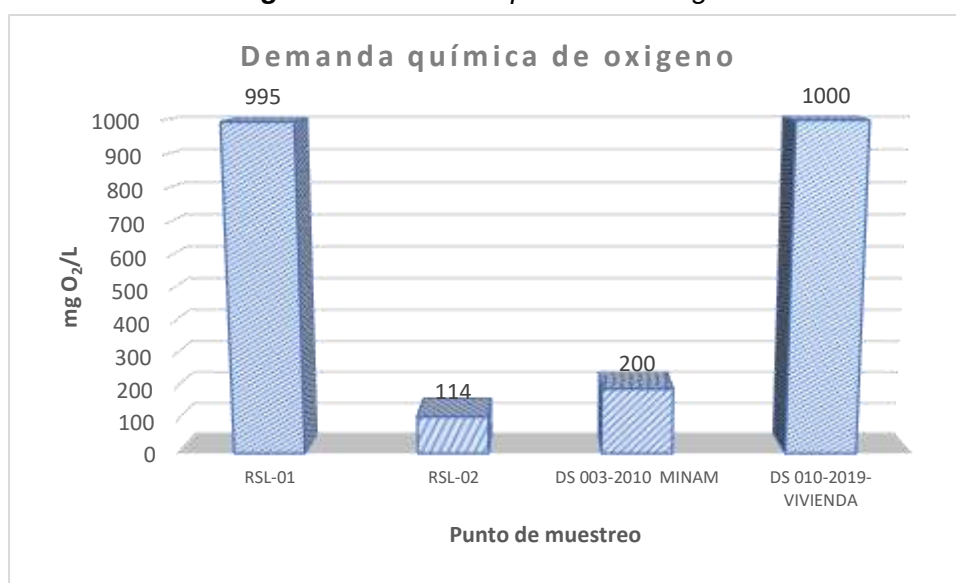
DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) son dos parámetros fundamentales para caracterizar el grado de contaminación orgánica en líquidos residuales, incluyendo los lixiviados de residuos

sólidos, a continuación, describimos los resultados.

Como se observa en la figura 2, la demanda bioquímica de oxígeno es mayor en los lixiviados activos (RSL-01), en comparación de los lixiviados pasivos (RSL-02), esto debido a que en la zona de recuperación existe poca materia biodegradable.

Si comparamos con tabla 1, los lixiviados nuevos presentan en promedio una DBO de 10 000 mg/L, mientras que los lixiviados activos de la zona de operación del relleno sanitario es el 458 mg/L, esto se debe que los lixiviados se tratan con recirculación, el cual degrada la materia orgánica, pero que aún no cumplen con el DS 003-2010-MINAM, para ser vertidos a cuerpos naturales de agua.

Figura 3. Demanda química de oxígeno



Fuente: elaboración propia

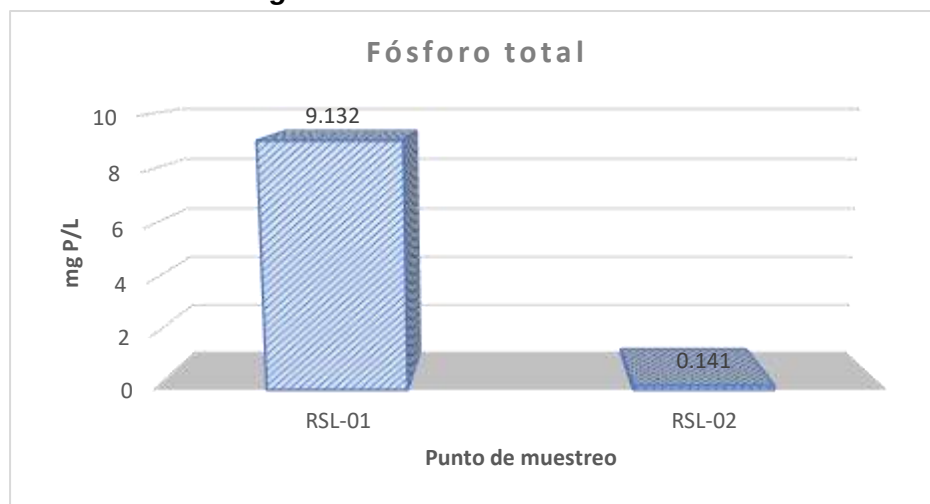
Observando la figura 3, la demanda química de oxígeno es de 995 mg/L, en los lixiviados activos, mientras que solo 114 mg/L en los lixiviados pasivos, si comparamos con la tabla 4 (DS 003-2010-MINAM), los lixiviados activos del relleno sanitario sobrepasan los LMP, por tanto, aun necesitan tratamiento adicional para reducir la concentración de este parámetro (cumpliendo con el DS 010-2019-VIVIENDA)

Si comparamos la relación DBO/DQO es de 0.46 esto indica que hay alta carga orgánica biodegradable con relación a la no biodegradable, porque se puede adicionar

un tratamiento biológico para un tratamiento posterior.

Según la figura 4, la cantidad de fósforo es de 9.1132 mg/L en los lixiviados activos, en comparación de 0.141 mg/L de los lixiviados pasivos, esto indica una diferencia significativa de degradación de nutrientes.

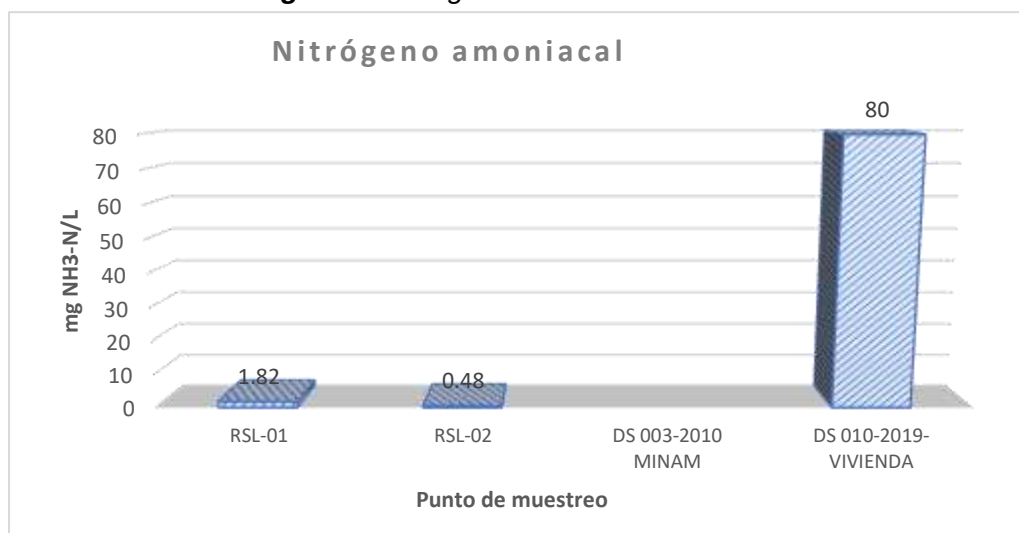
Figura 4. Fósforo total en lixiviados



Fuente: elaboración propia

Como observamos, el nitrógeno amoniacal es de 1.82 mg/L (Figura 5), en comparación de nitrógeno total 28.41 mg/L (Figura 6), en los lixiviados activos, esto indica solo el 6.4% del nitrógeno total está como amoniacal, el resto se encuentra como nitrato, nitrito u otras formas de nitrógeno, es por ello por lo que los lixiviados no presentan olores fuertes.

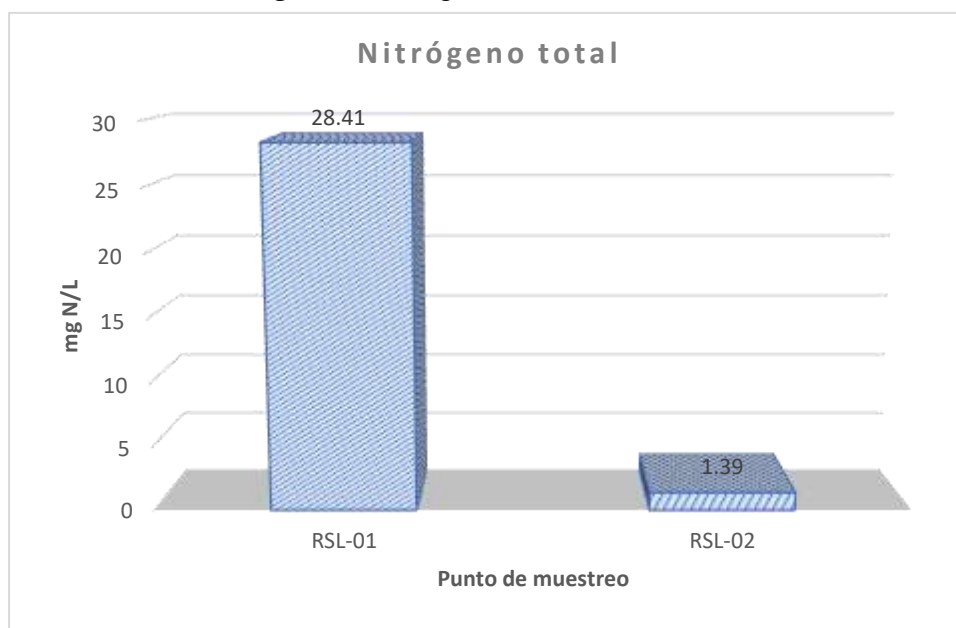
Figura 5. Nitrógeno amoniacal en lixiviado



Fuente: elaboración propia

También para los lixiviados pasivos, el nitrógeno amoniacal es de 0.48 mg/L y el nitrógeno total es de 1.39 mg/L, siendo el 34.5 % del nitrógeno total está en forma de amoniaco.

Figura 6. Nitrógeno total en lixiviados



Fuente: elaboración propia

Podemos observar que el nitrógeno fue degradado significativamente en los lixiviados pasivos por presentar bajo contenido de este nutriente.

Indicando que en el análisis realizado no presento presencia de Berilio, Cadmio, Cobre, Cobalto, Cromo, Litio, Mercurio y Selenio. A continuación, se analizará los metales totales el cuál se muestra en las figuras del 7 al 15.

La presencia de aluminio (Al) en los lixiviados de residuos sólidos se debe a varios factores relacionados con la composición de los residuos y las reacciones que ocurren dentro del relleno sanitario, las principales causas son: Composición de los residuos sólidos (Residuos con aluminio metálico y Materiales con compuestos de aluminio), Condiciones del relleno sanitario (pH ácido en los lixiviados y Presencia de agentes complejantes o ácidos orgánicos), Interacción con el suelo y material de cobertura.

Figura 7. Contenido de aluminio en lixiviados



Fuente: elaboración propia

Según la figura 7, la presencia de aluminio mayor en los lixiviados pasivos de la zona de recuperación (1.868 mg/L), que los lixiviados activos de la zona de operación (0.543 mg/L), esto se debe al tipo de material de cobertura que se utilizó para cubrir los residuos sólidos y el tiempo de contacto con ello.

La presencia de arsénico (As) en lixiviados de residuos sólidos se debe a una combinación de factores relacionados con la composición de los residuos, los procesos químicos en el relleno sanitario y las características del entorno geológico.

Figura 8. Contenido de arsénico en lixiviados

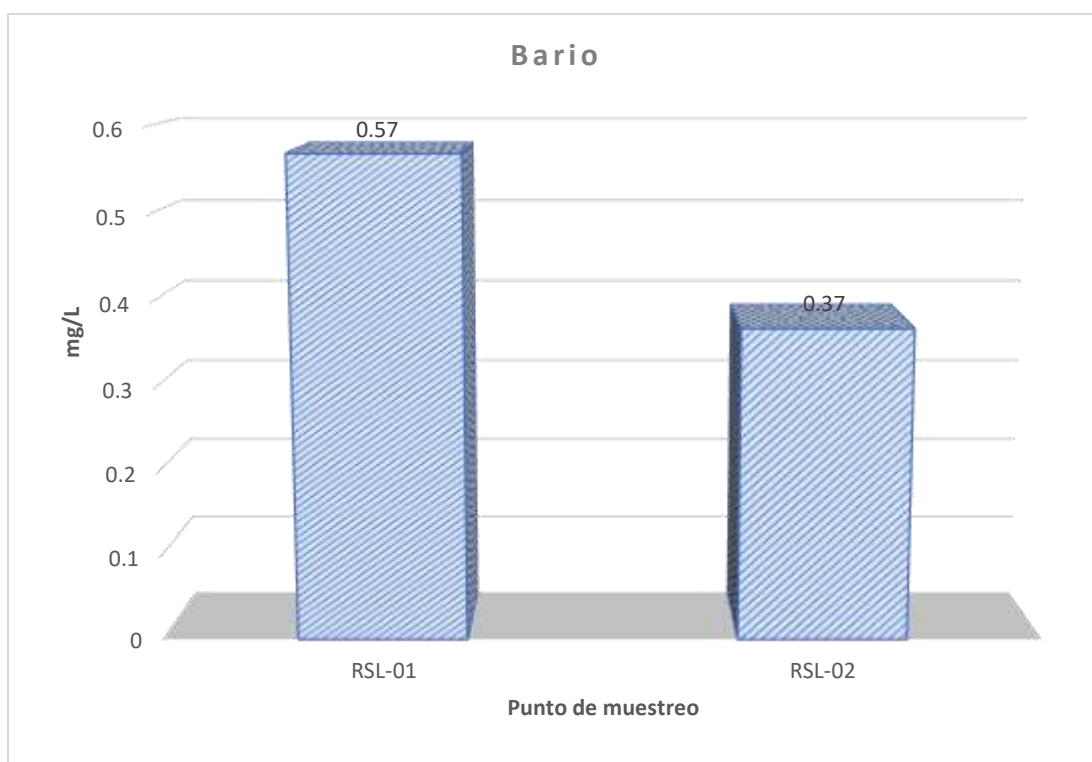


Fuente: elaboración propia

Observando el contenido de arsénico en la figura 8, ambos tipos de lixiviados presentan igual contenido de arsénico, indicando así que esto se debe al material de cobertura, por ser extraídos del mismo lugar.

La presencia de bario (Ba) y boro (B) en los lixiviados se debe principalmente a la composición de los residuos sólidos, procesos de lixiviación, y condiciones químicas del relleno sanitario. El bario se encuentra en residuos electrónicos y eléctricos (RAEE), pigmentos, pinturas, productos pirotécnicos y explosivos. El Boro en vidrios y cerámicas (especialmente Pyrex), detergentes, jabones, fertilizantes y pesticidas, residuos industriales y cosméticos.

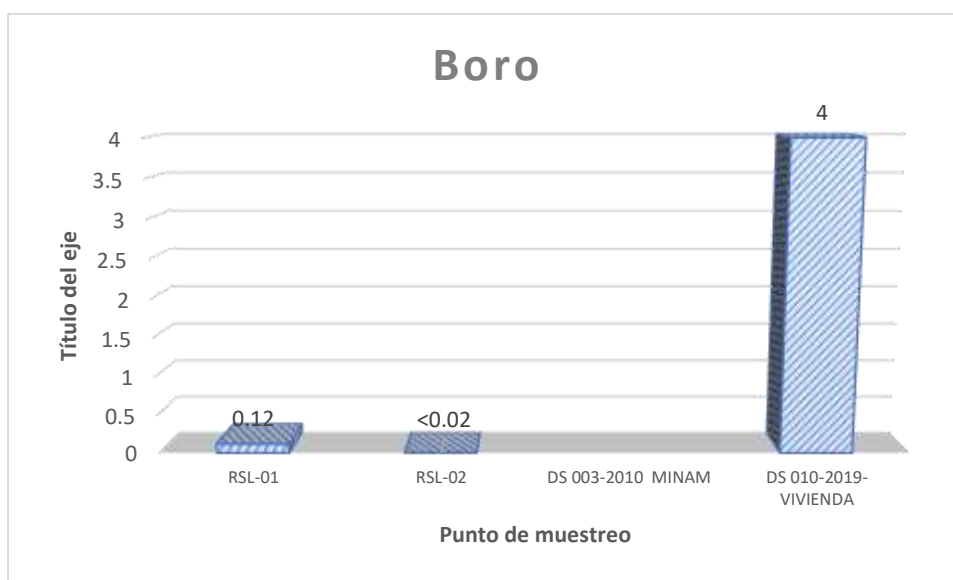
Figura 9. Contenido de bario en lixiviados



Fuente: elaboración propia

El contenido de bario (Figura 9) en los lixiviados activos, es de 0.57 mg/L y los lixiviados pasivos es de 0.37, esto se debe a la composición de los residuos sólidos disminuyendo con el tiempo.

Figura 10. Contenido de boro en lixiviados

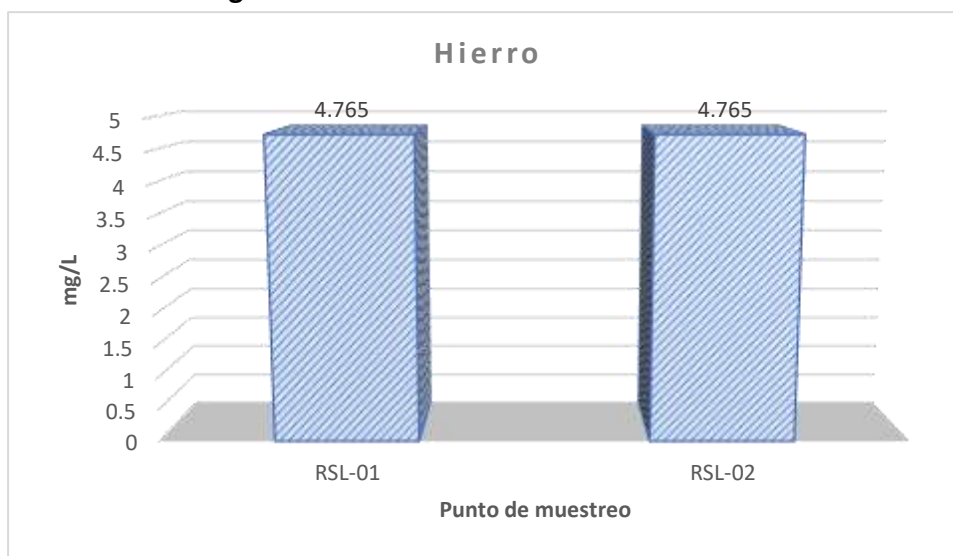


Fuente: elaboración propia

El contenido de boro (Figura 10) en los lixiviados activos, es de 0.12 mg/L y en los lixiviados pasivos no hay presencia, esto se debe a la composición de los residuos sólidos, siendo de mayor contenido en los residuos sólidos nuevos, esto se debe a los cambios de hábitos de consumo de la población.

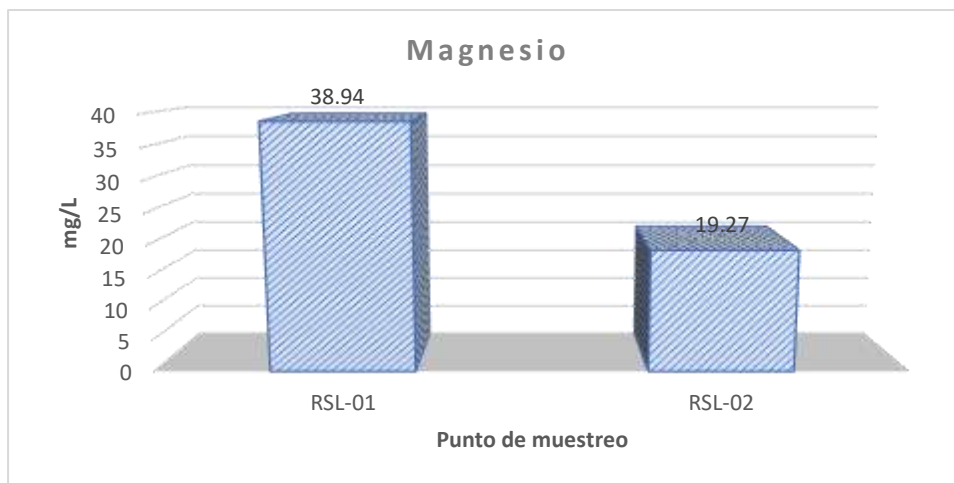
Observando el contenido de hierro en la figura 11, ambos tipos de lixiviados presentan igual contenido de hierro, indicando así que esto se debe al material de cobertura, por ser extraídos del mismo lugar.

Figura 11. Contenido de hierro en lixiviados



Fuente: elaboración propia

Figura 12. Contenido de magnesio en lixiviados

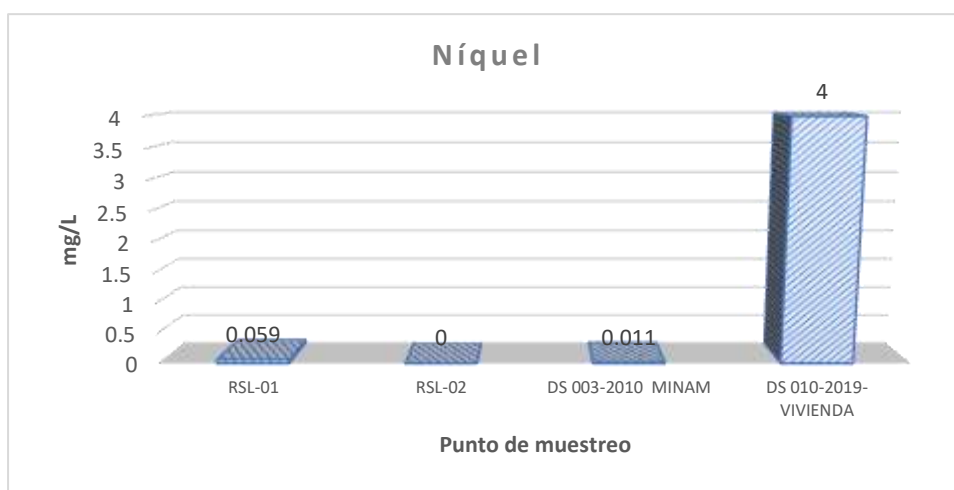


Fuente: elaboración propia

El contenido de magnesio (Figura 12) en los lixiviados activos, es de 38.94 mg/L y en los lixiviados pasivos es de 19.27mg/L, esto se debe a la composición de los residuos sólidos, siendo de mayor contenido en los residuos sólidos nuevos, esto se debe a los cambios de hábitos de consumo de la población y el tiempo de degradación de los residuos.

El contenido de níquel (Figura 13) en los lixiviados activos, es de 0.059 mg/L y en los lixiviados pasivos no hay presencia, el níquel (Ni) en los lixiviados se debe principalmente a la composición de los residuos depositados en el relleno sanitario. El níquel es un metal pesado que puede provenir de varias fuentes dentro de los residuos sólidos urbanos, industriales o incluso peligrosos.

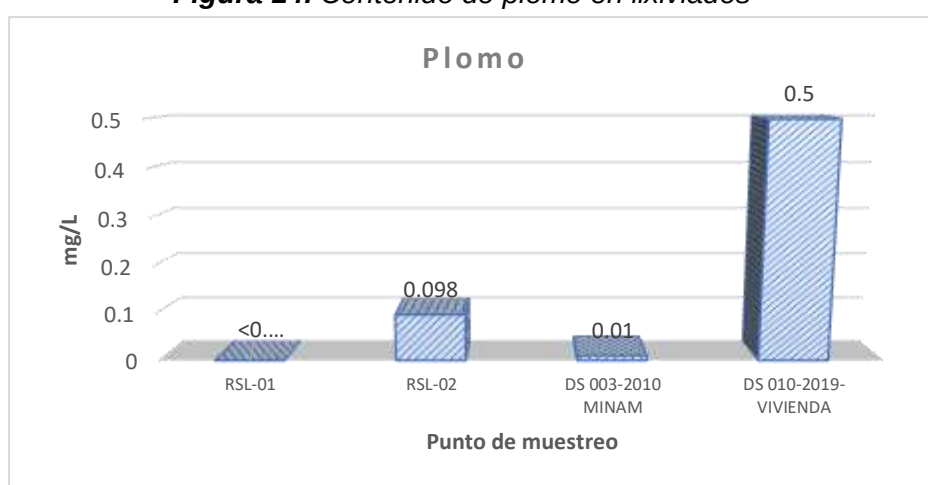
Figura 13. Contenido de níquel en lixiviados



Fuente: elaboración propia

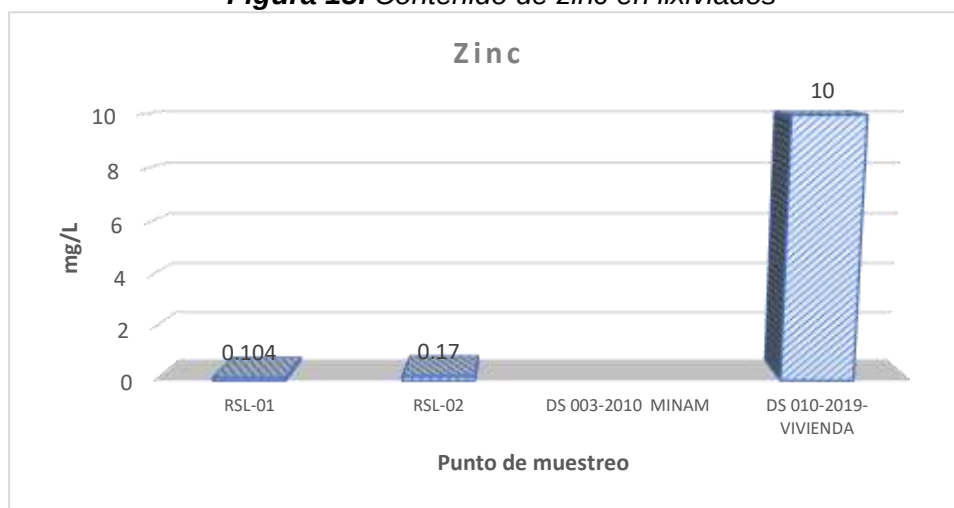
El contenido de plomo (Figura 14) en los lixiviados activos no hay presencia y en los lixiviados pasivos es de 0.098 mg/L, así mismo el contenido de Zinc (Figura 15) en los lixiviados activos, es de 0.104 mg/L y en los lixiviados pasivos es de 0.17 mg/L, siendo mayor en los lixiviado de la zona de recuperación, la presencia de plomo (Pb) y zinc (Zn) en los lixiviados se relaciona directamente con el tipo y la composición de los residuos que se disponen en el relleno sanitario. Ambos metales pesados están ampliamente presentes en productos de uso cotidiano, residuos electrónicos, residuos industriales, e incluso en residuos domiciliarios, y pueden ser liberados al ambiente bajo las condiciones químicas del relleno sanitario, por tanto, podemos afirmar que en los residuos nuevos existe en menor cantidad se debe al trabajo de segregación en la fuente que se viene realizando.

Figura 14. Contenido de plomo en lixiviados



Fuente: elaboración propia

Figura 15. Contenido de zinc en lixiviados

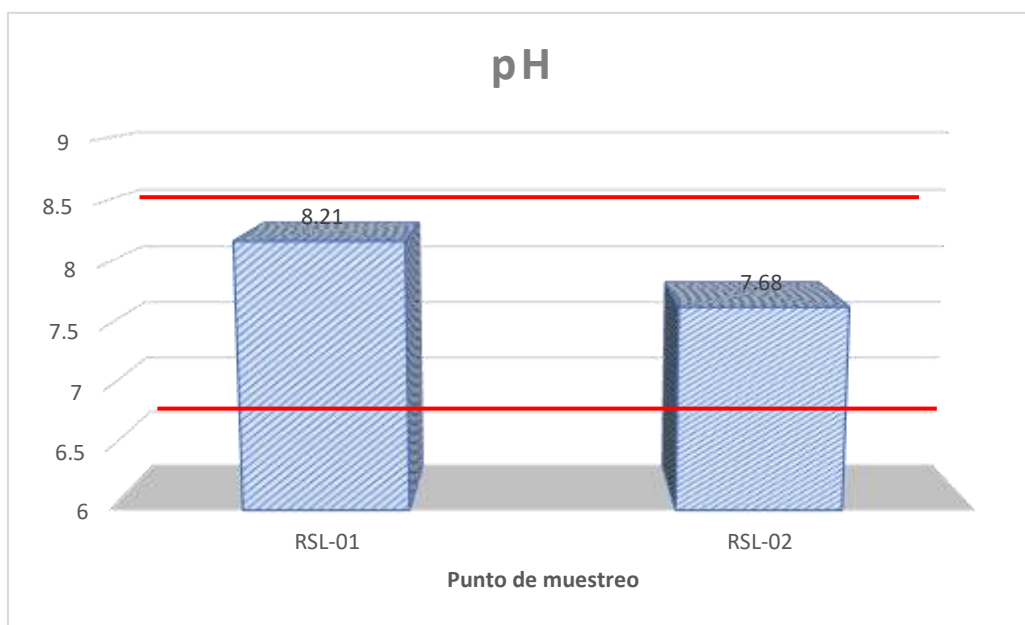


Fuente: elaboración propia

A continuación, se describe los parámetros de campo realizado, que son el pH, conductividad, STD, conductividad y temperatura de los lixiviados.

En los rellenos sanitarios, el pH del lixiviado es un parámetro clave que afecta la movilidad de metales pesados, la actividad microbiana y la eficiencia de los tratamientos posteriores. Por lo general, los lixiviados presentan un pH ácido en las primeras etapas de degradación, lo que puede favorecer la solubilización de metales tóxicos. En la figura 16, el pH es alcalino en ambos tipos de lixiviados, esto se debe al tratamiento que se da con aditivos alcalinos para ajustar y elevar el pH.

Figura 16. pH de lixiviados

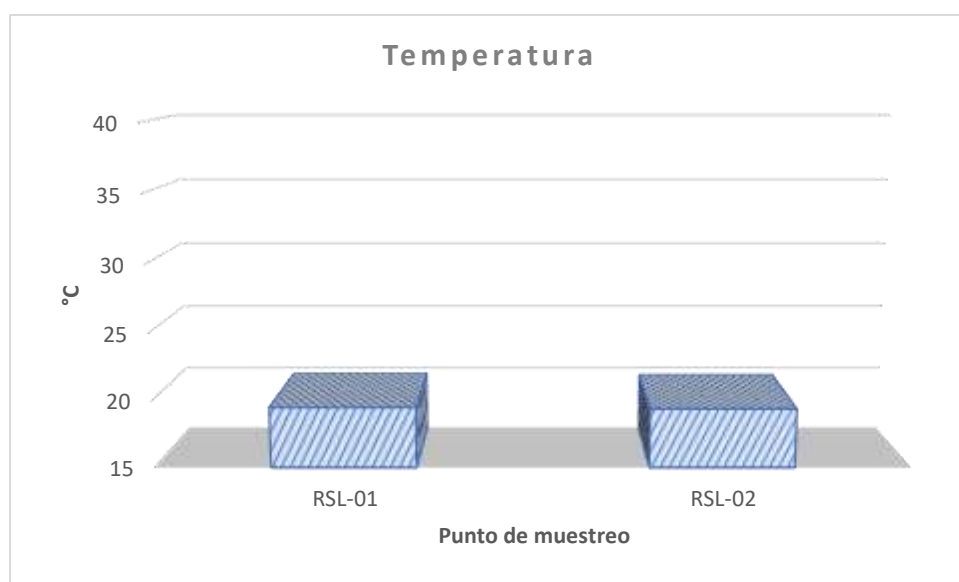


Fuente: elaboración propia

La temperatura de los lixiviados en un relleno sanitario es un indicador importante del estado biológico y químico del proceso de degradación de los residuos sólidos. La temperatura proporciona información clave sobre la actividad microbiana, la etapa de descomposición y las condiciones físicas del relleno.

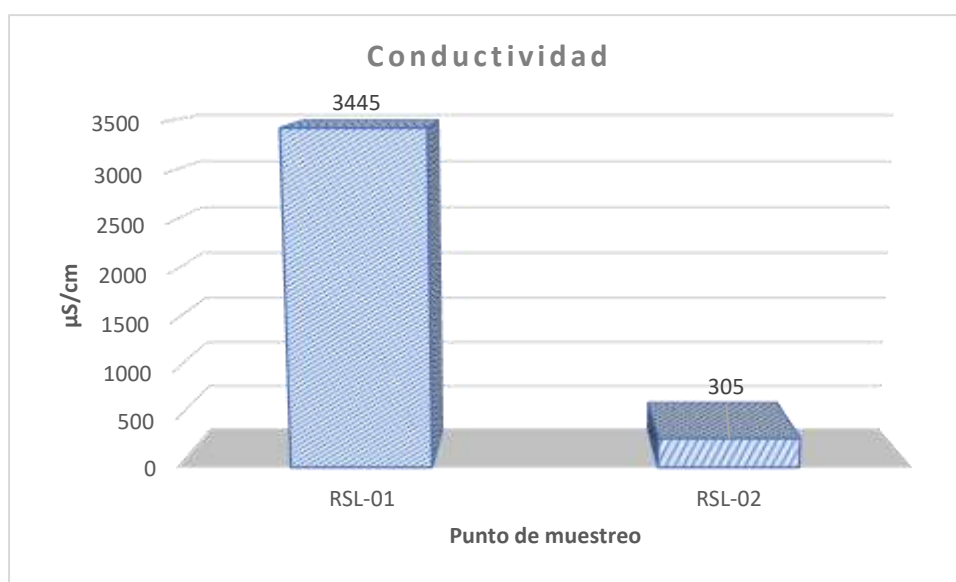
Una temperatura menor a 25 °C, indica que los lixiviados son estables, en la figura 17 observamos que la temperatura es menor a ello, por lo que afirmamos que se encuentra estabilizado.

Figura 17. Temperatura de lixiviados



Fuente: elaboración propia

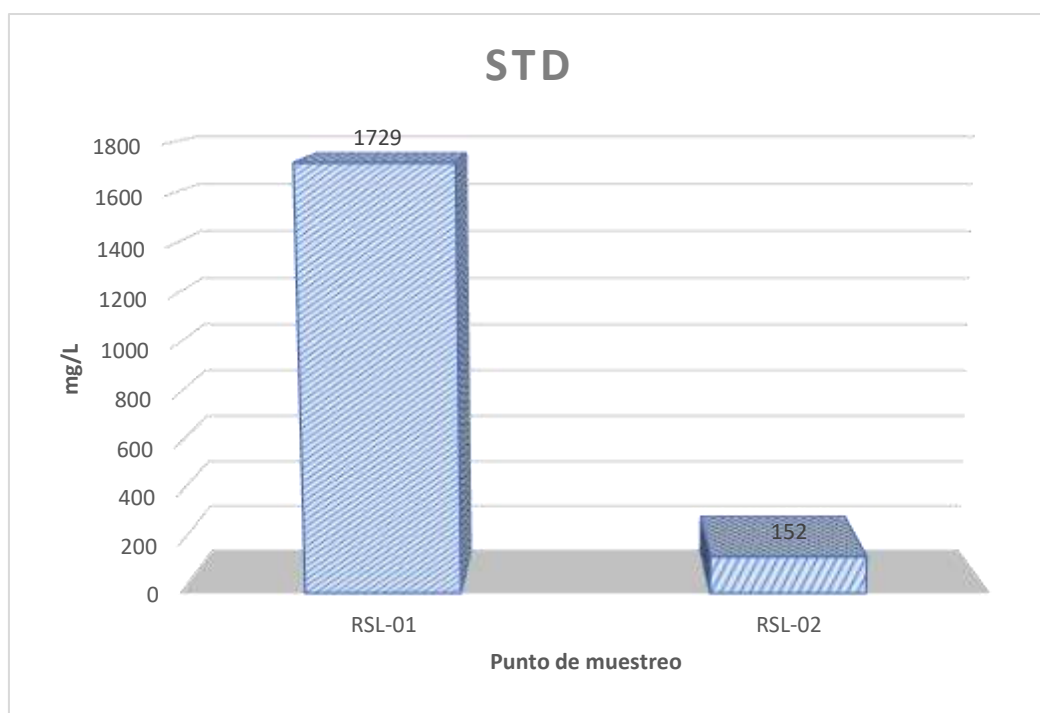
Figura 18. Conductividad de lixiviados



Fuente: elaboración propia

Tanto la conductividad eléctrica como los sólidos disueltos totales (STD) son parámetros fundamentales en la caracterización fisicoquímica de lixiviados. Están relacionados con la carga iónica y la concentración de materia soluble en el lixiviado, y proporcionan información sobre el grado de degradación de los residuos, la contaminación potencial y la necesidad de tratamiento.

Figura 19. *Sólidos totales disueltos en los lixiviados*



Fuente: elaboración propia

Como observamos en la figura 18 y figura 19, la conductividad y los STD es mayor en los lixiviados activos a comparación de los lixiviados pasivos esto se debe a una mayor concentración de iones disueltos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , etc.) y también a la cantidad total de materia inorgánica y orgánica disuelta en los lixiviados.

4.3. Prueba de hipótesis

Presentación de resultados

Los datos para analizar para la prueba de hipótesis estadística se compararon como muestra independiente de los lixiviados activos (RSL-01) y de los lixiviados pasivos (RSL-02) siendo el tipo de lixiviado (Variable dependiente), y las características fisicoquímicas de los lixiviados (Variable independiente), el cual se presenta en el tabla N° 6.

Tabla 6. Porcentaje de parámetros (referencia ECAs - agua)

Parámetro	Expresado	RSL-01	RSL-02	ECAs - Agua	%RSL-01**	%RSL-02**
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	458	61	10	4580.0	610.0
Demanda química de Oxígeno	mg O ₂ /L	995	114	114*	872.8	100.0
Fosforo Total	mg P/L	9.132	0.141	0.05	18264.0	282.0
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ -N/L	1.82	0.48	0.499	364.7	96.2
Nitrógeno total	mg N/L	28.41	1.39	1.39*	2043.9	100.0
Arsénico	mg/L	0.006	0.006	0.15	4.0	4.0
Bario	mg/L	0.57	0.37	1	57.0	37.0
Boro	mg/L	0.12	0	0.02	600.0	0.0
Magnesio	mg/L	38.94	19.27	19.27*	202.1	100.0
níquel	mg/L	0.059	0	0.052	113.5	0.0
Zinc	mg/L	0.104	0.17	0.12	86.7	141.7
Conductividad	uS	3445	305	1000	344.5	30.5
STD	mg/L	1729	152	152*	1137.5	100.0

* Se toma como referencia RSL-02

**Porcentaje tomado como referencia DS 004-2017-MINAM, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

Fuente: Elaboración Propia

Contrastación de la Hipótesis General.

Lo que se busca es comprobar y validar la hipótesis, si existe diferencias entre los parámetros fisicoquímicos de RSL-01 y RSL-02.

a. Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis Nula:

$$H_0: \mu_{RSL-01} = \mu_{RSL-02}$$

No existen diferencias entre los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

Hipótesis Alterna:

$$H_1: \mu_{RSL-01} \neq \mu_{RSL-02}$$

Existen diferencias entre los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

b. Tipo de prueba:

Realizamos la prueba de normalidad a fin de determinar e identificar la prueba estadística a utilizar.

Tabla 7. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

	Poza de lixiviado	Porcentaje
N	RSL-01	13
	RSL-02	13
Media	RSL-01	2205
	RSL-02	123
Desviación estándar	RSL-01	4985
	RSL-02	165
W de Shapiro-Wilk	RSL-01	0.485
	RSL-02	0.686
Valor p de Shapiro-Wilk	RSL-01	< .001
	RSL-02	< .001

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

	F	gl	gl2	p
Porcentaje	6.01	1	24	0.022

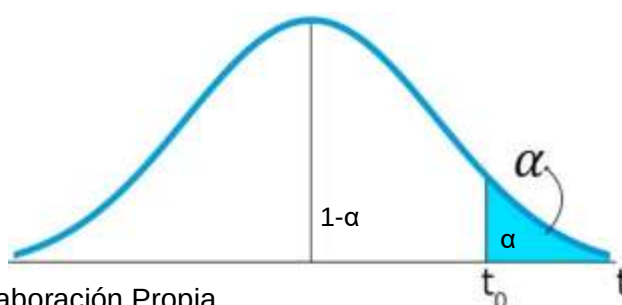
Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de varianzas iguales.

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla 7 el valor se p en todos los casos es menor a 0.05, entonces indicamos que no presentan normalidad, y también lo observado en la tabla 8 el valor de p es 0.022 que es menor a 0.05 por lo que no presenta homogeneidad de varianza, por tanto, usaremos la prueba estadística no paramétrica U de Mann-Whitney.

- c.** Si tenemos un nivel de confianza del 95% entonces el nivel de significancia es 5% ($\alpha = 0.05$), con un tamaño de muestra de $n = 13$ parámetros por cada pozo de lixiviado.

Figura 20. Región de aceptación y rechazo, unilateral de cola derecha.



Fuente: Elaboración Propia

- d. Evaluación estadística, se usó el software libre Jamovi.

Tabla 9. Prueba T para Muestras Independientes

	Estadístico	p
Porcentaje U de Mann-Whitney	34.5	0.011

Nota. $H_a: \mu_{RSL-01} \neq \mu_{RSL-02}$

Fuente: elaboración propia.

Como lo observado en el tabla N° 9, se utilizó la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney, el p valor es de 0.011 que es menor de 0.05, por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la alterna, por tanto, afirmamos que existen diferencias estadísticamente significativas entre los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

- e. **Conclusiones:** Conociendo el nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ unilateral, con la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, el valor de p obtenida es 0.011 que es menor a 0.05, por lo tanto, está ubicado en la región de rechazo de la hipótesis nula (H_0) y afirmamos que existe diferencias entre los resultados fisicoquímicos de los pozos de lixiviados activos del relleno sanitario (RSL-01) y pasivos de la zona de recuperación (RSL-02). Observando la tabla 6 la media de RSL-01 es de 2205 y de RSL-02 es 123, donde afirmamos que la concentración de los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos es mayor que de los lixiviados pasivos.

Contrastación de hipótesis específica

Hipótesis específica 1

Hipótesis Nula:

Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados activos no presentan diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

Hipótesis Alterna:

Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados activos presentan diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

Conclusiones: no son comprobables mediante métodos estadísticos inferenciales (t-test, U de Mann–Whitney, ANOVA no paramétrica, etc.), por no ser viable la comparación con una norma estandarizada, pero por la estadística descriptiva, se puede concluir de acuerdo a la tabla 3, los lixiviados activos presentan alto contenido de DBO de 458 mg/L (figura 2) y DQO de 995 mg/L (figura 3), además contiene altos contenidos de nutrientes como fósforo total 9.132 mg/L (figura 4) y nitrógeno total de 28.41 mg/L (figura 5), por lo que podemos indicar que los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados activos presentan altos niveles de DBO y DQO, debido al predominio de fase acidogénica

Hipótesis específica 2

Hipótesis Nula:

Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados pasivos no presentan diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

Hipótesis Alterna:

Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados pasivos presentan diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024.

Conclusiones: Esta hipótesis no son comprobables mediante métodos estadísticos inferenciales (t-test, U de Mann–Whitney, ANOVA no paramétrica, etc.), por no ser posible la comparación con una norma estandarizada, pero usando la estadística descriptiva, se puede concluir de acuerdo a la tabla 3, los lixiviados pasivos presentan alto contenido de Aluminio 1.868 mg/L (figura 7), Manganeso 4.436 , plomo 0.098 mg/L (figura 14) y Zinc 0.17 mg/L (figura 15), por lo que podemos indicar los

parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados pasivos presentan mayores niveles de metales, debido a procesos de degradación mineral y solubilización

Hipótesis específica 3

Hipótesis Nula:

Los parámetros analizados de los lixiviados activos y pasivos exceden los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS 003-2010-MINAM) y los valores máximos admisibles (DS 010-2019-VIVIENDA).

Hipótesis Alterna:

Los parámetros analizados de los lixiviados activos y pasivos exceden los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS 003-2010-MINAM) y los valores máximos admisibles (DS 010-2019-VIVIENDA).

Conclusiones: no son comprobables mediante métodos estadísticos inferenciales (t-test, U de Mann–Whitney, ANOVA no paramétrica, etc.), solo se hará una descripción con el D. S. 003-2010-MINAM, con los parámetros de DBO, DQO y pH de los lixiviados activos y pasivos, en concordancia de la tabla 3, tabla 4 y la figura 2, la DBO en las celdas activas es de 458 mg/L superando ampliamente a lo establecido en D. S. 003-2010-MINAM que es de 100 mg/L, mientras que en la zona de recuperación es de 61 mg/L, donde no supera; observando la tabla 3, tabla 4 y la figura 3, la DQO en las celdas activas es de 995 mg/L superando ampliamente a lo establecido en D. S. 003-2010-MINAM que es de 200 mg/L, mientras que en la zona de recuperación es de 114 mg/L, donde no supera; de acuerdo la tabla 3, tabla 4 y la figura 16, el pH en las celdas activas es de 8.21 mg/L y en la zona de recuperación es de 7.68, estando dentro lo establecido en el D. S. 003-2010-MINAM que es de 6.5 a 8.5, por lo que podemos indicar que los parámetros analizados de los lixiviados activos superan al DS 003-2010-MINAM y los pasivos no exceden los límites máximos permisibles para efluentes.

Comparando con DS 010-2019-VIVIENDA, tabla N° 5, todos los parámetros analizados cumplen con los valores máximos admisibles, por tanto se podría verter al alcantarillado siempre en cuando hubiera otra entidad que lo tratara.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario de Oxapampa muestran claras diferencias entre los lixiviados activos (RSL-01) y pasivos (RSL-02), tanto en términos de carga contaminante como de concentración de parámetros críticos como DBO, DQO, nutrientes y metales pesados.

La DBO y DQO en los lixiviados activos fueron significativamente más altas (458 mg/L y 995 mg/L, respectivamente), lo que indica una alta concentración de materia orgánica biodegradable, que comparado con Mayor Torrez et al., (2018) donde la DBO y la DQO es de 4538.5 y 84 636 respectivamente, esto se debe a que estos lixiviados no presentan ningún tratamiento. Esta relación DBO/DQO de 0.46 confirma la presencia de compuestos fácilmente degradables, característicos de lixiviados jóvenes. En cambio, los lixiviados pasivos presentaron valores mucho menores (61 mg/L y 114 mg/L), evidenciando un mayor grado de estabilización.

En cuanto a los nutrientes, el nitrógeno total y el fósforo mostraron una mayor concentración en los lixiviados activos, reflejo del proceso activo de degradación. En los lixiviados pasivos, su disminución sugiere una transformación microbiana prolongada y pérdida de nutrientes por procesos físicos, químicos y biológicos.

Respecto a los metales pesados, destaca la presencia de níquel (0.059 mg/L), zinc (0.104 mg/L) y hierro (4.765 mg/L) en los lixiviados activos, mientras que en los pasivos se detectó plomo (0.098 mg/L) y una mayor concentración de aluminio (1.868 mg/L). Esto puede deberse a la migración de metales desde capas más profundas o al material de cobertura utilizado.

Los parámetros de campo como pH, conductividad, sólidos disueltos totales (STD) y temperatura, también permitieron identificar diferencias: los lixiviados activos

presentaron mayor conductividad (3445 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y STD (1729 mg/L), lo que indica una alta carga iónica, típica de lixiviados recientes. La temperatura menor a 25 °C en ambos casos sugiere una fase estabilizada en términos térmicos, posiblemente por la recirculación aplicada, el pH es de 8.21 en RSL-01 y de 7.68 en RSL-02, que Del Ángel-Hernández et al., (2013), obtuvo de 8.4, indicando que los lixiviados están estabilizados.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que se cumplieron los objetivos específicos planteados en la investigación, se determinó la composición fisicoquímica de los lixiviados producidos en el relleno sanitario, distinguiendo claramente entre los lixiviados activos y pasivos.

Con base en los parámetros analizados, se pudo proponer un tratamiento adecuado, destacando la viabilidad del tratamiento biológico para los lixiviados activos, dada su alta carga orgánica biodegradable, y un tratamiento fisicoquímico complementario para remoción de metales y reducción de parámetros como DQO y STD.(Chávez Montes, 2011)

Desde un punto de vista teórico, esta investigación contribuye a la comprensión del comportamiento fisicoquímico de los lixiviados en rellenos sanitarios de tipo terraza bajo condiciones tropicales. Reafirma la importancia de monitorear parámetros como DBO, DQO, nutrientes y metales, en distintas etapas de vida del residuo.(Astorga Del Canto, 2018)

A nivel práctico, los hallazgos son fundamentales para la gestión ambiental local Permiten diseñar estrategias de tratamiento diferenciadas para lixiviados activos y pasivos, ajustar el uso de tecnologías como recirculación, tratamiento biológico aeróbico/anaeróbico o adsorción con carbón activado o zeolitas, fundamentar la implementación de planes de monitoreo y mitigación, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del relleno sanitario de Oxapampa.

A pesar de los resultados significativos, la investigación presentó algunas limitaciones, la influencia de las precipitaciones pluviales pudo alterar temporalmente

la concentración de ciertos parámetros, no se evaluó la eficiencia de remoción de los tratamientos aplicados (como la recirculación), lo cual limita una comprensión completa de su impacto sobre la calidad del lixiviado.

El estudio se enfocó en dos puntos de muestreo, lo cual, si bien es representativo, podría complementarse en el futuro con mayor número de réplicas o puntos adicionales.

CONCLUSIONES

Los lixiviados activos presentes en la zona de operación (RSL-01) presentan alta carga orgánica biodegradable, obteniendo valores elevados de DBO (458 mg/L) y DQO (995 mg/L), así como concentraciones significativamente superiores de nutrientes (fósforo total: 9.132 mg/L; nitrógeno total: 28.41 mg/L), estos resultados confirman que los lixiviados activos se encuentran en fase acidogénica, caracterizada por la abundancia de compuestos orgánicos fácilmente degradables.

Los lixiviados pasivos de la zona de recuperación (RSL-02) registran mayores concentraciones de metales como Al (1.868 mg/L), Mn (4.436 mg/L), Pb (0.098 mg/L) y Zn (0.17 mg/L), lo cual evidencia procesos de mineralización y solubilización correspondientes a lixiviados pasivos, este patrón químico confirma que los metales se incrementan con la edad del lixiviado.

Al comparar los resultados con el DS 003-2010-MINAM, se determinó que los lixiviados activos exceden ampliamente los límites máximos permisibles de DBO (100 mg/L) y DQO (200 mg/L), mientras que los lixiviados pasivos no superan dichos valores. El pH de ambos tipos de lixiviado se encuentra dentro del rango normativo.

La prueba no paramétrica U de Mann–Whitney ($p = 0.011$) demostró diferencias estadísticamente significativas entre los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos (RSL-01) y pasivos (RSL-02), en promedio, el incremento de la concentración global de parámetros en RSL-01 (media = 2205) fue notablemente mayor que en RSL-02 (media = 123), confirmando la existencia de variabilidad significativa atribuida a la edad del lixiviado.

RECOMENDACIONES

Optimizar el sistema de captación y conducción de lixiviados, reforzando impermeabilización, especialmente en época de lluvias, para prevenir infiltración al suelo y aguas subterráneas.

Establecer un programa de monitoreo continuo de lixiviados con frecuencia estacional, que permita identificar cambios según la fase de degradación del residuo y evaluar la eficiencia del tratamiento a implementar.

Ampliar investigaciones futuras incorporando, parámetros microbiológicos y ecotoxicológicos, evaluación de posibles infiltraciones al subsuelo mediante piezómetros y modelamiento del impacto potencial en cursos de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Gonzales, J. G. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. <https://www.researchgate.net/publication/352157132>
- Astorga Del Canto, C. F. (2018). *Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales*. Universidad de Chile.
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación* (Grupo Editorial Patria, Ed.; 3rd ed., Vol. 1). Grupo Editorial Patria.
- Baird, Rodger., & Rice, E. W. . (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Pearson, Ed.; Tercera).
- Ccanto Mallma, G. (2014). *Metodología de la investigación en ingeniería Química y Ambiental* (Editorial Cultura PERuana, Ed.; Edición primera, Vol. 1).
- Chávez Montes, W. M. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx.* Centro de investigación en materiales avanzados.
- Christensen, T. H. (2011). *Solid waste technology & management*. Wiley.
- Cordova Baldeon, J. J., Taype Ichpas, A., & Capcha Perez, R. Y. (2023). *Aprovechamiento de lixiviados generados por los residuos orgánicos en el relleno sanitario Ccatun Huaycco en Paltamachay -Yauli - Huancavelica* [Universidad Continental]. www.cta-r.com
- Correal, M., Faleiro, C., Piamonte, C., Rihm, A., & Zambrano, M. (2023). *Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en américa Latina y el Caribe*. <http://www.iadb.org>
- Cuichan Ango, J. I. (2022). *Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario “romerillos” del cantón mejía, provincia de pichincha, mediante coagulación – floculación con cloruro férrico*. Escuela Politécnica Nacional.
- Dávila Sámano, A. R., Castillo Suárez, L. A., Linares Hernández, I., García Colindres, M. A., & Martínez Miranda, V. (2024). Efectos ambientales en el aire, agua y suelo de los residuos sólidos urbanos de un relleno sanitario del Estado de México. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*.
- Dávila Sámano, A. R., Linares Hernández, I., Castillo Suárez, L. A., & Martínez Miranda, V. (2021). Gestión de los residuos sólidos urbanos y su efecto en el aire, agua y suelo. *Revista Alfa*, 5(15). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.128>
- Del Ángel-Hernández, V., Sánchez-Luna, Z. I. L., Reyes-Aguilera, J. A., Ortega, I. A. Q., De La Rosa-Álvarez, M. G., Delgado García, J. J., & Mendoza Díaz, G. (2013). *Caracterización de los lixiviados del relleno sanitario “el Verde” de la ciudad de León*,

GTO.

- Gimenez Vedia, E. A. (2019). *Estudio de impacto ambiental de los lixiviados generados por el relleno sanitario urbano (RSU) de pampa galana de la ciudad de Tarija y proporcionando medidas de mitigación*. Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho.”
- Heimlich, J., Hughes, K., & Christy, A. (2007). Integrated Solid WasteManagement. ResearchGate.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Mc Graw Hill Education, Ed.; 6 edición).
- López Velasco, R. (2015). *Evaluación de la producción de lixiviados en vertederos de residuos sólidos urbanos: métodos disponibles y aplicación a vertederos de cuencas mediterráneas*. Universidad de Politecnia de Valencia.
- Mayor Torrez, V., Agudelo Tejada, A., García-Alzate, L., & Padilla Sanabria, L. (2018). Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes. *Revista ION*, 31(1), 59–63. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018010>
- Mejia Cahuana, J., & Chire Noriega, F. R. (2023). *Evaluación de riesgos ambientales de los lixiviados generados en el botadero controlado “Quebrada Honda”, Yura Arequipa 2022*. Universidad Continental.
- Merino Alvarez, A. S. (2022). *Caracterización fisicoquímica de los lixiviados en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca, año 2021* [Universidad Privada del Norte]. <https://orcid.org/0000-0002-1870-6648>
- MINAM. (2010). *Aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*.
- MINAM. (2016a). *Plan Nacional de Gestión Integral de residuos sólidos 2016-2024*.
- MINAM. (2016b, December 22). *Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos - D. L. 1278*. Ministerio Del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>
- MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* (p. 10).
- MINAM. (2018). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-diseno-construccion-operacion-mantenimiento-cierre-relleno-0>
- MINAM. (2019). *Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales*. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/707>
- Montoya Salazar, J. C., & Trujillo Romero, O. E. (2019). *Tratamiento de los Lixiviados Generados en el Relleno Sanitario “Los Corazones” de la Ciudad de Valledupar*

Mediante Ósmosis Inversa. Universidad de Manizales.

Morales Corozo, J. P. (2022). Análisis hidrológico del lixiviado generado en el relleno sanitario del Cantón Gonzalo Pizarro, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 15(38), 24–23.

OMA/MVCS. (2013). *Resolución ministerial N° 273-20213-vivienda - Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*.

OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Vol. Primero* (Organismo Mundial de la Salud, Ed.; Cuarta Edición). World Health Organization. <http://apps.who.int/>

OPS-OMS. (2020). *Enfermedades parasitarias de origen hídrico*.

Orihuela Paredes, J. C. (2018). *Un análisis de la eficiencia de la gestión municipal de residuos sólidos en el Perú y sus determinantes*.

Pacheco Espejel, A., & Cruz Estrada, C. (2006). *Metodología crítica de la investigación* (Compañía editorial continental, Ed.; Primera Edición).

Sánchez Carlessi, H., & Reyes Meza, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica* (Business Support Aneth SRL, Ed.; Quinta edición).

Sanchez Chavez, W. A. (2019). *Evaluación de los lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada Vientojirca – independencia – Huaraz – Ancash - 2018*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Suarez Robayo, R. F., & Arias Valencia, J. A. (2015). *Caracterización de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana*. Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito.

UNESCO. (2021). *Plan de acción de la reserva de biósfera Oxapampa Asháninka Yánesha 2015-2021*.

ANEXOS

Anexo A. Instrumentos de Recolección de datos

Ficha de recolección de datos

Responsable:

Fecha:

Lugar:

Tipo de fuente:

N°	UTM	Envase	Parámetro						
			pH	Turb.	Cond.	STD			
1									
2									
3									
4									

Observación:

.....

.....

.....

.....

CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA

149 Lima 401 L.L. 16. Hilo Hae-jin - Puerto Rico
CE, Plum. Jr. Semal 154. Urb. Sincero - Fura
informacion: 011244-4050 - atencion@seno@puerto.com.ar

Cliente:	Greedy Abigail Campos Romero		
Procedencia*:	Relleno Sanitario de Oxapampa - Tesis		
Distrito:	Oxapampa	Provincia:	Oxapampa
Contacto:		Departamento:	Pasco
		Teléfono:	963692136
		Correo:	greedyabi15@gmail.com

P.T.E. N°: 077-25(1)
ORDEN DE TRABAJO N°: -
CÓDIGO INTERNO N°: 20471/25

* Subrayar la actividad Dirección, lugar de encuentro y el nombre del producto.

[illegible]

Agua Natural	Bonifacio	AR-31
	San Rafael	AR-34
Agua Reducida	Bonifacio	AR-31
	Volcan	AR-30
	Manzanillo	AR-32
	Agua Reducida	AR-35
Agua de Mar y Consumo Humano	Agua de Mar	AR-33
	Agua Humana	AR-37
	Playa	AR-38
	Estación Aéreo	AR-39
Agua de Proceso	Chalaco de y Estación de	AR-36
	Almacenamiento en Colinas	AR-34
	Agua de Caliente	AR-35
	Agua de Calidad de	AR-38
	Agua Purificada	AR-39
Agua Salada	Agua de Mar	AR-33
	Agua Salada	AR-38
	Playa	AR-38

Downloaded At: 11:53 11 September 2009

Observaciones:

F.F.C. - Programa Técnico Especializado - 2º Período - L.P. 3º Trimestre - Los campus de Baja Verapaz y Cáliz de Guatemala son beneficiarios de este programa.

est. medición de pH. T. Medición de temperatura de la muestra. Condición del material. © 2008 Elsevier Inc. All rights reserved. Médica y Farmacia

© 2004 The Authors
Journal compilation © 2004 Blackwell Publishing Ltd

Responsable		Firma	Fecha y Hora
Muestreado por:	Cliente / Laboratorio Greasy Abigail Campos Romero		20/02/25 12:00 pm
Cliente / Campo:			
Recepción en Laboratorio:	Thon Perez G.		21/02/25 08:50h

Verificación de la recepción de muestras						
pH	✓	T	4.2	V	✓	E

Código: FO4-P.MOT.D4
Versión N°: 00
Fecha: 05/09/2021

WWW.EJES.COM.RO

VHCB/ARG/VHCB

Page 1 of 1

Anexo B. Procedimiento de validación y confiabilidad



[NOSOTROS](#) [SERVICIOS](#) [STAFF](#) [ACREDITACIONES Y CERTIFICACIONES](#) [PREMIOS](#)

ACREDITACIONES Y CERTIFICACIONES

Para garantizar la calidad de nuestro servicio contamos con las siguientes acreditaciones y certificaciones:

ISO 9001: "Sistemas de Gestión de la Calidad"

NTP-ISO/IEC 17025: "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración"

Nuestros métodos de ensayo se rigen normativas y acreditaciones que radican en demostrar la competencia técnica para la entrega de resultados confiables



Anexo C. Informe de ensayo



**Environmental Quality
Analytical Services S.A.**
Tecnología al servicio de la Protección y Sanamiento Ambiental



INFORME DE ENSAYO N° N0471/25

Solicitante : TESISTA - GREESY ABIGAIL CAMPOS ROMERO
Dirección : Barrio Miraflores

(°) Procedencia : RELLENO SANITARIO DE OXAPAMPA - TESIS
Distrito: Oxapampa - Provincia: Oxapampa - Departamento: Pasco

(°) Matriz de la muestra : Agua de Proceso - Agua de Lixiviación

(°) Fecha de Muestreo : 20 - Febrero - 2 025
Responsable del muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 21 - Febrero - 2 025 / 08:50 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 21 al 28 - Febrero - 2 025
Código Interno : L0471/25

PARÁMETROS	0471 - 1 ^(*)		Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	(°)	RSL-01 ^(*) (12:00 h)		
Demanda Bioquímica de Oxígeno		458	mg/L	APHA 5210 B
Demanda Química de Oxígeno		995	mg O ₂ /L	APHA 5220 D
Fósforo Total		9,132	mg P/L	APHA 4500-P B (Item 5), E
Nitrógeno Amoniacal		1,82	mg NH ₃ -N/L	APHA 4500-NH3 D
Nitrógeno Total		28,41	mg N/L	APHA- 4500-N C / EPA 352.1 (Validado)

(*) Código de Laboratorio

(°) Código del Solicitante y hora de muestreo

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

☐ Standard Methods for The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed, APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

☐ Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. -

☐ (°) Datos proporcionados por el cliente. EQUAS S.A. no asume responsabilidad de los datos brindados que puedan afectar la validez de los resultados.

☐ Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 03 de Marzo de 2 025.

EQUAS S.A.
Ing. Eusebio Víctor Córdor Everisto
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General - EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: P01-P.D/R.04

Revisión: 02

Fecha: 03-09-2 024

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb. Naranjito - Fuente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 2



INFORME DE ENSAYO N° N0471/25

Solicitante : TESISTA - GREESY ABIGAIL CAMPOS ROMERO
Dirección : Barrio Miraflores

(°) Procedencia : RELLENO SANITARIO DE OXAPAMPA - TESIS
Distrito: Oxapampa - Provincia: Oxapampa - Departamento: Pasco

(°) Matriz de la muestra : Agua de Proceso - Agua de Lixiviación

(°) Fecha de Muestreo : 20 - Febrero - 2 025
Responsable del muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 21 - Febrero - 2 025 / 08:50 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 21 al 28 - Febrero - 2 025
Código Interno : L0471/25

PARÁMETROS	0471 - 1 ^(*)		Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	(°)	RSL-01 ^(H) (12:00 h)		
Metales Totales				
Aluminio (Al)		0,456	mg/L	APHA 3111 D
Arsénico (As)		0,006	mg/L	APHA 3114 C
Bario (Ba)		0,57	mg/L	APHA 3111 D
Berilio (Be)		< 0,006	mg/L	APHA 3111 D
Boro (B)		0,12	mg B/L	APHA 4500-B C
Cadmio (Cd)		< 0,003	mg/L	APHA 3111 B
Cobre (Cu)		< 0,006	mg/L	APHA 3111 B
Cobalto (Co)		< 0,006	mg/L	APHA 3111 B
Cromo (Cr)		< 0,010	mg/L	APHA 3111 B
Hierro (Fe)		4,765	mg/L	APHA 3111 B
Litio (Li)		< 0,003	mg/L	APHA 3111 B
Magnesio (Mg)		38,94	mg/L	APHA 3111 B
Manganeso (Mn)		1,815	mg/L	APHA 3111 B
Mercurio (Hg)		< 0,0002	mg/L	APHA 3112 B
Níquel (Ni)		0,059	mg/L	APHA 3111 B
Plomo (Pb)		< 0,010	mg/L	APHA 3111 B
Selenio (Se)		< 0,001	mg/L	APHA 3114 C
Zinc (Zn)		0,104	mg/L	APHA 3111 B

(*) Código de Laboratorio

(H) Código del Solicitante y hora de muestreo

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS.-

☐ Standard Methods for The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed, APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA.-

☐ Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES.-

- ☐ (*) Datos proporcionados por el cliente. EQUAS S.A. no asume responsabilidad de los datos brindados que puedan afectar la validez de los resultados.
- ☐ Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 03 de Marzo de 2 025.

EQUAS S.A.

Ing. Eusebio Víctor Córdor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General - EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04

Revisión: 02

Fecha: 09-09-2 024

Dirección de Laboratorio: Mz./ Lote 74, Urb. Naranjito - Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte

Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe

Página 2 de 2



INFORME DE ENSAYO N° N0472/25

Solicitante : TESISTA - GREESY ABIGAIL CAMPOS ROMERO
Dirección : Barrio Miraflores

(°) Procedencia : RELLENO SANITARIO DE OXAPAMPA - TESIS
Distrito: Oxapampa - Provincia: Oxapampa - Departamento: Pasco

(°) Matriz de la muestra : Agua de Proceso - Agua de Lixiviación

(°) Fecha de Muestreo : 20 – Febrero – 2 025
Responsable del muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 21 – Febrero – 2 025 / 08:50 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 21 al 28 – Febrero – 2 025
Código Interno : L0472/25

PARÁMETROS	0472 - 1 ^º		Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	(°)	RSL-02 TM (12:20 h)		
Demanda Bioquímica de Oxígeno		61	mg/L	APHA 5210 B
Demanda Química de Oxígeno		114	mg O ₂ /L	APHA 5220 D
Fósforo Total		0,141	mg P/L	APHA 4500-P B (Item 5), E
Nitrógeno Amoniacal		0,48	mg NH ₃ -N/L	APHA 4500-NH ₃ D
Nitrógeno Total		1,39	mg N/L	APHA- 4500-N C / EPA 352.1 (Validado)

(*) Código de Laboratorio

(°) Código del Solicitante y hora de muestreo

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

☐ Standard Methods for The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed, APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

☐ Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. -

☐ (*) Datos proporcionados por el cliente. EQUAS S.A. no asume responsabilidad de los datos brindados que puedan afectar la validez de los resultados.

☐ Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 03 de Marzo de 2 025.

EQUAS S.A.

Ing. Eusebio Víctor Córdor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.



Environmental Quality Analytical Services S.A.

Tecnología al servicio de la Protección y Sanamiento Ambiental



INFORME DE ENSAYO N° N0472/25

Solicitante : TESISTA - GREESY ABIGAIL CAMPOS ROMERO
Dirección : Barrio Miraflores

(*) Procedencia : RELLENO SANITARIO DE OXAPAMPA - TESIS
Distrito: Oxapampa - Provincia: Oxapampa - Departamento: Pasco

(*) Matriz de la muestra : Agua de Proceso - Agua de Lixiviación

(*) Fecha de Muestreo : 20 - Febrero - 2 025
Responsable del muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 21 - Febrero - 2 025 / 08:50 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 21 al 28 - Febrero - 2 025
Código Interno : L0472/25

PARÁMETROS	0472 - 1 ^(*)		Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	(*)	RSL-02 ^(H) (12:20 h)		
Metales Totales				
Aluminio (Al)		1,868	mg/L	APHA 3111 D
Arsénico (As)		0,006	mg/L	APHA 3114 C
Bario (Ba)		0,37	mg/L	APHA 3111 D
Berilio (Be)		< 0,006	mg/L	APHA 3111 D
Boro (B)		< 0,02	mg B/L	APHA 4500-B C
Cadmio (Cd)		< 0,003	mg/L	APHA 3111 B
Cobre (Cu)		< 0,006	mg/L	APHA 3111 B
Cobalto (Co)		< 0,008	mg/L	APHA 3111 B
Cromo (Cr)		< 0,010	mg/L	APHA 3111 B
Hierro (Fe)		4,765	mg/L	APHA 3111 B
Litio (Li)		< 0,003	mg/L	APHA 3111 B
Magnesio (Mg)		19,27	mg/L	APHA 3111 B
Manganeso (Mn)		4,436	mg/L	APHA 3111 B
Mercurio (Hg)		< 0,0002	mg/L	APHA 3112 B
Níquel (Ni)		< 0,011	mg/L	APHA 3111 B
Plomo (Pb)		0,098	mg/L	APHA 3111 B
Selenio (Se)		< 0,001	mg/L	APHA 3114 C
Zinc (Zn)		0,170	mg/L	APHA 3111 B

(*) Código de Laboratorio

(*) Código del Solicitante y hora de muestreo

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS.-

Standard Methods for The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed, APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA.-

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES.-

(*) Datos proporcionados por el cliente. EQUAS S.A. no asume responsabilidad de los datos brindados que puedan afectar la validez de los resultados.

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 03 de Marzo de 2 025.

EQUAS S.A.
Ing. Eusebio Víctor Cándor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General - EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04

Revisión: 02

Fecha: 03-09-2 024

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb.Naranjito - Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte

Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe

Página 2 de 2

Acreditación de laboratorio EQUAS



Anexo D. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL Y ESPECÍFICOS	OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACION	VARIABLES	METODOLÓGICO	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024? Problemas Específicos ➤ ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados activos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024? ➤ ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024? ➤ ¿Qué parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos superan los límites permisibles establecidos en la normativa nacional vigente?	Objetivo General Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024. Objetivo específico ➤ Determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados activos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024. ➤ Determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024. ➤ Identificar qué parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos superan los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente.	Hipótesis General Existen diferencias entre los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, 2024. Hipótesis Específicos ➤ Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados activos presentan diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024. ➤ Los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados pasivos presentan diferencias en el relleno sanitario de Oxapampa, 2024. ➤ Los parámetros analizados de los lixiviados activos y pasivos exceden los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS 003-2010-MINAM) y los valores máximos admisibles (DS 010-2019-VIVIENDA).	Variable dependiente ➤ Tipo de lixiviado según su origen en el relleno sanitario Variable Independiente: ➤ Características fisicoquímicas de los lixiviados.	Tipo de investigación Descriptiva comparativa de enfoque cuantitativo. Nivel: Descriptivo comparativo de enfoque cuantitativo descriptivo comparativo Método: Descriptivo comparativo de enfoque cuantitativo descriptivo comparativo	Instrumentos de recolección de datos. ➤ Registro de datos ➤ Instrumento de medición. Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos ➤ Apuntes ➤ Test instrumental

Anexo E. Panel fotográfico

Foto E1. Áreas de generación de lixiviados



Fuente: elaboración propia

En la foto E1, se observa el área de producción de lixiviados del relleno sanitario de Oxapampa, los lixiviados pasivos (RSL-02) procedentes del área de recuperación y los lixiviados activos procedentes de las celdas activas del relleno sanitario (RSL-01).

Foto E2. Ubicación de relleno sanitario en Oxapampa



Fuente: Google Earth

La foto E2, indica la ubicación del relleno sanitario de Oxapampa que se encuentra ubicado en el sector de San Jorge a 12 Km de Oxapampa.

Foto E3 . Poza de lixiviados del relleno sanitario de Oxapampa



Fuente: Elaboración propia

En la foto E3, a la izquierda se presenta la poza de lixiviado procedentes de la zona de recuperación (RSL-02) y a la derecha la poza de lixiviados procedentes de las celdas activas (RSL-01), de relleno sanitario de Oxapampa.

Foto E4. Toma de muestras



Fuente: Elaboración propia

En la foto E4, procedimiento en la toma de muestra puntual de lixiviados del relleno sanitario de Oxapampa.

Foto E5. Pozos de lixiviados activos de relleno sanitario de Oxapampa (RSL-01)



Fuente: elaboración propia.

En la foto E5, se ilustra la toma de muestras puntual de los lixiviados activos del relleno sanitario de Oxapampa (RSL-01), además se realizó la medición de parámetros de campo.

Foto E6. Pozos de lixiviados pasivos de relleno sanitario de Oxapampa (RSL-02)



Fuente: elaboración propia

En la foto E6, se ilustra la toma de muestras puntual de los lixiviados pasivos del relleno sanitario de Oxapampa (RSL-02), además se realizó la medición de parámetros de campo.

Foto E7. Muestreo de metales totales y parámetros químicos



Fuente: elaboración propia

En la foto E7, se presenta la toma y preparación de muestras para ser enviados al laboratorio acreditado de EQUAS.

Foto E8. Equipos de medición de parámetros de campo



Fuente: elaboración propia

En la foto E8, se muestra los equipos de campo utilizados en el muestreo de los lixiviados activos y pasivos del relleno sanitario de Oxapampa, a la izquierda equipo multiparamétrico HI 991300 y a la derecha turbidímetro OAKTON T-100.

Anexo F. Protocolo de muestreo de lixiviados - Relleno sanitario de Oxapampa

(alineado al Protocolo de Monitoreo de calidad de efluentes — MVCS/SINIA — y a métodos APHA)

1. Objetivo

Estandarizar los procedimientos de muestreo, preservación, transporte y registro de muestras de lixiviado del relleno sanitario de Oxapampa, para obtener datos representativos, trazables y comparables que permitan caracterizar fisicoquímicamente los lixiviados jóvenes y viejos, evaluar su cumplimiento normativo y orientar alternativas de tratamiento.

2. Alcance

Aplica a todas las actividades de muestreo de lixiviados del relleno sanitario municipal de Oxapampa durante las campañas del estudio. Incluye toma de muestras, control de calidad (QA/QC), cadena de custodia, transporte al laboratorio y recepción de resultados analíticos.

3. Responsables

- Investigador principal/Coordinador de campo: planificación, autorización y supervisión.
- Equipo de muestreo: toma de muestras, registros, etiquetado y cadena de custodia.
- Laboratorio acreditado: análisis conforme APHA.
- Municipalidad/Operador del relleno: facilitar acceso y logística.

4. Seguridad y bioseguridad

- Uso obligatorio de EPP: guantes nitrilo resistentes, botas de seguridad, casco, gafas, protector facial, chaleco reflectante y ropa impermeable.
- Botiquín y plan de emergencia en campo.
- Manejo de sustancias peligrosas con cuidado (pH extremos, H₂SO₄ si aplica).
- Señalización de área y coordinación con operador del relleno para evitar maniobras de maquinaria durante la toma.

5. Puntos de muestreo y su identificación

Adaptando la sección 6.1 del Protocolo MVCS (puntos de monitoreo), se definen:

- **RSL-01 (lixiviado joven):** poza/pozo de captación asociado a celdas activas. Ubicación GPS, profundidad y coordenadas registradas.
- **RSL-02 (lixiviado viejo):** poza/pozo asociado a celdas en recuperación/antiguas. Ubicación GPS registrada.

- **Control A (aguas receptoras aguas arriba):** si existe curso receptor cercano.
- **Control B (aguas receptoras aguas abajo):** aguas receptoras para evaluación comparativa.

Criterios de selección: accesibilidad segura, evitar zonas con sólidos flotantes en el momento de muestreo (preferir después de cribado si aplica), puntos representativos de las zonas jóvenes y viejas.

6. Parámetros para analizar (mínimo recomendado)

Protocolo MVCS, parámetros fisicoquímicos críticos:

In situ (campo): temperatura, pH, conductividad eléctrica (EC), potencial redox (ORP), turbidez, oxígeno disuelto (OD).

Laboratorio: Sólidos totales (ST), Sólidos disueltos (TDS), Sólidos suspendidos totales (SST), DBO₅ (BOD₅), DQO (COD), demanda molecular (TOC opcional), amonio (NH₄⁺-N), nitrógeno total (NTK/TKN), fósforo total (PT), cloruros, sulfatos, metales (Fe, Mn, Al, Pb, Cd, Zn, Ni, Cr), alcalinidad.

(Usar métodos APHA/5220-D para COD, 5210-B para BOD, y métodos AAS/ICP para metales).

7. Tipo de muestra y muestreo (procedimiento paso a paso)

7.1. Preparación (antes de salir al campo)

- Revisar plan de muestreo y órdenes de trabajo.
- Preparar envases limpios etiquetados.
- Llevar equipo de campo calibrado: multiparámetro (pH, EC, OD, Temp), turbidímetro, medidor de caudal o cubeta si aplica, GPS, termómetro.
- Incluir duplicados, blancos de campo y frascos para test de preservación.

7.2. Procedimiento de toma (por punto)

- Llegar al punto, registrar fecha, hora, coordenadas GPS, condición del punto (nivel de agua, presencia de sólidos, olor). Completar ficha de campo.
- Medir in situ primero: temperatura, pH, EC, OD, turbidez. Registrar valores.
- Enjuagar frascos 3 veces con el agua del punto antes de llenar (si frascos no están prelavados con ácido; si están prelavados en laboratorio, no enjuagar).
- Llenar frascos sin burbujas para parámetros que requieren ello (DBO). Dejar espacio según instrucciones de preservación si necesario.
- Etiquetar inmediatamente (ver plantilla) y colocar en hielera con hielo (4 ± 2 °C). Registrar temperatura de transporte.

7.3. Tiempos y preservación (respetar APHA)

- **DBO₅:** conservar refrigerado (4 °C) y analizar preferiblemente dentro de 24–48 h (no más de 48 h según APHA 5210 B).

- **DQO (COD):** conservar refrigerado; analizar según laboratorio (ideal <28 días si es acidificado y según método). Use método APHA 5220 D.
- **Nutrientes (NH₄, NO₃, PO₄):** refrigerar y analizar dentro de 48 h / según APHA.
- **Metales:** usar frascos acidificados (HNO₃ ultrapuro) en laboratorio o recoger y conservar refrigerado sin acidificar (según indicación de laboratorio), preferiblemente acidificar a pH <2 si laboratorio lo solicita; analizar por AAS/ICP.
- **pH y OD:** medir in situ (no conservar).
 - (Anotar preservantes utilizados y tiempos exactos en hoja de cadena de custodia).

8. Envío, transporte y cadena de custodia

- Mantener muestras en hielera con hielo (4 °C) y evitar exposición al sol.
- Tiempo máximo de transporte hasta ingreso a laboratorio: preferiblemente <6 horas; no exceder 24 h para parámetros sensibles. Para DBO exigir que el laboratorio empiece análisis dentro de máxima 48 h desde la toma.
- Registrar en hoja de cadena de custodia: identificador de muestra, punto, fecha/hora de toma, responsable de muestreo, preservante, temperatura de envío, hora de recepción en laboratorio y firma del receptor. (Anexo: usar modelo de cadena del Protocolo MVCS o de laboratorio).

9. Consideraciones específicas para lixiviados

- Debido a la alta carga orgánica y posible presencia de compuestos reductores (Fe²⁺), evitar exposición prolongada al oxígeno en muestras para metales, y registrar ORP (potencial óxido reducción) en campo para interpretación.
- Tener precaución con muestras muy ácidas o básicas; neutralizar con criterio en laboratorio (no en campo).
- Para parámetros volátiles o altamente biológicos (ammonio), respetar tiempos de preservación.

10. Referencias principales citadas

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento — Oficina de Medio Ambiente (MVCS). (2019). *Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. SINIA.
- APHA; AWWA; WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.).