

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES
EN EFLUENTES DE DOS INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS UBICADOS EN
SANTA ROSA DE SHAPAJILLA – PERU, 2022**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

BACH. JASMINE ESTEFANY MARQUEZ SALAZAR

TINGO MARÍA-PERÚ

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 076-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de mayo de 2025, a horas 4:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EFLUENTES DE DOS INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS UBICADOS EN SANTA ROSA DE SHAPAJILLA-PERU,2022”

Presentado por la Bachiller: **MARQUEZ SALAZAR, JASMINE ESTEFANY** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 20 de junio de 2025

Dr. JOSÉ KALIÓN GUERRA LU
PRESIDENTE

Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
MIEMBRO



Ing. MSc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO

Ing. MSc. SANDRA L. ZAVALA GUERRERO
ASESOR



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 224 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EFLUENTES DE DOS INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS UBICADOS EN SANTA ROSA DE SHAPAJILLA - PERU, 2022	JASMINE ESTEFANY MARQUEZ SALAZAR	16 % Dieciséis

Tingo Maria, 07 de julio de 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Malqui
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES
EN EFLUENTES DE DOS INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS UBICADOS EN
SANTA ROSA DE SHAPAJILLA – PERU, 2022

Autor	: Jasmine Estefany Marquez Salazar
Asesor	: M. Sc. Sandra Zavala Guerrero
Co Asesora	: M. Sc. Angie T. Fernandez Escobar
Programa de Investigación	: Gestión Ambiental
Línea de Investigación	: Sistemas de Gestión
Eje temático	: Gestión de residuos sólidos
Lugar de Ejecución	: Planta de tratamiento de residuos sólidos de Leoncio Prado
Duración del Trabajo	: 6 meses
Financiamiento	: FEDU : S/ 0,00 : Propio : S//. 5 010.47 : Otros : S/ 0,00

Tingo María – Perú

2025

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis padres quienes con mucho esfuerzo y dedicación lograron sacarnos adelante a mis hermanos y a mí, especialmente en esta etapa crucial de mi carrera profesional motivándome a culminar esta investigación.

A Daniel mi mejor amigo y compañero de vida quien en mis momentos de duda, fue mi soporte y motivación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y por brindarme las fuerzas para poder culminar esta investigación

A mi familia, quienes con su confianza y apoyo fue fundamental durante mi formación profesional

A Daniel, por su apoyo incondicional, creciendo profesionalmente juntos y compartiendo conmigo este objetivo.

A mi asesora la Ing. Sandra Zavala por su paciencia, tiempo y dedicación durante esta investigación

Al Ing. Richar Sias y al Dr. Cesar López López por su apoyo y facilidades durante la ejecución de esta investigación en el Laboratorio de Microbiología general de la UNAS.

A los miembros del jurado de tesis, por su tiempo y sus conocimientos brindados, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación

INDICE

	Página.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.1.1. Internacionales.....	4
2.1.2. Nacionales	8
2.2. Marco teórico	9
2.2.1. Efluente.....	9
2.2.2. Gestión de residuos sólidos	10
2.2.3. Planta de valorización de residuos sólidos	10
2.2.4. Celdas transitorias de residuos sólidos	11
2.2.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	11
2.2.6. Coliformes termotolerantes	11
2.2.7. Lixiviados provenientes de disposición final de residuos sólidos.....	12
2.2.8. Efluentes provenientes de disposición final de residuos sólidos.....	12
2.2.9. Tratamientos de lixiviados y efluentes	13
2.2.10. Correlación de parámetros	13
2.2.11. Valores de correlación de parámetros	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Lugar de ejecución.....	15
3.1.1. Ubicación política y geográfica.....	15
3.1.2. Clima	16
3.1.3. Precipitación	16
3.1.4. Economía	17

3.1.5. Cultura	17
3.2. Materiales y métodos	17
3.2.1. Materiales	17
3.2.2. Reactivos y medios de cultivo	17
3.2.3. Equipos	18
3.2.4. Metodología.....	18
3.3. Análisis estadístico del trabajo de investigación.....	22
3.3.1. Nivel de investigación	22
3.3.2. Tipo de investigación	22
3.3.3. Diseño de investigación.....	23
3.3.4. Variables experimentales.....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.....	24
4.1.1. Análisis del parámetro fisicoquímico caudal del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.....	24
4.1.2. Análisis del parámetro fisicoquímico temperatura del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.....	25
4.1.3. Análisis del parámetro fisicoquímico pH del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.....	27
4.1.4. Análisis del parámetro fisicoquímico Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla	28
4.1.5. Análisis del parámetro fisicoquímico Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.	30
4.1.6. Análisis del parámetro fisicoquímico Sólidos Suspendidos Totales (SST) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.	31

4.1.7. Análisis del parámetro fisicoquímico aceites y grasas del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.....	33
4.1.8. Análisis del parámetro biológico coliformes termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.	34
4.1.9. Análisis del cumplimiento de Límites Máximos Permisibles para efluentes.....	37
4.2. Relación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la presencia de coliformes termotolerantes en el efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.....	44
4.2.1. Relación entre los niveles de DBO y coliformes termotolerantes.....	45
4.3. Establecimiento de propuestas para el tratamiento de los efluentes generados en las infraestructuras de residuos.	46
V. CONCLUSIONES	50
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
VIII. ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Ubicación geográfica.....	15
2. Puntos de muestreo.....	18
3. Límites Máximos Permisibles de los parámetros a comparar del efluente de las infraestructuras de residuos sólidos	21
4. Análisis de caudal del efluente de la salida de la Celda transitoria y del efluente de la salida de la Planta de Valorización.	24
5. Análisis de temperatura del efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados.....	26
6. Análisis de pH del efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados	27
7. Análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados	28
8. Análisis de las pruebas estadísticas de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	29
9. Análisis de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados	30
10. Análisis de Sólidos Suspendidos Totales en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados	32
11. Análisis de Aceites y Grasas en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados.....	33
12. Análisis de Coliformes Termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>) en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados	35
13. Análisis de las pruebas estadísticas de la relación de Coliformes Termotolerantes.....	36
14. Comparación de la Temperatura en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles	37
15. Comparación del pH en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles	38
16. Comparación de la DBO en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles	39

17.	Comparación del Oxígeno Disuelto en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con el Estándar de Calidad Ambiental.....	40
18.	Comparación de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles	41
19.	Comparación de los Sólidos Suspendidos Totales en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles	42
20.	Comparación de Aceites y Grasas en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles	43
21.	Comparación de Coliformes Termotolerantes en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles	44
22.	Puntos de Muestreo	45
23.	Propuesta de tratamientos para lixiviados	47
24.	Datos.....	61
25.	Coefficiente de Correlación de Pearsson entre DBO y Coliformes Termotolerantes	63
26.	ANOVA del DBO	63
27.	Prueba de TUKEY.....	63
28.	ANOVA de Coliformes Termotolerantes.....	64
29.	Prueba de Tukey	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Mapa de ubicación de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Leoncio Prado.....	16
2. Diagrama de ubicación de los puntos de muestreo.....	19
3. Toma de muestra de los efluentes de las Celda Transitoria (M1)	65
4. Toma de muestra de los efluentes de la Planta de Valorización (M2).....	65
5. Rotulación de muestras para su posterior análisis.....	66
6. Rotulación de muestras para su posterior análisis.....	66
7. Proceso de inoculación para la lectura de coliformes termotolerantes.....	67
8. Resultados de cultivo para determinación de Coliformes termotolerantes	67
9 Observación de producción de gas para la identificación de E. coli.....	68
10. Lectura de oxígeno disuelto en las muestras recolectadas	68
11. Adición de la muestra a los tubos de digestión para su lectura de DQO.....	69
12. Lectura de Demanda Química de Oxígeno.....	69
13. Muestras de efluentes (Lixiviados) de los 3 puntos de muestreo.....	70
14. Muestras de DQO antes del proceso de digestión	70
15. Proceso de digestión de las muestras para la lectura de DQO.....	71
16. Pesaje de papel filtro para cálculo de sólidos suspendidos totales.....	71
17. Adición de HCl para conservación de muestras de efluentes para análisis de aceites y grasas	72
18. Rotulación para envío de muestras de efluente para análisis de aceites y grasas.....	72

RESUMEN

La finalidad principal de esta investigación fue evaluar la variabilidad de la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes en efluentes de dos infraestructuras de residuos (celda transitoria y planta de valorización) ubicados en Santa Rosa de Shapajilla 2022, mediante la caracterización fisicoquímica (T° , caudal, pH, DBO_5 , DQO, SST, aceites y grasas) y biológica (coliformes termotolerantes) del lixiviado, enfocado en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y coliformes termotolerantes. Se empleó un diseño no experimental, de tipo descriptivo-aplicado, ya que se recurrió a los análisis de los efluentes sin realizar la manipulación de ninguna variable. Utilizando análisis de laboratorio conforme a protocolos del APHA. Además, se aplicó un análisis estadístico de correlación de Pearson como una medida estadística que nos permitirá determinar el nivel y tipo de correlación existente entre dos variables cuantitativas como son: la DBO_5 y coliformes termotolerantes. Los resultados obtenidos revelaron niveles elevados de coliformes, especialmente en el efluente de la planta de valorización y el pozo de lixiviados. No se encontró una correlación significativa entre DBO_5 y coliformes termotolerantes ($r = 0.12$, $p = 0.50$), indicando que otros factores podrían influir en la presencia microbiana tales como: el tiempo de retención del lixiviado, las condiciones anaeróbicas o las diferencias en los procesos operativos de cada infraestructura. Se concluye que es necesario optimizar los procesos de tratamiento de efluentes en dichas infraestructuras donde se podrían implementar tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

Palabras clave: residuos sólidos, lixiviados, celda, planta de valorización, coliformes

Abstract

The principal purpose of this research was to evaluate the variability of the biochemical oxygen demand and the thermotolerant coliforms in effluents from two infrastructures for waste (transitory cell and recovery plant) located in Santa Rosa de Shapajilla, [Peru,] during 2022 using the physicochemical (T° , flow, pH, DBO_5 , DQO, SST, oils and fats) and biological (thermotolerant coliforms) characterization of the leachates, focused on the biochemical oxygen demand (COD_5 ; DBO_5 in Spanish) and the thermotolerant coliforms. A non-experimental design of a descriptive-applied type was used, since the analysis of the effluents was referenced without manipulating any of the variables. Using the laboratory analysis according to the APHA protocols. Moreover, a statistical analysis with the Pearson correlation was applied as a statistical measure which allowed for the determination of the level and type of the correlation that existed between two quantitative variables, such as: the COD_5 and the thermotolerant coliforms. The results that were obtained revealed elevated levels of coliforms, especially in the effluent from the recovery plant and in the well for leachates. A significant correlation was not found between the COD_5 and the thermotolerant coliforms ($r = 0.12$, $p = 0.50$), indicating that other factors could influence the microbial presence such as: the retention time for the leachate, the anaerobic conditions or the differences in the operative processes of each infrastructure. It was concluded that it is necessary to optimize the treatment processes of the effluents in said infrastructures, where primary, secondary and tertiary treatments could be implemented.

Keywords: solid waste, leachates, cells, recovery, coliforms

I. INTRODUCCIÓN

El inadecuado manejo en la gestión de los residuos sólidos, el crecimiento poblacional, son dos factores que trae consigo el crecimiento en la producción de residuos, sigue siendo un tema pendiente en muchas ciudades del mundo, y esto causa el aumento de los vertidos sólidos a cielo abierto sin ningún control. A nivel global, la variabilidad de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los coliformes termotolerantes en efluentes de vertederos y plantas de recuperación de residuos refleja disparidades en los sistemas de gestión y tratamiento. Países con regulaciones estrictas y tecnologías avanzadas, como los miembros de la Unión Europea, logran reducir significativamente estos contaminantes mediante procesos como la digestión anaerobia y tratamientos terciarios. Sin embargo, en regiones con limitada infraestructura, como África Subsahariana y partes de Asia, los lixiviados sin tratar continúan contaminando cuerpos de agua, exacerbando riesgos sanitarios y ecológicos. Esta heterogeneidad subraya la necesidad de estandarizar protocolos de tratamiento adaptados a las capacidades técnicas y económicas de cada contexto, promoviendo soluciones sostenibles y escalables.

En el Perú, la gestión de lixiviados y efluentes de residuos enfrenta desafíos críticos, particularmente en vertederos no controlados y plantas de tratamiento con operatividad limitada. Estudios en rellenos sanitarios como Huaycoloro (Lima) evidencian niveles elevados de DBO y coliformes termotolerantes, superando los límites establecidos por la normativa peruana (ECA). Aunque el país ha avanzado en políticas como la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.L N° 1278), su implementación es desigual, con deficiencias en monitoreo y tecnología. La falta de plantas especializadas en tratar lixiviados agrava el impacto en cuencas hidrográficas, exigiendo una mayor inversión en infraestructura y capacitación operativa para cumplir con estándares ambientales.

A escala regional, Huánuco presenta una problemática acentuada por la ausencia de rellenos sanitarios técnicamente equipados y sistemas de tratamiento eficientes. Además, los escasos controles en las plantas de recuperación local incrementan la presencia de coliformes termotolerantes en aguas residuales, afectando a comunidades agrícolas y urbanas aledañas.

El área distrital de Rupa Rupa, ubicada en la provincia de Leoncio Prado, enfrenta desafíos críticos en la gestión de residuos sólidos, pese a contar con una celda transitoria y una planta de valorización. La escasa educación ambiental entre la población y la falta de participación multisectorial dificultan una gestión integral, desde la generación hasta la

disposición final. En este contexto, los lixiviados derivados de la descomposición de materia orgánica representan un riesgo ambiental significativo, dado su alto contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), entre otros.

Estos efluentes, al carecer de un sistema de tratamiento adecuado, pueden infiltrarse o ser descargados directamente en cuerpos de agua, afectando los ecosistemas acuáticos adyacentes. Estudios técnicos demuestran que incluso en ausencia de precipitaciones o líquidos externos, la degradación natural de los residuos genera lixiviados con concentraciones peligrosas de sustancias tóxicas y patógenos. De no implementarse procesos de tratamiento eficientes, como sistemas de biorremediación o barreras geotécnicas, estos contaminantes podrían alterar irreversiblemente la calidad del agua subterránea y superficial, comprometiendo la biodiversidad y la salud pública en la zona.

Esta problemática motivó la investigación en la celda transitoria y la planta de valorización de Rupa Rupa, con el fin de caracterizar los componentes críticos de los residuos que generan lixiviados y evaluar su impacto potencial. Los resultados buscan aportar a estrategias locales que mejoren el manejo de lixiviados, priorizando soluciones técnicas accesibles y la sensibilización comunitaria para reducir la contaminación en un distrito con alta vulnerabilidad ambiental.

La presente investigación plantea resolver la siguiente incógnita ¿La Demanda Bioquímica de Oxígeno en relación a los Coliformes Termotolerantes presentes en efluentes de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla – Perú, 2022 superan el límite máximo permitido?,

Teniendo como hipótesis que: la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Termotolerantes superan en al menos el 10% del valor máximo permitido en efluentes de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla – Perú, 2022.

1.1. Objetivo general

Evaluar la variabilidad de la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes en efluentes de dos infraestructuras de residuos ubicados en Santa Rosa de Shapajilla – Perú, 2022.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros físicoquímicos y biológicos del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.
- Determinar la relación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la presencia de los coliformes termotolerantes del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.
- Establecer propuestas para el tratamiento de los efluentes generados en las infraestructuras de residuos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Ramírez et al. (2023) en su investigación titulada “Modelo matemático para control de lixiviados en tratamiento de desechos sólidos urbanos en un Municipio de Ecuador”, tuvo como finalidad desarrollar un modelo matemático basado en ecuaciones diferenciales lineales para controlar los lixiviados generados en el tratamiento de desechos sólidos urbanos en el cantón San Francisco de Milagro. El modelo permite determinar si los lixiviados cumplen con las normas ambientales vigentes, considerando variables físicas, químicas y bacteriológicas.

Podlasek (2022), menciona que la generación de lixiviados en diferentes escenarios de sistemas de sellado en rellenos sanitarios de Polonia utilizando el modelo HELP. Encontró que la precipitación y la evapotranspiración son componentes clave en el balance hídrico del relleno, y que la aplicación de sistemas de sellado multicapa puede reducir la generación de lixiviados en aproximadamente 33 m³ por hectárea al año.

Freitas et al. (2024), en su investigación titulada “Temperaturas más altas brindan información sobre la mineralización aeróbica de los lixiviados de macrófitos acuáticos”, realizada en sistemas acuáticos, tuvo como finalidad estudiar el impacto del aumento de temperatura sobre el consumo de oxígeno disuelto (OD) debido a la mineralización del lixiviado de macrófitos acuáticos. Para ello, se desarrollaron bioensayos en los cuales se expusieron lixiviados de especies de macrófitos acuáticos (*Myriophyllum acuáticos*, *Hedychium coronarium*, *Salvinia auriculata* y *Chara sp.*) a un aumento de temperatura de 4°C (de 21°C a 25°C). Los resultados obtenidos demostraron que a 25°C el consumo de oxígeno debido a la mineralización aumentó en un 9.6%. Además, la composición química del lixiviado cambió su consumo de oxígeno, variando entre un 7,2% a 21°C y un 9,2% a 25°C. La estequiometría O/C (oxígeno consumido por carbono oxidado) reflejó cómo la temperatura influía en el patrón de consumo de oxígeno, observándose que las temperaturas más altas mejoraban el consumo de oxígeno de la mineralización del lixiviado, a lo largo de 90 días a 25°C, se registraron las concentraciones más altas de carbono orgánico disuelto remanente, lo cual sugiere que el aumento de temperatura favorece la selección de microorganismos y las rutas catabólicas que producen compuestos orgánicos refractarios, reduciendo la mineralización

completa. Estos hallazgos destacan la importancia de comprender los efectos de las variaciones climáticas sobre los ciclos biogeoquímicos en sistemas acuáticos, dado que las temperaturas elevadas pueden alterar el equilibrio del oxígeno y modificar los ciclos de carbono y nitrógeno en estos ecosistemas.

Zhang et al. (2024), en su investigación titulada “Reducción de la formación de compuestos de azufre a partir de una zona saturada de lixiviado en condiciones de temperatura cambiantes”, analiza cómo las variaciones de temperatura en los vertederos afectan el proceso de reducción de sulfatos en la zona saturada de lixiviados. Este proceso es crucial debido a la producción de compuestos de azufre, como el H_2S , que pueden generar problemas ambientales, como la formación de olores. El estudio muestra que el aumento de temperatura estimula la producción de H_2S , mientras que una disminución de temperatura favorece la reducción de sulfatos. Los resultados obtenidos indican que las fluctuaciones de temperatura alteran significativamente la estructura de la comunidad microbiana en los vertederos. Se observó que una diferencia de temperatura de $30^{\circ}C$ tuvo un efecto más pronunciado en la reducción de sulfatos que una variación de $10^{\circ}C$. Además, la presencia de diferentes donantes y aceptores de electrones influye directamente en el comportamiento de la reducción de sulfatos. En condiciones de temperatura media y baja ($35^{\circ}C$ y $25^{\circ}C$), la materia orgánica ácida resultó ser más eficaz para promover la reducción de sulfatos, mientras que en temperaturas más altas ($55^{\circ}C$), las sustancias orgánicas alcohólicas y sacáridas. En particular, la diferencia de temperatura de $30^{\circ}C$ dentro de la zona saturada de lixiviados alteró significativamente la estructura microbiana, siendo Firmicutes y Synergistota los géneros microbianos que desempeñaron papeles clave en la eficiencia de la reducción de sulfatos bajo condiciones térmicas cambiantes. Los resultados también revelaron que la migración de lixiviados dentro de los vertederos influye en los cambios de temperatura, lo que subraya la importancia de controlar la recarga de lixiviados para prevenir riesgos secundarios asociados con la reducción de sulfatos, como la formación de compuestos de azufre y olores.

Khamis et al. (2022) en su artículo sobre las "Características de los lixiviados de residuos sólidos urbanos sometidos a tratamiento hidrotérmico", señalan que los lixiviados son un subproducto inevitable de la disposición de residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios. Estos lixiviados se generan por la percolación de agua a través de los residuos en descomposición, lo que arrastra una variedad de contaminantes. Este percolado es particularmente relevante dado que contiene elevadas concentraciones de contaminantes tales como materia orgánica disuelta, sustancias húmicas y fúlvicas, metales pesados, compuestos

orgánicos xenobióticos, compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos, pesticidas y organoclorados. Estos contaminantes tienen la capacidad de modificar la calidad del agua, tanto por infiltración en los acuíferos subterráneos como por su descarga en corrientes superficiales. En su investigación, Khamis et al. (2022) se enfocan en el tratamiento de lixiviados utilizando el método de procesamiento hidrotérmico. Este método utiliza una autoclave configurada a una temperatura de 100-200 °C, una presión de 0.1-1.6 MPa y un tiempo de reacción de 60-120 minutos. Los autores realizaron estudios de laboratorio para diseñar el procesamiento hidrotérmico y evaluar el efecto de las condiciones de los parámetros en el proceso. Los resultados de su investigación mostraron que el tratamiento hidrotérmico es efectivo para reducir la concentración de contaminantes en los lixiviados. Específicamente, encontraron que el ajuste de parámetros a 200 °C, 1.6 MPa y 120 minutos de tratamiento mostró la mejor condición, logrando reducir la DQO de 51,000 mg/L a 53 mg/L y el NH₃-N de 3496 mg/L a 0.3 mg/L. En conclusión, Khamis et al. (2022) sugieren que el tratamiento hidrotérmico de lixiviados es un método prometedor que puede ser una alternativa viable para el tratamiento de lixiviados, ya que es un proceso rápido y ecológico que ahorra tiempo y costos operativos.

Rigotto et al. (2023), en su investigación que se desarrolló bajo el título “Dinámica de la materia orgánica disuelta (MOD) en lagunas de estabilización de residuos: perspectivas sobre el cotratamiento de aguas residuales sanitarias y lixiviados de vertederos”, menciona que la MOD en las plantas de tratamiento de aguas residuales juega un papel fundamental en la calidad de los efluentes producidos. Este estudio se enfoca en las transformaciones de la MOD en lagunas de estabilización que co-tratan aguas residuales sanitarias y lixiviados de vertederos, un proceso esencial dado que los lixiviados generados en los vertederos contienen altos niveles de contaminantes. Para ello, se realizó un estudio de caso en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ouro Branco en Brasil, donde se utilizaron herramientas espectroscópicas como UV-Vis y fluorescencia molecular (EEM) para evaluar la calidad de la MOD. Los resultados mostraron que los lixiviados de vertederos tenían fluoróforos similares a los húmicos, lo que indica la presencia de compuestos complejos que pueden afectar la calidad del agua. En los estanques anaeróbicos, la eliminación de fluorescencia fue significativamente mayor que en los estanques facultativos, con la eliminación de diferentes picos de fluorescencia (80% en pico A, 78% en pico B, y 76% en pico C en los estanques anaeróbicos). Estos hallazgos sugieren que los estanques anaeróbicos son más efectivos en la remoción de la MOD asociada con los lixiviados. El influente y el efluente final mostraron características de MOD complejas, lo que podría estar relacionado tanto con la adición de

lixiviado de vertedero como con la liberación de productos microbianos solubles (SMP) durante el proceso de tratamiento. Este estudio resalta la importancia de comprender cómo los lixiviados interactúan con los procesos biológicos en las lagunas de estabilización y cómo estas interacciones afectan la calidad del efluente final, lo cual es esencial para la gestión de los vertederos y la protección del recurso hídrico.

He et al. (2023), en su investigación titulada “Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en lixiviados de vertederos: concurrencia, eliminación y factores influyentes”, mencionan que los compuestos orgánicos volátiles (COV) y semivolátiles (SVOC) presentes en los lixiviados de los vertederos pueden ingresar al sistema y requieren tratamiento antes de su descarga. Estos compuestos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los ésteres de ácido ftalato (PAE), fenoles, tolueno, benceno y xileno, se encuentran frecuentemente en concentraciones que varían desde 1×10^0 hasta 1×10^8 ng/L. La solubilidad se identifica como un factor clave que impulsa la entrada de estos contaminantes, ya que una mayor solubilidad permite concentraciones más altas de COV y SVOC en el lixiviado. El estudio, basado en una encuesta global realizada en 103 vertederos y 27 artículos sobre el tratamiento de lixiviados, revela que la eliminación de estos compuestos varía dependiendo del tipo de contaminante y del proceso de tratamiento utilizado. Los hidrocarburos aromáticos monocíclicos (HAM) fueron los más fáciles de eliminar, seguidos por los fenoles y los HAP. Los procesos más efectivos para la eliminación de estos contaminantes fueron el proceso anóxico/óxico (A/O) y el proceso de reactor discontinuo secuencial (SBR), especialmente para los HAM. En cuanto a los HAP, el proceso A/O mostró una eficiencia comparable a la oxidación avanzada, mientras que para los PAE, el proceso de biorreactor de membrana fue casi tan eficiente como la oxidación avanzada. Este estudio destaca la importancia de tratar los lixiviados de vertederos para evitar la contaminación del agua y la atmósfera. Además, sugiere que se debe continuar investigando los riesgos para la salud asociados con los COV y SVOC en el efluente de lixiviados tratados y en las unidades de aireación de las plantas de tratamiento.

Ahmed et al. (2023), en su investigación titulada “Recuperación de ácidos húmicos a partir de lixiviados estabilizados: caracterización e interferencia con la demanda química de oxígeno – eliminación del color”, mencionan que los lixiviados de vertedero estabilizado presentan altas concentraciones de compuestos orgánicos, particularmente ácido húmico (AH) y ácido fúlvico, los cuales son responsables de la alta demanda química de oxígeno (DQO) y el color en el lixiviado. Estos compuestos orgánicos son menos biodegradables y representan una amenaza significativa para los elementos ambientales. El

estudio utiliza procesos de microfiltración y centrifugación para investigar la eliminación de AH en muestras de lixiviado estabilizado y su interferencia en la DQO y el color. Los resultados indican que el proceso de extracción en tres etapas recuperó una cantidad significativa de AH, alcanzando hasta $1510 \pm 1,5$ mg/L en el lixiviado del vertedero de Alor Pongsu (APLS) a pH 1,5, lo que representa aproximadamente el 42% de la concentración total de DQO. Este proceso muestra una eficiencia considerable en la eliminación de compuestos como los ácidos húmicos, con una reducción del 37% en los valores de absorbancia ultravioleta (UV 254 y UV 280) en el efluente final, lo que sugiere una eliminación de la aromaticidad y compuestos de doble enlace conjugados presentes en el lixiviado. Además, se observó una reducción del 36% y 39% en la DQO y una eliminación del color del 39% y 44%, lo que subraya la eficacia del proceso en la mejora de la calidad del lixiviado tratado. Este estudio resalta la importancia de tratar los lixiviados de vertederos mediante métodos de recuperación de compuestos orgánicos como los ácidos húmicos, lo que no solo contribuye a la reducción de contaminantes, sino que también mejora la calidad del efluente, reduciendo su impacto ambiental.

2.1.2. Nacionales

Chávez (2023), en su investigación titulada “*Nivel de riesgo ambiental generado por los lixiviados en el botadero de residuos sólidos de la ciudad de Chota*”, tuvo como objetivo principal evaluar el nivel de riesgo ambiental generado por los lixiviados en el botadero de residuos sólidos de la ciudad de Chota. Se analizaron parámetros como DBO₅, DQO, pH, temperatura, coliformes totales y metales pesados. Los resultados indicaron que la DQO excedió los límites máximos permisibles, mientras que otros parámetros presentaron niveles de riesgo medio o bajo.

La Municipalidad Provincial de Leoncio Prado realizaba la disposición final de sus residuos sólidos en el botadero denominado “La Muyuna”, el referido botadero (coordenadas UTM E 390253 y N 8974090) comprende un área de 1,735.68 m². En ese contexto, con fecha 03 de mayo del 2018, mediante Oficio N° 423-2018- MPLP/A, la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado solicita al MINAM la Declaratoria de Emergencia en la Gestión y Manejo de los Residuos Sólidos Municipales teniendo en cuenta que el inadecuado manejo de los residuos sólidos realizados en el botadero municipal “La Moyuna” viene generando impactos ambientales en el Rio Huallaga, para lo cual presenta como medios probatorios documentos emitidos por la Autoridad Administrativa del Agua Huallaga de la Autoridad Nacional del Agua, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en

adelante OEFA) y la Corporación de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A (en adelante CORPAC S.A).

Dado que la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado no pudo iniciar construcción de la celda transitoria debido a que no disponía de los recursos presupuestales necesarios, con fecha 14 de mayo de 2019, habiendo dicha Municipalidad Provincial cumplido con los requerimientos establecidos por el MINAM; se suscribe el Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el Ministerio del Ambiente y la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado para la aprobación y ejecución de la IOARR de competencia municipal exclusiva relacionada a la construcción de una Celda Transitoria. Esto último conforme a lo indicado en el artículo 120 del Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, donde estas infraestructuras se implementan como parte de las actividades del Plan de Recuperación de Áreas Degradadas, o como parte de una Declaratoria de Emergencia en la Gestión y Manejo de Residuos Sólidos, en virtud de lo establecido en el artículo 123 del citado Decreto Supremo.

El botadero La Moyuna fue clausurado de forma definitiva el 12 de agosto del 2021, fecha en la que se inauguró la Celda Transitoria de Disposición Final de Residuos Sólidos. Como parte del sistema de manejo de residuos se construyó una poza de lixiviados cuya función es capturar los residuos líquidos generados en la celda transitoria, así como redistribuir el líquido nuevamente a las subceldas. Por otro lado, la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado viene desarrollando la recolección selectiva de residuos sólidos desde el año 2011 a cargo de la Gerencia de Gestión Ambiental y Defensa Civil.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Efluente

Se trata de aguas cuyas características originales han sido modificadas por la intervención humana y que, debido a su calidad, requieren un tratamiento previo antes de ser reutilizadas, vertidas en cuerpos naturales de agua o liberadas al sistema de alcantarillado. Estas aguas contienen diversos residuos líquidos provenientes de actividades industriales (Hernández, 2016).

Transformación de un río principal o de un lago. Agua residual u otro líquido, que ha sido parcialmente o totalmente procesado o en su estado natural, que se desprende de un depósito, estanque, planta de tratamiento o fábrica. Expulsión de material derivada de algún

procedimiento u operación. Agua residual, ya sea tratada o no, que proviene de una planta de tratamiento, un sistema de alcantarillado o una desembocadura industrial; usualmente se refiere a aguas residuales que se vierten en aguas superficiales. Emisión gaseosa. Así se conocen las aguas residuales que se liberan en las corrientes de agua. Un almacén de efluentes provenientes de diversas fuentes puede albergar más de 70.000 elementos contaminantes de diferentes clases. La única manera de prever la contaminación de los flujos de agua es su tratamiento en su origen (Hernández, 2016).

2.2.2. Gestión de residuos sólidos

La gestión integral consiste en un sistema para manejar los residuos sólidos urbanos (RSU) que, basado en principios de desarrollo sostenible, tiene como objetivo principal reducir la cantidad de desechos que llegan a la disposición final. Esto incluye salvaguardar la salud pública, mejorar la calidad de vida de la población, proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales (Argentina Unida, 2013).

La Administración Integral de Residuos Sólidos Urbanos, también conocida como GIRSU, se estableció como el enfoque correcto para la gestión de los RSU tras años de investigación y múltiples experiencias a nivel global. La administración integral de Residuos Sustentables busca minimizar los desechos producidos -que son el resultado ineludible de las acciones humanas- como método óptimo para disminuir sus efectos vinculados y los gastos de su gestión, con el objetivo de reducir los posibles perjuicios que infligen al ser humano y al medio ambiente (ArgentinaUnida, 2013).

2.2.3. Planta de valorización de residuos sólidos

La planta de valorización de residuos sólidos municipales permite reducir la cantidad de residuos que se producen en todo el país, puesto que, una considerable cantidad de estos pueden ser reutilizados, transformándose en compost o en material para otro proceso de producción. En el sector de desechos inorgánicos de la planta de valorización se lleva a cabo el uso sostenible de residuos como plásticos, papel, cartón y metales, un proceso que es llevado a cabo por los recicladores autorizados. Además, en la zona de desechos orgánicos se produce el compost, un material que se empleará para optimizar el terreno de parques, jardines y la agricultura local (MINAM, 2021).

2.2.4. Celdas transitorias de residuos sólidos

Las celdas transitorias son establecimientos destinados a la eliminación segura de desechos sólidos municipales, con una duración de tres años hasta la existencia de un relleno sanitario, y cumplen con todas regulaciones ambientales internacionales destinadas a prevenir la contaminación del aire, suelo y agua. Asimismo, respetan los estándares internacionales de protección ambiental para evitar la contaminación de estos recursos. (MINAM, 2019).

2.2.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Se refiere al volumen de oxígeno que los microorganismos requieren para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual (Navarro, 2015). Evaluación del elemento orgánico que puede ser descompuesto a través de procesos biológicos. Significa el volumen de material orgánico biodegradable. En contraposición al DQO, que simboliza tanto la materia orgánica biodegradable como la que no lo es (Burga Benguer, 2018).

Un valor elevado de DBO indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica presente en el agua. La DBO de las aguas residuales proviene de tres tipos de sustancias: materia orgánica carbonada, que sirve como alimento para los organismos aerobios; nitrógeno oxidable, derivado de nitritos, amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados, que actúa como sustrato para bacterias específicas del género Nitrosomas y Nitrobacter, encargadas de convertir el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos; y compuestos químicos reductores, como sulfitos, sulfuros y el ion ferroso, que son oxidados mediante la acción del oxígeno disuelto (Burga Benguer, 2018).

2.2.6. Coliformes termotolerantes

También denominados coliformes fecales, estos microorganismos provienen principalmente del sistema digestivo de animales de sangre caliente (Caceda, 2016). Inicialmente, se forman cuatro tipos de bacterias: Escherichia (que representa más del 90%), Klebsiella, Enterobacter y Citrobacter. La detección de coliformes termotolerantes se realiza a altas temperaturas, por lo que las bacterias más resistentes se cuantifican mediante unidades formadoras de colonia (UFC) o se expresan utilizando el número más probable (NMP). (Rompré et al., 2002).

Este indicador microbiológico se utiliza para medir la presencia de contaminación fecal en distintas actividades humanas y en cuerpos de agua (MINAGRI, 2015), ya que su detección permite implementar medidas para su control. En cuanto a las plantas de tratamiento de aguas residuales, se establecerán estrategias para tratar el agua antes de su vertido en fuentes receptoras que estén en contacto con zonas agrícolas u otras áreas destinadas al reúso (Mir et al., 2018).

2.2.7. Lixiviados provenientes de disposición final de residuos sólidos

Los lixiviados consisten en el líquido que entra al relleno sanitario desde fuentes externas como el agua de lluvia y el drenaje superficial; además, en algunos casos, provienen del líquido generado por la descomposición de los residuos. Este líquido contiene diversos componentes resultantes de la disolución de materiales presentes en el vertedero, así como de las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren dentro de él (Tchobanoglus et al., 1996). Los lixiviados pueden considerarse un tipo especial de agua residual, caracterizado por una alta concentración de materia orgánica y la presencia de compuestos orgánicos solubles e inorgánicos. Debido a la complejidad de los lixiviados, las tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales suelen combinarse en sistemas integrados para garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares exigidos para su vertido (Tello, 2018)

La producción de lixiviados se basa en la característica de los desechos, o sea, su nivel de humedad y su nivel de compactación. Cuando es menos compactado, su producción aumenta. Existen diversos elementos que influyen en la composición de los lixiviados, como la lluvia, el cambio estacional del clima, el tipo y composición de los desechos, que a su vez están vinculados con la calidad de vida de los habitantes y la estructura del vertedero, además de la edad del vertedero (Tello, 2018).

2.2.8. Efluentes provenientes de disposición final de residuos sólidos

Un resultado de la disposición final de desechos sólidos son los lixiviados, que se clasifican como una clase muy particular de agua residual. Estos se componen de una elevada carga orgánica, componentes orgánicos solubles e inorgánicos. Los olores desagradables son algunos de los factores que determinan el nivel de olor producido durante la recolección y las operaciones de transferencia. Estos incluyen la edad del desecho, su contenido orgánico, la

temperatura y la zona de la superficie que se encuentra expuesta a la atmósfera (Hernandez, 2016).

Para operaciones de eliminación, como sucede con los vertederos, los olores también pueden surgir debido a la descomposición del desecho, lo que provoca la liberación de gases de vertedero, así como a procesos secundarios como el tratamiento de lixiviados y la producción de energía. Entender estos procesos es un componente crucial en el diseño de las operaciones de transferencia y eliminación. En este contexto, hay una variedad extensa de técnicas disponibles para la medición de olores, que abarcan métodos de muestreo "en origen" (como la medición del potencial de olor de un desecho utilizando campanas de muestreo) y métodos de campo que permiten cuantificar el impacto global de las operaciones de relleno de vertederos (Hernandez, 2016).

2.2.9. Tratamientos de lixiviados y efluentes

Los métodos tradicionales de lixiviación se pueden dividir en tres categorías principales: a) transferencia de lixiviados, que incluye la recirculación y el tratamiento con aguas residuales; b) procesos biológicos, tanto aeróbicos como anaeróbicos; y c) técnicas fisicoquímicas, como la oxidación química, adsorción, precipitación química, coagulación/floculación, sedimentación y extracción con aire. Generalmente, los tratamientos biológicos se aplican a lixiviados jóvenes, mientras que los métodos fisicoquímicos se emplean mayormente para tratar lixiviados maduros (Burga, 2018).

2.2.10. Correlación de parámetros

El coeficiente de correlación es un indicador específico que mide la intensidad de la relación lineal entre dos variables en un análisis de correlación. En los informes, este coeficiente se representa con la letra **r**. Para dos variables, la fórmula evalúa la distancia de cada punto de datos respecto a la media de la variable y utiliza esta comparación para determinar qué tan bien se ajusta la relación entre las variables a una línea imaginaria trazada entre los datos. Esto explica por qué decimos que la correlación analiza relaciones de tipo lineal (Vinuesa, 2016).

2.2.11. Valores de correlación de parámetros

El coeficiente de correlación "r" es número adimensional que oscila entre -1 y 1. La importancia estadística de este valor se expresa mediante el valor p. Por lo tanto,

usualmente las correlaciones se escriben con dos números clave: $r = y$ $p = r$ (Vinuesa, 2016). Además de acuerdo con Suárez (2017) se plantean las siguientes características:

- Cuanto más se aproxima r a cero, más débil es la relación lineal.
- Los valores positivos de r señalan una correlación positiva, donde ambas variables tienden a aumentar simultáneamente.
- Los valores negativos de r indican una correlación negativa, en la cual una variable aumenta mientras que la otra disminuye.
- Los valores de 1 y -1 representan una correlación "perfecta" positiva y negativa, respectivamente. En estos casos, las dos variables cambian juntas a una tasa constante, mostrando una relación lineal; en un gráfico de dispersión, todos los puntos de datos se alinean sobre una misma línea recta.
- El valor p nos permite evaluar si es posible afirmar, con un nivel significativo, que el coeficiente de correlación en la población es distinto de cero, a partir de los datos observados en la muestra.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en las Celdas Transitorias de Residuos Sólidos y en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos de la provincia de Leoncio Prado y en el Laboratorio de Microbiología General de la UNAS.

3.1.1. Ubicación política y geográfica

Región : Huánuco
Provincia : Leoncio Prado
Distrito : Luyando y Rupa Rupa

El distrito de Luyando está ubicado en la hoja 19k de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional, a una altura de 670 msnm y bajo el sistema de coordenadas UTM WGS84 18S se ubican en:

Tabla 1. Ubicación geográfica

Infraestructura	Este (m)	Norte (m)
Celdas transitorias de residuos sólidos	392053	8981814
Planta de valorización de residuos sólidos	391822	8981638

3.1.4. Economía

La ciudad de Tingo María tiene una economía diversa impulsada principalmente por la agricultura y los servicios. El sector agrícola es particularmente importante, ya que cultivos como el café, el cacao y diversas frutas prosperan debido a la fertilidad del suelo y al clima favorable de la región, lo que puede mejorar el empleo local y el crecimiento económico. Además, el sector de servicios, que abarca el turismo, el comercio y las finanzas, se está expandiendo, aprovechando el rico patrimonio cultural y las atracciones naturales de la ciudad para atraer visitantes. Para fomentar el desarrollo económico sostenible.

3.1.5. Cultura

La dinámica cultural en Tingo María está marcada por la interacción entre tradiciones indígenas (como la masticación de la hoja de coca, el liderazgo comunitario en cooperativas agrícolas), migración y educación. Lenguas como el quechua y prácticas ancestrales (agricultura, rituales) enfrentan erosión debido a la urbanización y la predominancia del español. La migración rural-urbana acelera la homogenización cultural, aunque programas de educación bilingüe y participación comunitaria buscan revitalizar estas tradiciones. En Tingo María, la mezcla cultural migrante genera tensiones, pero también iniciativas de preservación, como museos y turismo étnico.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales

Para llevar a cabo las distintas actividades de campo, se emplea guardapolvo, guantes quirúrgicos, mascarilla KN95, cronómetro, balde con volumen conocido, botellas de plástico y de vidrio de 1 L, 250 ml y de 100 ml, cooler grande, papel filtro, embudos de vidrio, tubos de ensayo, balanza digital, pipetas. Como instrumento de medición documental se emplearon fichas para recopilar la información; además, se utilizaron sobres manila, un tablero, una libreta de notas y lápices.

3.2.2. Reactivos y medios de cultivo

Se utilizó HI93754C-25 marca HANNA instruments, SQA 250493 vial, agua destilada, caldo peptona y caldo EC (*Escherichia coli*) y ácido clorhídrico (HCl).

3.2.3. Equipos

Se utilizaron los siguientes equipos: equipo de geoposicionamiento (GPS), cámara digital (CANON 52S), computadora (ASUS), termómetro digital, equipo multiparamétrico, termoreactor ECO 8 VELP, colorímetro portátil DR900 marca HACH, autoclave Chamberland modelo 100, Estufa Marca Memmert.

Se empleó los softwares tales como: Microsoft Excel, Microsoft Word.

3.2.4. Metodología

3.2.4.1. Parámetros fisicoquímicos y biológicos del efluente de dos infraestructuras de residuos

- Puntos de muestreo

Para determinar las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados se establecieron los puntos de muestreo al final de las tuberías de descarga de los efluentes de la Celda Transitoria (M_1), el efluente que sale por la tubería de descarga de la Planta de Valorización de residuos sólidos (M_2) y como (M_3) dentro del Pozo de Lixiviados donde descargan los efluentes tanto de la Celda Transitoria como el efluente de la Planta de Valorización

Tabla 2. Puntos de muestreo.

Punto de monitoreo	Nomenclatura	Efluente proveniente de:
1	M_1	Salida de las Celdas Transitorias de Residuos Sólidos
2	M_2	Salida de la Planta de Valorización de Residuos Sólidos
3	M_3	Pozos de recepción de lixiviados de M_1 y M_2

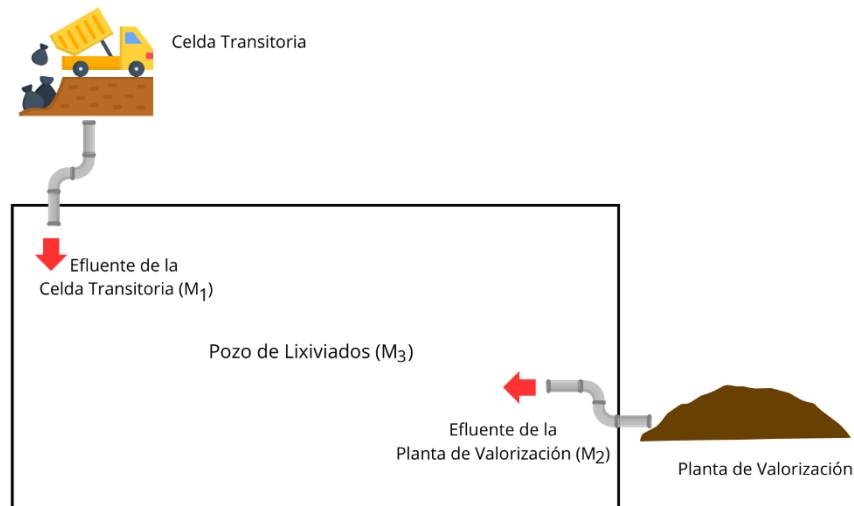


Figura 2. Diagrama de ubicación de los puntos de muestreo

Para determinar las coordenadas se utilizó el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), UTM y en el Sistema WGS84, además, el punto de muestreo permitió que la muestra del flujo sea representativa y fue de acceso fácil y seguro. Basada en la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia.

La frecuencia del muestreo de los efluentes fue durante cuatro meses, siendo una vez al mes, así mismo la sensibilidad en cada muestreo se detalla en el Anexo 1.

- Caudal (Q)

También se determinó el caudal por el método volumétrico que implica la recolección del agua en la tubería de descarga de los efluentes de la celda transitoria y en la tubería de descarga de la planta de valorización, se colectó el caudal por descarga libre, la medición de caudal se realizó dos veces por mes durante cuatro meses, en la cual se interpuso un recipiente, para ello se procedió de la siguiente forma:

Se usó un recipiente de 5 a 10 litros con graduaciones de 1 litro para coleccionar el agua y un cronómetro para poder determinar el tiempo que demoró en llenar un determinado volumen de agua, de volumen conocido. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen.

$$Q = V/T$$

Donde:

Q = Caudal en L/s

V = Volumen en litros

- **Temperatura (T°)**

Se realizó mediante el termómetro digital, se introdujo el termómetro en la sustancia hasta que se alcance el equilibrio térmico en °C.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El valor que se obtuvo fue por medio de un pH-metro digital que tiene un rango de medición de 0 a 14, se verificó que el equipo se encuentre calibrado y se midió directamente del frasco de recolección de las muestras.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Se aplicó la metodología de dilución y se midió el oxígeno disuelto antes y después de la incubación, a 20 ° C durante 5 días (APHA 2017).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El procedimiento se llevó a cabo siguiendo las indicaciones del Manual de Análisis de Agua (HACH 2000). Primero, se agitó durante algunos minutos una muestra de 100 mL, mientras se precalentaba el reactor de DQO a 150°C. Luego, se abrió el tubo con el reactivo y, manteniendo un ángulo de 45°, se añadió 2 mL de la muestra. Después, se enjuagó el exterior del tubo con agua destilada y se secó con papel tisú. La muestra se agitó suavemente varias veces antes de colocarla en el reactor junto con un blanco preparado con agua desionizada, ambos durante 2 horas. Tras este tiempo, se esperaron 20 minutos para que las muestras se enfriaran y se agitaron nuevamente mientras aún estaban calientes. Para la medición de DQO, la muestra se introdujo en el colorímetro; primero se calibró con el blanco, cuyo exterior había sido limpiado con papel tisú, presionando el botón ZERO. Luego se midió la muestra, tras limpiar también su exterior, utilizando la tecla READ. Debido a que algunas muestras tenían concentraciones altas de DQO, se realizaron diluciones con agua destilada para asegurar que las mediciones se mantuvieran dentro del rango del equipo. Finalmente, el valor obtenido se multiplicó por el factor de dilución para obtener el valor real de DQO.

- **Coliformes termo tolerantes**

Se realizó por el método del número más probable (NMP), conforme al protocolo establecido en las prácticas de microbiología, que consistió en agregar 10 mL de

muestra en vasos precipitados con 90 ml de caldo peptona al 0,10 % , se diluyó hasta 10^{-3} en tubos con 9 mL de caldo EC con una serie de tres repeticiones, se colocaron los tubos Durham, se incubaron por 48 h a 44,50 °C, luego se verificó los tubos si muestran turbidez y burbujas, son positivos y después se determinó el índice NMP y se calculó el NMP por 100 mL (López 2012).

- Sólidos Totales en Suspensión (SST)

Se realizó siguiendo el método 2540 D del (APHA 2017) donde se filtró 100 mL de la muestra a través de un filtro de fibra de vidrio previamente secado y pesado. Luego, el filtro con los sólidos retenidos se seca a 103-105°C hasta peso constante y se calcula la concentración de SST en mg/L.

- Aceites y grasas

Se realizó el muestreo inicial como línea base y un muestreo final donde se recolectó la muestra en recipientes de vidrio y se adicionó ácido clorhídrico (HCl) para su preservación APHA (2017). Posteriormente se procedió a enviar la muestra a un laboratorio certificado para su análisis.

3.2.4.2. Relación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y presencia de Coliformes Termotolerantes en efluentes

Con los valores obtenidos se hizo una comparación entre los puntos de muestreo M₁ y M₂ y se identificó si han generado alguna alteración con respecto al punto de muestreo M₃, para ello se comparó con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de tratamiento de aguas residuales establecido en el D.S N°003-2010-MINAM. (ver tabla 3)

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de los parámetros a comparar del efluente de las infraestructuras de residuos sólidos

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permissible
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permissible
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales Suspendidos	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: DS N°003-2010-MINAM

Posteriormente, para determinar si existe relación o no entre los coliformes termotolerantes y la DBO₅, se utilizó la correlación de Pearson.

3.2.4.3. Propuesta para el tratamiento de la materia orgánica y coliformes termotolerantes

De acuerdo con los resultados obtenidos se planteó una propuesta para el tratamiento de la materia orgánica y coliformes termotolerantes en los efluentes provenientes de las Celdas Transitorias y la Planta de Valorización.

3.3. Análisis estadístico del trabajo de investigación

3.3.1. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo porque se evaluó la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes en dos infraestructuras de residuos sólidos. Teniendo como referente teórico a Jacobo (2013), quien indica que, no se realiza la manipulación de ninguna variable.

3.3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada porque se enfoca en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación para determinar la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes en dos infraestructuras de residuos sólidos, así como se recurrió a los análisis de los efluentes para poder caracterizarlos. Según Jacobo (2013), indica que la investigación aplicada se caracteriza porque busca la utilización de los conocimientos que se adquieren.

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es No Experimental, ya que no implica la manipulación de variables. Se fundamenta principalmente en la observación de los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, para luego proceder a su análisis.

3.3.4. Variables experimentales

- Variable dependiente

Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Termotolerantes

- Variable independiente

Efluente de las Celdas Transitorias de Residuos Sólidos y la Planta de Valorización de Residuos Sólidos.

- Variables intervinientes

Factores ambientales (Temperatura, precipitación, pH, tipo de composición de los residuos y estado de operación de las infraestructuras.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla

4.1.1. Análisis del parámetro fisicoquímico caudal del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla

Los resultados obtenidos de los cuatro muestreos en la salida de la celda transitoria (M_1) y la planta de valorización (M_2) muestran que el caudal se mantiene relativamente constante, indicando un comportamiento estable bajo las condiciones actuales de operación. En la celda transitoria, el caudal promedio varía entre 0.129 L/s y 0.141 L/s, lo que sugiere un flujo moderado posiblemente influenciado por la infiltración y el escurrimiento de líquidos generados en esta celda abierta. Estas pequeñas fluctuaciones podrían estar relacionadas con variaciones ambientales o cambios en la cantidad de residuos.

Por otro lado, en la planta de valorización, el caudal de salida es notablemente menor, oscilando entre 0.065 L/s y 0.072 L/s, esto podría interpretarse como propio y conforme al proceso de compostaje realizado en la planta de valorización, el cual conlleva la formación de camas para tener como producto final el compost de residuos orgánicos.

Tabla 4. Análisis de caudal del efluente de la salida de la Celda transitoria y del efluente de la salida de la Planta de Valorización.

Puntos de muestreo	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
		Caudal	Caudal	Caudal	Caudal	
Salida de la Celda Transitoria (M_1)	L/s	0.129	0.141	0.133	0.139	0.136
Salida de la Planta de Valorización (M_2)		0.065	0.068	0.07	0.072	0.069

Los resultados obtenidos para el caudal en la salida de la celda transitoria y la planta de valorización son consistentes con investigaciones recientes sobre el manejo de lixiviados en sistemas de residuos sólidos.

Según Wang et al. (2021), la gestión de lixiviados en vertederos abiertos sigue siendo un desafío debido a la influencia directa del clima y la composición heterogénea de los residuos, lo que explica la variabilidad observada en los caudales. Además, Liu et al. (2022) destacan que la fluctuación en la producción de lixiviados está altamente correlacionada con eventos pluviométricos y el manejo operativo de las celdas. Respecto a estos estudios previos estamos de acuerdo ya que en la celda transitoria, los caudales en el rango de 0.13 a 0.14 L/s reflejan la generación de lixiviados típica en instalaciones a cielo abierto, donde la infiltración de agua de lluvia y la percolación a través del residuo generan flujos variables de líquidos.

En contraste, con los hallazgos de Kim et al. (2023), quienes evidencian que la implementación de coberturas reduce significativamente la infiltración de agua de lluvia y, por ende, la generación de lixiviados. Esta reducción contribuye a una mayor estabilidad en el caudal y facilita el control y tratamiento de los líquidos, optimizando el proceso de valorización, tal como indican García y Martínez (2020) en sus estudios sobre manejo de residuos sólidos con tecnología de cobertura. Lo cual estamos de acuerdo ya que la planta de valorización con techo presenta un caudal sustancialmente menor (cerca de la mitad)

Estos resultados refuerzan la importancia de incorporar estructuras que minimicen la infiltración para controlar el volumen y la calidad de los lixiviados, lo que a su vez mejora la sostenibilidad ambiental y operacional del manejo de residuos sólidos. Por lo tanto, el uso de techos en plantas de valorización en regiones con condiciones climáticas similares a Tingo María es una estrategia recomendada para optimizar la gestión de efluentes y potenciar la valorización de residuos.

4.1.2. Análisis del parámetro fisicoquímico temperatura del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla

El análisis de la temperatura de los efluentes en las tres infraestructuras de residuos de Santa Rosa de Shapajilla revela fluctuaciones moderadas en los diferentes puntos de monitoreo. El efluente de la Celda Transitoria (M_1) muestra una variabilidad de temperaturas entre 26°C y 27.9°C, mientras que el efluente de la Planta de Valorización (M_2) presenta valores similares, con un rango de 25°C a 27.5°C. El Pozo de Lixiviados (M_3), por su parte, tiene una oscilación más reducida, con temperaturas que van de 26°C a 27.5°C. Estos resultados sugieren condiciones relativamente estables en los diferentes puntos de las infraestructuras

analizadas, con ligeras diferencias que podrían estar influenciadas por factores operacionales o ambientales.

Tabla 5. Análisis de temperatura del efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados.

Puntos de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	T °C(inicial)	T°C (inicial)	T°C(inicial)	T°C(inicial)	
Salida de la Celda Transitoria (M ₁)	26.9	26.6	26	27.9	26.85
Salida de la Planta de Valorización (M ₂)	25.5	26.8	25	27.5	26.2
Pozo de Lixiviados (M ₃)	26	26.9	26	27.5	26.6

Numerosos estudios han demostrado que la temperatura influye directamente en las características de lixiviados y efluentes tratados, afectando procesos biogeoquímicos clave. Kumar et al. (2020) analizaron parámetros microbianos en vertederos e indicaron que temperaturas más altas favorecen la descomposición de sustrato orgánico, respecto a este estudio, estamos de acuerdo ya que concuerda con los datos obtenidos en la presente investigación ya que las temperaturas de 26–28 °C se encuentran dentro del rango óptimo para la actividad microbiana responsable de la estabilización de lixiviados.

Asimismo, Costa et al. (2019) y estudios posteriores reportan que, en climas cálidos, la temperatura ambiental (similares a los ~27 °C registrados) modifica notablemente los niveles de contaminantes, como compuestos orgánicos y nutrientes en lixiviados. La estabilidad térmica observada en los tres puntos de muestreo y su consistencia entre muestreos sugiere un sistema operando en condiciones relativamente constantes, lo cual es favorable para el control de parámetros críticos como DBO.

Además, estudios sobre tratamiento de aguas residuales en clima cálido resaltan que variaciones de temperatura menores a 3 °C en el flujo entrante no alteran significativamente la eficiencia del sistema biológico. Las diferencias obtenidas (<2 °C) confirman que no es

necesario realizar ajustes específicos por temperatura, y que el sistema de valorización opera dentro de rangos termodinámicamente estables.

4.1.3. Análisis del parámetro fisicoquímico pH del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla

El análisis de el pH de los efluentes en las tres infraestructuras de residuos de Santa Rosa de Shapajilla revela fluctuaciones moderadas en los diferentes puntos de monitoreo. El efluente de la Celda Transitoria (M₁) los valores se mantienen dentro de un rango ligeramente alcalino de 8.27 a 7.66, por el contrario, en el efluente de planta de valorización (M₂), los valores de pH fluctúan entre 4.71 y 4.01. Finalmente, en el pozo de lixiviados (M₃) los valores de pH se asemejan a los efluentes de la celda transitoria (8.48 a 7.64), lo cual puede deberse a la mezcla de lixiviados estabilizados provenientes de etapas anteriores del proceso.

Tabla 6. Análisis de pH del efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados

Puntos de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	pH	pH	pH	pH	
Salida de la Celda Transitoria (M ₁)	8.27	8.18	8.12	7.66	8.0575
Salida de la Planta de Valorización (M ₂)	4.71	4.65	4.58	4.01	4.4875
Pozo de Lixiviados (M ₃)	8.48	8.32	7.94	7.64	8.095

Los resultados de pH obtenidos en esta están de acuerdo y se asemejan a los estudios realizados en la Planta de valorización de Rupa Rupa donde Aguirre (2023) menciona que las pilas de compost que se reúnen progresivamente durante una o dos semanas para alcanzar el volumen pasan de fase inicial o fase mesófila, por ello los niveles bajos de pH ,donde la explicación a este descenso del pH es resultado de procesos biooxidativos de los azúcares en la primera fase, produciendo ácidos orgánicos que provocan reducción del pH de entre 4,0 a 4,5.

Asimismo, Machicao (2022) manifiesta que la degradación de residuos sólidos orgánicos en la planta de tratamiento de Moho, observó que el pH del compost variaba dependiendo del tipo de cama utilizada, con valores de 6.70 en camas de tierra, 9.00 en camas de concreto y 6.60 en camas de lumbricultura. Estos resultados resaltan cómo las condiciones del proceso pueden influir significativamente en el pH final.

4.1.4. Análisis del parámetro fisicoquímico Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla

El análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las diferentes infraestructuras de residuos de Santa Rosa de Shapajilla revela diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de monitoreo. Según los resultados del análisis de varianza (ANOVA), el valor de F obtenido es de 0.1 con un nivel de significancia de 0.905, lo cual indica que no existen diferencias significativas en los niveles de DBO entre la celda transitoria, la planta de valorización y el pozo de lixiviados.

Tabla 7. Análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados

Puntos de monitoreo	Repeticiones	Muestreo1	Muestreo2	Muestreo3	Muestreo4	Promedio
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Salida de la Celda transitoria (M ₁)	M ₁ -1	129	142	161	240	168
	M ₁ -2	830	136	590	470	507
	M ₁ -3	370	131	182	670	338
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	M ₂ -1	630	120	480	110	335
	M ₂ -2	420	640	110	510	420
	M ₂ -3	163	540	112	380	299
Pozo de lixiviados (M ₃)	M ₃ -1	150	89	130	180	137
	M ₃ -2	400	106	430	730	417
	M ₃ -3	350	155	420	420	336

Tabla 8. Análisis de las pruebas estadísticas de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Pruebas estadísticas	Objetivo	Resultado encontrado	Interpretación
ANOVA	Determinar si hay diferencias significativas en los niveles de demanda bioquímica de oxígeno entre los puntos de muestreo.	$p = 0.818$	No se encontraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo. El alto valor p indica que las medias de los grupos son muy similares, por lo que no hay evidencia estadística para afirmar que los niveles de DBO_5 varían significativamente según el punto de muestreo.
Prueba de Tukey	Identificar pares específicos de puntos de muestreo con diferencias en los niveles de DBO_5 .	No se encontraron diferencias significativas. $P > 0.05$ en todas las comparaciones	Los resultados de la prueba de Tukey coinciden con el ANOVA, indicando que no hay pares de puntos de muestreo con diferencias estadísticamente significativas en los niveles de DBO_5 .

En los resultados, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de DBO_5 entre los puntos de muestreo ($p > 0.05$ en todas las comparaciones) según la prueba de Tukey.

Según Zineb (2020) el lixiviado de vertedero se caracteriza por niveles elevados de DBO , que a menudo alcanzan valores como $24.000 \text{ mg O}_2/\text{l}$, lo que indica una presencia significativa de materia orgánica biodegradable. A diferencia del autor citado en nuestro resultado encontramos carga de DBO_5 relativamente menor, ello podría explicarse debido a que la celda transitoria de Santa Rosa de Shapajilla se encuentra ubicado en zona de selva, donde la celda transitoria se maneja a cielo abierto y sumado la influencia de la precipitación es mayor a diferencia de rellenos ubicados en zonas costeras o de sierra. En forma complementaria

Sandoval-Cobo (2022) menciona que la recirculación de lixiviados en vertederos puede mejorar la estabilización de los residuos, lo que conduce a una reducción de los niveles de DBO₅ este método acelera la degradación de los residuos y reduce el potencial contaminante de los lixiviados.

4.1.5. Análisis del parámetro fisicoquímico Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.

El análisis de la DQO en los efluentes de las infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla revela diferencias significativas entre las tres instalaciones evaluadas.

En el efluente de la Celda Transitoria (M₁), los valores de DQO varían de manera consistente entre 808 mg/l y 1071 mg/l, con una ligera disminución en las últimas mediciones. En el efluente de la Planta de Valorización (M₂), se observa un incremento significativo, alcanzando 5377 mg/l en el tercer muestreo, lo que indica una mayor carga de materia orgánica o la presencia de contaminantes adicionales. En contraste, el Pozo de Lixiviados (M₃) presenta niveles de DQO más bajos y estables, oscilando entre 594 mg/l y 810 mg/l, lo que sugiere un menor impacto de compuestos orgánicos en esta zona. Estas variaciones reflejan diferencias en los procesos de tratamiento y manejo de residuos en cada infraestructura, influyendo directamente en la calidad del efluente generado.

Tabla 9. Análisis de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados

Puntos de muestreo	Repeticiones	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Salida Celda transitoria (M ₁)	M ₁ -1	1061	1071	1010	819	990
	M ₁ -2	988	1065	1029	885	992
	M ₁ -3	1022	1069	987	808	972
Salida de la Planta de Valorización (M ₂)	M ₂ -1	1201	1199	5226	4224	2963
	M ₂ -2	1078	1074	5377	3957	2872
	M ₂ -3	1072	1071	5235	5054	3108

Pozo de lixiviados (M₃)	M ₃ -1	594	694	633	793	679
	M ₃ -2	608	727	615	810	690
	M ₃ -3	622	675	627	778	676

Yusoff (2023) y Ahmed (2023), quienes indican que los lixiviados contienen compuestos orgánicos complejos, como los ácidos húmico y fúlvico, los cuales contribuyen significativamente a los niveles de DQO. Debido a su baja biodegradabilidad, estos compuestos dificultan los procesos de tratamiento. Lo cual estamos totalmente de acuerdo ya que en nuestro estudio, se observaron valores de hasta 5377 mg/L, especialmente en los efluentes de la Planta de Valorización. Estos resultados coinciden con lo señalado por

En contraste, Pineda et. al. (2023), quien en su investigación reportó que los lixiviados generados en las celdas de disposición final de residuos sólidos pueden alcanzar concentraciones extremadamente altas de carga orgánica, con valores de DQO superiores a 60,000 mg/l, lo que evidencia un serio riesgo ambiental.

4.1.6. Análisis del parámetro fisicoquímico Sólidos Suspendidos Totales (SST) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.

El análisis de los SST en el efluente de las infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla muestra variaciones importantes entre las diferentes instalaciones. En el efluente de la Celda Transitoria (M₁), los incrementos de peso son relativamente consistentes y moderados, lo que sugiere una carga de sólidos suspendidos más estable. En el efluente de la Planta de Valorización (M₂), se observa un aumento significativo en los valores finales, especialmente en el segundo y tercer muestreo, lo que indica una mayor cantidad de sólidos suspendidos en el efluente, posiblemente debido a la naturaleza de los procesos de operación. El Pozo de Lixiviados (M₃) en cambio, presenta variabilidad con algunos picos altos en los sólidos suspendidos, particularmente en ciertos puntos de muestreo, lo que podría reflejar fluctuaciones en la composición de los lixiviados. Estas diferencias sugieren que cada infraestructura tiene un impacto distinto en la cantidad de sólidos presentes en el efluente.

Tabla 10. Análisis de Sólidos Suspendidos Totales en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados

Puntos de muestreo	Repeticiones	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Promedio	
		1	2	3	4		
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Salida de la Celda transitoria (M ₁)	M ₁ -1	0.83	0.36	0.11	0.29	0.40	
	M ₁ -2	0.33	0.2	0.04	0.39	0.24	
	M ₁ -3	0.08	0.13	0.03	0.31	0.14	
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	M ₂ -1	1.06	0.11	4.57	8.2	3.49	
	M ₂ -2	0.12	0.13	5.57	5.59	2.85	
	M ₂ -3	0.1	0.24	6.65	4.25	2.81	
Pozo de lixiviados (M ₃)	M ₃ -1	2.52	0.37	0.17	0.44	0.88	
	M ₃ -2	0.63	0.16	0.2	0.64	0.41	
	M ₃ -3	2.8	0.61	2.4	0.47	1.57	

Los resultados obtenidos en la planta de valorización muestran un aumento significativo de los sólidos suspendidos totales (SST) en las mediciones finales, lo cual evidencia una afectación en la calidad del lixiviado. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Pereira et al. (2023), quienes indican que la composición de los residuos, especialmente el contenido orgánico, influye directamente en la generación de SST; residuos con alta carga orgánica tienden a producir mayores concentraciones de sólidos suspendidos. Del mismo modo, Gautam y Kumar (2021) destacan que la edad del relleno es un factor determinante: los rellenos más jóvenes presentan niveles más altos de SST, los cuales disminuyen conforme el relleno se estabiliza. Esta observación es consistente con nuestra investigación, donde se presume que el sistema aún se encuentra en una etapa operativa temprana. Además, Nguyen et al. (2024) señalan que factores como las condiciones climáticas y las operaciones de bombeo pueden influir en la variabilidad de los SST, afirmación que también se alinea con nuestros resultados, los cuales presentan fluctuaciones mensuales posiblemente asociadas a condiciones ambientales y a la frecuencia de bombeo del lixiviado. Por tanto, los resultados obtenidos están en concordancia con la literatura reciente, y refuerzan la importancia de considerar tanto el tipo

de residuo como los factores operacionales y climáticos en el control de sólidos suspendidos en plantas de tratamiento.

4.1.7. Análisis del parámetro fisicoquímico aceites y grasas del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.

El análisis de aceites y grasas en el efluente de las infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla revela diferencias marcadas entre las distintas instalaciones. En el efluente de la Celda Transitoria (M₁), los niveles de aceites y grasas son bajos, con un ligero aumento en las mediciones finales, lo que indica un manejo relativamente controlado de estos compuestos. En contraste, el efluente de la Planta de Valorización (M₂) presenta valores significativamente más altos, alcanzando casi 200 mg/L en las mediciones finales, lo que sugiere una liberación considerable de aceites y grasas en el efluente, posiblemente atribuible a los procesos de tratamiento y valorización. Por otro lado, el Pozo de Lixiviados (M₃) muestra inicialmente niveles moderados, pero con una notable reducción en las mediciones finales, lo que podría indicar un proceso de remoción efectivo de aceites y grasas en esa infraestructura.

Tabla 11. Análisis de Aceites y Grasas en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados

Puntos de muestreo	Repeticiones	Inicial	Final
		Mg/l	Mg/l
Salida de la Celda Transitoria (M1)	M ₁ -1	2.3	2.4
	M ₁ -2	3	3.5
Salida de la Planta de Valorización (M2)	M ₂ -1	78.3	195.6
	M ₂ -2	81.9	131.9
Pozo de lixiviados (M3)	M ₃ -1	5.7	2.6
	M ₃ -2	4.8	4

Según Saadoun (2021) el tipo de residuos depositados en los vertederos afecta significativamente la composición de los lixiviados, los residuos orgánicos, que incluyen aceites y grasas, contribuyen a la formación de ácidos grasos de cadena media (AGCM) en los lixiviados. Por lo cual estamos de acuerdo ya que en concordancia con el autor precedente, en nuestra investigación se contrastó los aceites y grasas de infraestructura de celdas transitorias y planta de valorización del análisis se mostró que el efluente de la Planta de Valorización (M₂) presentó los niveles más altos, con casi 200 mg/L. Este valor es preocupante, ya que, según

Gonzales (2018), los niveles elevados de aceites y grasas en Cajamarca excedieron los límites permisibles hasta en 3.658%, lo que representa un riesgo ambiental significativo. Los resultados de nuestro estudio indican que las infraestructuras de Santa Rosa de Shapajilla no están gestionando adecuadamente los residuos grasos, lo que podría afectar la calidad del efluente. Otro factor que influye en la presencia de aceites y grasas y según Wang (2021) es la concentración de contaminantes orgánicos, incluidos los aceites y las grasas, puede variar según la estación, por ejemplo, se han observado concentraciones más altas de contaminantes orgánicos emergentes (COE) en lixiviados durante el verano en comparación con el invierno, probablemente debido al aumento de la actividad microbiana y las tasas de descomposición. En concordancia a la cita anterior de acuerdo con el periodo evaluado desde mayo a octubre eminentemente meses de verano podría explicar la mayor presencia de aceites y grasas, en forma complementaria se podría agregar que los cambios temporales, variación de concentración y tipo de residuos orgánicos podrían influir en la generación. En forma similar Ashraf et al. (2021) menciona que los estudios han demostrado que la concentración de materia orgánica disuelta y otros componentes en los lixiviados puede fluctuar significativamente a lo largo de los meses.

4.1.8. Análisis del parámetro biológico Coliformes Termotolerantes (*Escherichia coli*) del efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.

El análisis de Coliformes Termotolerantes (*E. Coli*) en el efluente de las infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla muestra variaciones significativas en la calidad microbiológica. En el efluente de la Celda Transitoria (M₁), la presencia de coliformes es generalmente baja, con algunos muestreos registrando cero, aunque hay un incremento notable en el tercer muestreo, indicando una posible contaminación puntual. En el efluente de la Planta de Valorización (M₂), se observó una fuerte fluctuación, con un pico de más de 1100 NMP/100 ml en una muestra, lo que sugiere un manejo ineficiente de los residuos orgánicos, contribuyendo a una mayor contaminación microbiológica. Por otro lado, en el Pozo de Lixiviados (M₃) presenta niveles alarmantemente altos en varias mediciones, especialmente en el primer muestreo, lo que sugiere una acumulación significativa de coliformes, lo que podría representar un riesgo para la salud pública y el medio ambiente. Estos resultados destacan la necesidad de mejorar los procesos de tratamiento en todas las infraestructuras para garantizar

la calidad del efluente y minimizar los impactos negativos en la comunidad y el ecosistema circundante.

Tabla 12. Análisis de Coliformes Termotolerantes (*Escherichia coli*) en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados

Puntos de muestreo	Repeticiones	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Promedio
		1	2	3	4	
		NMP/ 100ml	NMP/ 100ml	NMP/ 100ml	NMP/ 100ml	
Salida de la Celda transitoria (M ₁)	M ₁ -1	4	0	11	7	5.5
	M ₁ -2	0	0	0	0	0
	M ₁ -3	0	0	0	0	0
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	M ₂ -1	0	160	3	0	40.75
	M ₂ -2	0	1100	0	0	275
	M ₂ -3	0	95	0	0	23.75
Pozo de Lixiviados (M ₃)	M ₃ -1	0	4	0	15	4.75
	M ₃ -2	0	15	0	7	5.5
	M ₃ -3	3	24	0	6	8.25

El ANOVA tuvo como objetivo determinar si existían diferencias significativas en los niveles de Coliformes Termotolerantes entre los diferentes puntos de muestreo. Los resultados mostraron un p-valor de 0.0985, lo que indica que no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, debido a que el p-valor está cercano a 0.1, se podría considerar la existencia de una tendencia hacia diferencias entre los puntos de muestreo, aunque esta no es estadísticamente concluyente.

Por otro lado, la prueba de Tukey se utilizó para identificar diferencias específicas entre pares de puntos de muestreo. Los resultados indicaron que la comparación entre los puntos M₃ y M₁ presentó un p-valor de 0.0875, lo que sugiere una posible tendencia hacia una diferencia significativa, aunque no es concluyente. Las demás comparaciones, entre los puntos M₂ y M₁, así como entre los puntos M₃ y M₂, no mostraron diferencias significativas en los niveles de Coliformes Termotolerantes.

Tabla 13. Análisis de las pruebas estadísticas de la relación de Coliformes Termotolerantes

Pruebas estadísticas	Objetivo	Resultado encontrado	Interpretación
ANOVA	Determinar si hay diferencias significativas en los niveles de Coliformes Termotolerantes entre los puntos de muestreo.	$p = 0.0985$	No se encontró una diferencia significativa entre los puntos de muestreo. Sin embargo, el p-valor cercano a 0.1 sugiere una posible tendencia hacia diferencias, pero no es concluyente.
Prueba de Tukey	Identificar pares específicos de puntos de muestreo con diferencias en los niveles de Coliformes Termotolerantes.	- Comparación 3 vs 1: $p = 0.0875$.	Prueba de Tukey

La presencia de Coliformes Termotolerantes en lixiviados constituye un indicador crítico de contaminación microbiológica, debido a su resistencia y capacidad de sobrevivir en condiciones adversas. En este estudio, se observaron niveles elevados de coliformes, particularmente en el Pozo de Lixiviados (M3), donde confluyen los efluentes de la Celda Transitoria (M1) y la Planta de Valorización (M2).

Estos resultados están en concordancia con Wen (2021), quien sostiene que diferentes tipos de lixiviados —jóvenes, maduros y mixtos— presentan comportamientos microbianos distintos, observándose que las Proteobacterias son dominantes y que la presencia de compuestos orgánicos refractarios puede modificar la estructura microbiana, influyendo en los niveles de coliformes. Este comportamiento también se refleja en nuestra investigación, al constatar que los niveles más altos de coliformes se registraron en los lixiviados tratados de la Planta de Valorización (M2) y en el Pozo de Lixiviados (M3), que contiene la mezcla de ambos flujos.

Asimismo, Olu et al. (2021) indican que los Coliformes Termotolerantes pueden desarrollarse a temperaturas entre 35 °C y 45 °C, mostrando gran resiliencia frente a

condiciones térmicas extremas, como las que podrían darse en zonas tropicales. Igualmente, su presencia frecuente en vertederos e instalaciones de compostaje se asocia al proceso de descomposición orgánica (Bravo et al., 2019). Esto también se evidenció en Santa Rosa de Shapajilla, donde los niveles elevados de coliformes coinciden con un manejo no tecnificado del lixiviado. De forma similar, Gonzales (2018) reportó anteriormente altos riesgos microbiológicos en la misma ciudad, atribuidos al inadecuado manejo de residuos. Más recientemente, Da Silva et al. (2024) destacan que la presencia de coliformes termotolerantes representa un riesgo serio para la calidad del agua, especialmente en áreas donde los lixiviados pueden infiltrarse hacia cuerpos hídricos o acuíferos, comprometiendo la salud pública.

Desde el punto de vista estadístico, aunque el análisis ANOVA no arrojó diferencias significativas entre los puntos de muestreo ($p = 0.0985$), el valor cercano al umbral de significancia sugiere una tendencia a diferencias, particularmente entre M1 y M3 ($p = 0.0875$). Esto podría reflejar la influencia de factores operacionales o ambientales no controlados que afectan la carga microbiana.

Dado lo anterior, es evidente la necesidad de implementar tecnologías apropiadas de tratamiento. En este sentido, Olu et al. (2021) proponen el uso de desinfectantes naturales, como extractos de aloe vera, como una alternativa sustentable y efectiva para la reducción de coliformes en lixiviados, mostrando resultados prometedores en pruebas piloto.

4.1.9. Análisis del cumplimiento de Límites Máximos Permisibles para efluentes

a) Temperatura

Tabla 14. Comparación de la Temperatura en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles

Punto de muestreo	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestro 4	Límite máximo permisible (LMP)
Salida de la Celda Transitoria (M ₁)	°C	26.9	26.6	26	27.9	<35
Salida de la Planta de Valorización (M ₂)		25.5	26.8	25	27.5	

Pozo de Lixiviados (M₃)	26	26.9	26	27.5
---	----	------	----	------

El análisis de la temperatura en los efluentes de las infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla indica que los valores oscilaron entre 25°C y 27.9°C, estando por debajo del límite máximo permisible de 35°C establecido por la normativa. Esto sugiere que la temperatura del efluente no representa un riesgo ambiental significativo y que las condiciones térmicas en las infraestructuras analizadas son adecuadas para la disposición del agua residual.

b) pH

Tabla 15. Comparación del pH en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles

Puntos de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Límite máximo permisible (LMP)
	pH	pH	pH	pH	
Salida de la Celda Transitoria (M1)	8.27	8.18	8.12	7.66	
Salida de la Planta de Valorización (M2)	4.71	4.65	4.58	4.01	6.5-8.5
Pozo de Lixiviados (M3)	8.48	8.32	7.94	7.64	

El análisis de los valores de pH registrados en los tres puntos de muestreo, muestran comportamientos distintos en relación con el límite permitido de 6.5 a 8.5. En el caso de M₁ los resultados se encuentran dentro del rango aceptable, con una leve tendencia a la baja. En contraste, los valores obtenidos en M₂ están significativamente por debajo del mínimo permitido, indicando un ambiente ácido asociado a procesos de descomposición activa de residuos orgánicos. Por otro lado, los datos de M₃ también se mantienen dentro del límite normativo, aunque el valor más alto de 8.48 se aproxima al tope superior, lo que podría atribuirse a la mezcla con lixiviados más alcalinos.

c) Demanda Bioquímica de oxígeno

Tabla 16. Comparación de la DBO en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles

Punto de muestreo	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestro 4	Límite máximo permisible (LMP)
Salida de la Celda Transitoria (M ₁)		443	136.3	311	460	
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	mg/L	277.7	433.33	234	333.3	100
Pozo de lixiviados (M ₃)		300	116.7	326.7	443.33	

La normativa establece un límite máximo permisible de 100 mg/L para la DBO, sin embargo, se registraron valores medios que oscilan entre 116 y 443 mg/L en las 03 infraestructuras. Estos valores indican una presencia importante de materia orgánica biodegradable en los efluentes, lo que puede generar un impacto ambiental negativo al reducir el oxígeno disponible en los cuerpos de agua receptores, por lo que se requiere un tratamiento más eficiente para disminuir la carga orgánica.

d) Oxígeno disuelto

Tabla 17. Comparación del Oxígeno Disuelto en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con el Estándar de Calidad Ambiental.

Punto de muestreo	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestro 4	Estándar de Calidad Ambiental – Agua (ECA)
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Salida de la Celda Transitoria (M ₁)		6.05	5.92	6.17	4.69	
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	mg/L	5.85	5.34	5.92	4.91	≥ 5*
Pozo de lixiviados (M ₃)		4.5	5.77	4.53	4.16	

*ECA PARA AGUA DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM C4/E2 (Ríos de la Selva)

Si bien la normativa no establece un valor límite para el oxígeno disuelto, este parámetro es fundamental para la vida acuática y la degradación biológica de los contaminantes. Se registraron valores menores a 5 mg/L con mayor recurrencia en la Poza de lixiviados que es la infraestructura donde se almacena los efluentes en mayor tiempo, lo cual influiría en la pérdida de oxígeno disuelto, asimismo la última muestra en el efluente de la Celda Transitoria y la Planta de Valorización también presentan valores por debajo de los 5 mg/L establecidos en el ECA – agua esta disminución estarían relacionadas con el incremento de la carga orgánica presente y la actividad microbiana, por lo que es importante monitorear y mejorar los procesos de oxigenación en el tratamiento de los efluentes.

e) Demanda Química de Oxígeno

Tabla 18. Comparación de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles

Punto de muestreo	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestro 4	Límite máximo permisible (LMP)
Salida de la Celda Transitoria (M ₁)		1023.67	1068.33	1008.67	837.33	
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	mg/L	1117	1114.67	5279.33	4411.67	200
Pozo de lixiviados (M ₃)		608	689.67	625	793.67	

El límite máximo permisible para la DQO es de 200 mg/L, sin embargo, los valores registrados en la planta de valorización alcanzaron hasta 5377 mg/L, lo que evidencia una contaminación orgánica considerable y una baja eficiencia en el tratamiento de los lixiviados. La elevada DQO sugiere la presencia de compuestos orgánicos refractarios que requieren métodos avanzados de tratamiento para su eliminación, como procesos de oxidación química o biodegradación controlada.

f) Sólidos Suspendidos Totales

Tabla 19. Comparación de los Sólidos Suspendidos Totales en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles

Punto de muestreo	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestro 4	Límite máximo permisible (LMP)
Salida de la Celda Transitoria (M ₁)		0.41	0.23	0.06	0.33	
Salida de la Planta de Valorización (M ₂)	ml/L	0.43	0.16	5.60	6.01	150
Pozo de lixiviados (M ₃)		6.98	0.38	0.92	0.52	

El límite máximo permisible establece un nivel máximo hasta de 150 ml/L para los sólidos suspendidos totales, sin embargo, los resultados encontrados en las infraestructuras presentan valores inferiores al límite lo cual indica que los sólidos suspendidos no son materia de preocupación en los efluentes de estas infraestructuras.

g) Aceites y Grasas

Tabla 20. Comparación de Aceites y Grasas en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con el Estándar de Calidad Ambiental

Punto de muestreo	Unidad	Inicial	Final	Estándar de Calidad Ambiental – Agua (ECA)
Salida de la Celda Transitoria (M₁)		2.65	2.95	
Salida de la Planta de valorización (M₂)	mg/L	80.1	163.75	5
Pozo de lixiviados (M₃)		5.25	3.3	

Aunque los LMPs no especifican un límite para aceites y grasas, se usó como referencia los ECA – Agua para ríos de selva, con ello se puede apreciar que la presencia de aceites y grasas del efluente de la Planta de Valorización son los únicos que supera el máximo establecido por el ECA-Agua, ello podría deberse por la variedad de residuos orgánicos acopiados por el programa de RECICLA de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

h) Coliformes Termotolerantes

Tabla 21. Comparación de Coliformes Termotolerantes en el efluente de la Celda Transitoria, efluente de la Planta de Valorización y en el Pozo de Lixiviados con los Límites Máximos Permisibles

Punto de muestreo	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestro 4	Límite máximo permisible (LMP)
Salida de la Celda transitoria (M ₁)		1.33	0	3.67	2.33	
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	NMP/100 mL	0	127.5	1	0	10000
Pozo de lixiviados (M ₃)		1	14.33	0	9.33	

El límite máximo permisible para Coliformes Termotolerantes es de 10,000 NMP/100 mL, si bien se demuestra presencia puntual por momentos en los efluentes, ninguno de ellos supera el máximo establecido por la normativa peruana.

4.2. Relación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la presencia de coliformes termotolerantes en el efluente de dos infraestructuras de residuos en Santa Rosa de Shapajilla.

La relación entre DBO₅ y coliformes termotolerantes es un indicador clave de contaminación orgánica y riesgo microbiológico en aguas residuales. Estudios previos, como Mutai et al. (2022), reportan correlaciones positivas entre estas variables, lo que justifica su análisis en efluentes de infraestructuras de residuos.

Es por ello por lo que se realiza este análisis, donde se evalúa la relación entre los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los niveles de Coliformes Termotolerantes en efluentes de las tres infraestructuras de residuos de Santa Rosa de Shapajilla. Los datos fueron organizados para evaluar si las variaciones en DBO y coliformes termotolerantes difieren entre los tres puntos de muestreo y si hay una relación entre ambas variables. Los puntos de muestreo se codificaron como X1, X2, X3.

Tabla 22. Puntos de Muestreo

Codificación puntos de muestreo	
Salida de la Celda transitoria (M ₁)	X1
Salida de la Planta de valorización (M ₂)	X2
Pozo de lixiviados (M ₃)	X3

4.2.1. Relación entre los niveles de DBO y coliformes termotolerantes

El coeficiente de correlación de Pearson obtenido ($r = 0.12$) indica una correlación muy baja entre los niveles de DBO₅ y los niveles de Coliformes Termotolerantes en los datos analizados. Además, el p-valor asociado ($p = 0.50$) sugiere que esta relación no es estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95% ($p > 0.05$). Esto implica que la variación en los niveles de Coliformes Termotolerantes no está directamente relacionada con la DBO₅ y que otros factores ambientales o específicos de cada punto de muestreo podrían estar influyendo en la presencia de estos microorganismos en los lixiviados analizados. En contraposición Mutai et al (2022) encontraron una fuerte correlación positiva entre la DBO₅ y los coliformes fecales y totales, esto sugiere que a medida que aumenta la concentración de coliformes, la DBO₅ también tiende a aumentar, lo que indica niveles más altos de contaminación orgánica y actividad microbiana.

Estos resultados indican que, más allá de la DBO₅, existen otros factores que influyen en la presencia de Coliformes Termotolerantes, los cuales podrían estar relacionados con las características específicas de cada punto de muestreo, como la fuente de contaminación o la dinámica de los lixiviados. En cambio, Obute et al. (2024) encontraron que los niveles de DBO₅ en los lixiviados de los residuos sólidos municipales se correlacionaban positivamente con el recuento de bacterias, incluidos los coliformes, lo que sugiere que, a medida que la materia orgánica se degrada, las poblaciones microbianas aumentan.

Además, el presente estudio confirma la presencia de coliformes termotolerantes en los lixiviados, lo que indica contaminación microbiológica importante, especialmente en el efluente de la Planta de Valorización. Este hallazgo coincide con lo encontrado por Santos et al., (2024) quien indica que los coliformes termotolerantes son indicativos de contaminación fecal y suelen estar presentes en grandes cantidades en los lixiviados de los residuos orgánicos, y Gonzales (2018), que reportó niveles preocupantes de coliformes en Cajamarca debido al

manejo deficiente de residuos. Los datos obtenidos en este estudio sugieren que las infraestructuras de gestión de residuos en Santa Rosa de Shapajilla no están ejerciendo un control adecuado sobre la contaminación microbiológica, lo que plantea un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente. Lo mismo planteo Ma et al., (2021) quien menciona que la presencia de coliformes termotolerantes y con alto contenido de DBO en los lixiviados plantea riesgos para la calidad del agua y la salud pública, por lo que es necesario mejorar las estrategias de gestión de los residuos.

A diferencia de Mutai et al., (2022) quien encontró una fuerte correlación positiva entre la DBO y los coliformes fecales y totales. Esto sugiere que a medida que aumenta la concentración de coliformes, la DBO también tiende a aumentar, lo que indica niveles más altos de contaminación orgánica y actividad microbiana. En forma similar Ishaq et al., (2024) afirma que, si bien los niveles altos de DBO indican contaminación, también sugieren la posibilidad de adoptar estrategias de biorremediación que utilicen la actividad microbiana para tratar los lixiviados de manera efectiva.

4.3. Establecimiento de propuestas para el tratamiento de los efluentes generados en las infraestructuras de residuos.

A continuación, luego de haber analizado los parámetros de los lixiviados de las infraestructuras, se plantea que se debe tratar a los lixiviados como efluentes contaminados, por lo cual de acuerdo con las características que presentan los lixiviados se deben realizar varios tipos de tratamientos:

Tabla 23. Propuesta de tratamientos para lixiviados

Nivel de Tratamiento	Tipo de Tratamiento	Descripción
Primario	Electrocoagulación	Es un tratamiento que ha mostrado altas tasas de remoción de contaminantes en estudios previos, con eficiencias que pueden superar el 90% en la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica, esto se debe a la formación de flóculos que capturan los contaminantes presentes en el agua.
	Sedimentación y decantación	Este método consiste en permitir que los sólidos suspendidos en los lixiviados se asienten en un tanque de sedimentación, al dejar el efluente en reposo, los sólidos más pesados se depositan en el fondo, formando un lodo que puede ser retirado periódicamente. Este proceso es efectivo para reducir la carga de sólidos y algunos contaminantes orgánicos.
	Filtración	Después de la sedimentación, el efluente puede ser pasado a través de un filtro de arena. Este proceso ayuda a eliminar partículas más finas y mejora la calidad del agua antes de pasar a tratamientos posteriores
Tratamiento secundario	Digestión anaerobia	Este tratamiento implica el uso de microorganismos que descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. La digestión anaerobia no solo reduce la carga orgánica del efluente, sino que también genera biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía. Este método es particularmente adecuado para residuos orgánicos presentes en los lixiviados.
Tratamiento terciario	Filtración con carbón activado	Esta técnica se utiliza para eliminar compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes que no fueron eliminados en las etapas anteriores. El carbón activado adsorbe estos contaminantes, mejorando significativamente la calidad del agua tratada
	Desinfección con luz ultravioleta	Como última etapa, la desinfección mediante luz UV es efectiva para eliminar patógenos presentes en el efluente tratado. Este método no introduce productos químicos al agua, lo que lo convierte en una opción segura y sostenible.

Según las propuestas planteadas en nuestra investigación, como la electrocoagulación las cuales pueden llegar a tener altas tasas de remoción de contaminantes, con eficiencias superiores al 90% en la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica, ello coincide con lo que señalan diversos estudios previos. En particular, los métodos electroquímicos como la electrocoagulación son reconocidos por su efectividad en la eliminación de partículas coloidales y materia orgánica disuelta en lixiviados de vertederos Guo et al. (2022). Este proceso, junto con las técnicas de sedimentación, filtración y digestión anaeróbica, son propuestas clave que pueden ayudar a reducir la carga contaminante de los lixiviados, alineándose con las sugerencias de Saadoun et al. (2021), quienes afirman que la composición de los lixiviados depende considerablemente del tipo de residuos depositados, especialmente de los residuos orgánicos, como aceites y grasas, que contribuyen a la formación de compuestos como los ácidos grasos de cadena media (AGCM).

En este sentido, nuestras observaciones también confirmaron la presencia niveles más altos de aceites y grasas en los lixiviados de la planta de valorización, por lo que se propuso tratamientos de filtración con carbón activado. Lo que concuerda con estudios previos que destacan la eficacia de la adsorción con carbón activado para mejorar la calidad del agua tratada en lixiviados Babei et al. (2021).

En cuanto a la eliminación de color y la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), las propuestas de tratamiento en nuestra investigación son el empleo de tratamientos del tipo de digestión anaerobia. Método que concuerda con Pisharody et al. (2021) que realza los procesos de oxidación avanzada y biológicos, en combinación con otros métodos, las cuales mejora la remoción de contaminantes orgánicos y mejora la calidad del efluente tratado. Así, nuestra investigación no solo ratifica la efectividad de los tratamientos propuestos, sino que también contribuye a la validación de enfoques multidisciplinarios para el tratamiento de lixiviados en plantas de valorización de residuos orgánicos (Angelucci et al., 2021).

Si bien los tratamientos propuestos han demostrado ser eficientes en estudios previos, su implementación debe evaluarse en función de las condiciones locales. Esta zona presenta un clima tropical húmedo con precipitaciones frecuentes, lo cual afecta directamente a la celda transitoria que no cuenta con cobertura. Esto puede incrementar el volumen de lixiviados, dificultando procesos como la electrocoagulación y la sedimentación. En esta línea, Simate y Ndlovu (2021) destacan que la selección de tecnologías para el tratamiento de lixiviados debe considerar el entorno local, promoviendo alternativas sostenibles que se adapten al clima, la infraestructura y la capacidad técnica de operación. Por tanto, la viabilidad de aplicar estos

tratamientos en la planta de tratamientos de Residuos Sólidos de Leoncio Prado depende no solo de su eficiencia comprobada, sino también de una evaluación integral de las condiciones geográficas, operativas y climáticas de la zona.

V. CONCLUSIONES

1. Se observó que los efluentes generados por la Celda Transitoria y la Planta de Valorización presentan concentraciones de contaminantes que exceden los valores permitidos por la normativa ambiental vigente (D.S. N.º 003-2010-MINAM), destacando principalmente los altos niveles de Coliformes Termotolerantes y de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Asimismo, el pH del efluente en la planta de valorización evidenció un carácter ácido, posiblemente debido al proceso de descomposición orgánica propio del compostaje. Por otro lado, el caudal y la temperatura mostraron estabilidad relativa, aunque la generación de lixiviados fue más pronunciada en la celda transitoria.
2. El análisis estadístico evidenció que no existe una asociación significativa entre los niveles de DBO₅ y la presencia de Coliformes Termotolerantes ($r = 0.12$; $p = 0.50$), lo cual sugiere que ambas variables no están directamente relacionadas. Esta falta de correlación puede explicarse por la influencia de otros factores, como las condiciones anaeróbicas, el tiempo de permanencia de los lixiviados y las diferencias en los procesos operativos de cada instalación.
3. Se diseñaron propuestas técnicas orientadas a optimizar el tratamiento de los efluentes generados, contemplando la aplicación de procesos de tipo primario (sedimentación), secundario (biodiscos o lodos activados) y terciario (desinfección mediante cloro u ozono). Estas alternativas tienen como finalidad mejorar la calidad del efluente, disminuir la carga orgánica y microbiológica y asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental, minimizando así el riesgo de contaminación de cuerpos hídricos cercanos.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Se propone un tratamiento multietapa para los lixiviados, combinando procesos físicos, químicos y biológicos, en los efluentes de la Celda Transitoria, Planta de Valorización y Pozo de Lixiviados
2. Investigar cómo diferentes tipos de residuos (orgánicos, plásticos, metales) afectan la cantidad y calidad de los lixiviados generados en las plantas de tratamiento, a fin de identificar los componentes más problemáticos y desarrollar estrategias específicas para su manejo.
3. Evaluar y comparar diferentes tecnologías de tratamiento (biológicos, químicos, físicos) para mejorar la remoción de contaminantes específicos en los lixiviados generados por diferentes infraestructuras.
4. Analizar cómo las variaciones climáticas (temperatura, precipitación) afectan la producción y composición de lixiviados en vertederos y plantas de tratamiento.
5. Realizar un estudio comparativo sobre las prácticas de gestión y tratamiento de lixiviados en diversas regiones del Perú, identificando buenas prácticas y áreas de mejora.
6. A la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, tomar en cuenta los resultados del presente trabajo de investigación e incorporar tratamientos adicionales a los lixiviados a fin de mejorar la calidad de los efluentes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Illatopa, J. G. (2022). Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.12996/582>
- Ahmed, Z., Yusoff, MS, Kamal, NHM y Aziz, HA (2023). Recuperación de ácido húmico a partir de lixiviado estabilizado: caracterización e interferencia con la demanda química de oxígeno: eliminación del color. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 41 (10), 1584-1593. <https://doi.org/10.1177/0734242X231160687>
- Ashraf, M., Zeshan, M., Hafeez, S., Hussain, R., Qadir, A., Majid, M., Ahmad, F. y Ahmad, S. (2021). Variación temporal de la composición del lixiviado de un vertedero de nueva construcción en Lahore en el contexto de los riesgos humanos y ambientales. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-587592/V1>
- ArgentinaUnida. (2013). Etapas de la gestión integral de residuos sólidos urbanos. ArgentinaUnida. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu/etapas#:~:text=La%20gesti%C3%B3n%20integral%20es%20un,residuos%20enviados%20a%20disposici%C3%B3n%20final.>
- APHA-AWWA-WEF (American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation). 2017. Standard Methods for The Examination Of Water and Wastewater. Editado por Baird, R., Eaton, A. y Rice, E. 23a edición
- Angelucci, D., Donati, E. y Tomei, M. (2021). Biorreactor de membrana extractivo para desintoxicar lixiviados de vertederos industriales y peligrosos y facilitar la recuperación de recursos. *La ciencia del medio ambiente total*, 150892. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150892>
- APHA-AWWA-WEF (American Public Health Association – American Water Works Association – Water Environment Federation, Estados Unidos). 2012. Standard methods for examination of water and wastewater. 22va Ed.

- Babaei, S., Sabour, M. y Movahed, M. (2021). Métodos combinados de tratamiento de lixiviados de vertederos: una descripción general. *Environmental Science and Pollution Research* , 28, 59594-59607. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16358-0>
- Burga Benguer, RE (2021). *Coliformes fecales y su relación con la demanda bioquímica de oxígeno de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales Sicaya-Huancayo 2018* . <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7000>
- Caceda, M. (2016). Coliformes totales, del motor era antes y Echerichacoli en relación a la temperatura, pH y demanda bioquímica de oxígeno en la playa de Puerto Malabrigo. Trujillo, Ascope, Perú. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9040/Caceda%20Sanchez%2C%20Miriam%20Elizabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Chávez Fuentes, E. N. (2023). Nivel de riesgo ambiental generado por los lixiviados en el botadero de residuos sólidos de la ciudad de Chota, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio Institucional UNACH. <https://repositorio.unach.edu.pe>
- Da Silva, F. O., Camargo, A. F., & Treichel, H. (2024). Thermotolerant coliform bacteria present in water bodies. *Brazilian Applied Science Review*. <https://doi.org/10.34115/basrv8n1-003>
- Freitas, Roberta, et al. «Temperaturas más altas proporcionan información sobre la mineralización aeróbica de lixiviados de macrófitos acuáticos». *International Review of Hydrobiology* , vol. 108, n.º 5 , octubre de 2023, pp. DOI.org (Crossref) , <https://doi.org/10.1002/iroh.202402175>
- García, M., & Martínez, F. (2020). Impact of landfill covers on leachate generation and management: A review. *Waste Management & Research*, 38(5), 473–485. <https://doi.org/10.1177/0734242X20906744>
- García, MDL y Daniel, L. (2022). Comportamiento meteorológico y determinación de los índices climáticos durante el periodo 1990—2020 en Tingo María . <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2137>
- García, P. F. (2018). Manejo y Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios: Revisión bibliográfica y Experiencia en Planta de Tratamiento de Lixiviados de Navarro. Santiago de Cali, Colombia. Obtenido de

<https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/677/MANEJO;jsessionid=04E3D8C090FBFC741DB42FA08D12D084?sequence=1>

- Gautam, P. y Kumar, S. (2021). Caracterización del lixiviado de vertederos de residuos peligrosos y su dependencia de la edad del vertedero y la variación estacional: un enfoque estadístico. *Journal of environmental chemical engineering*, 105496. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.105496>
- Guo, Z., Zhang, Y., Jia, H., Guo, J., Meng, X. y Wang, J. (2022). Métodos electroquímicos para el tratamiento de lixiviados de vertederos: una revisión sobre electrocoagulación y electrooxidación. *Science of The Total Environment*, 806, 150529. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150529>
- HACH Company (2000). Manual de Análisis de Agua. 2a edición. Loveland, Colorado, EE. UU.
- He, X.-S., Pan, Q., Xi, B.-D., Zheng, J., Liu, Q.-Y., y Sun, Y. (2023). Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en lixiviados de vertederos: concurrencia, eliminación y factores influyentes. *Water Research*, 245, 120566. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120566>
- Hernández, D. C. (2016). Generalidades y Conceptos de Sistemas de Tratamiento de Efluentes. GREPALMA, 33. Obtenido de <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/4.-Generalidades-y-conceptos-sistemas-de-tratamiento-de-efluentes.pdf>
- Ishaq, A., Mohd Said, M. I., Azman, S., Houmsi, M. R., Isah, A. S., Jagun, Z. T., Mohammad, S. J., Bello, A.-A. D., & Abubakar, U. A. (2024). The influence of various chemical oxygen demands on microbial fuel cells performance using leachate as a substrate. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32090-x>
- Jacobo, R. (2013). Fundamentos teóricos y metodológicos para la investigación científica en ciencias agrarias. Huánuco, Perú. 204 p.
- Khamis, SS, Purwanto, H. y Salleh, HM (2023). *Características del lixiviado de residuos sólidos urbanos sometido a tratamiento hidrotérmico*. 030020. <https://doi.org/10.1063/5.0111308>

- Kim, J., Lee, S., & Park, H. (2023). Effects of landfill cover systems on leachate production and treatment efficiency. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 26000–26012. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25230-7>
- López, C. 2012. Protocolos de prácticas de Microbiología Ambiental. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 8 p
- Liu, Y., Chen, R., & Zhou, Q. (2022). Influence of rainfall variability on landfill leachate generation in subtropical climates. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130555>
- MINAM (2019). MINAM construirá celda transitoria para una disposición segura de los residuos que se generan en la provincia de Trujillo. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/51982-minam-construira-celda-transitoria-para-una-disposicion-segura-de-los-residuos-que-se-generan-en-la-provincia-de-trujillo>
- MINAM (2021). Planta de valorización de residuos sólidos de Chincha beneficiará a cerca de 195 000 pobladores. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/342331-planta-de-valorizacion-de-residuos-solidos-de-chincha-beneficiara-a-cerca-de-195-000-pobladores>.
- Mutai, I., Van Laerhoven, K., Karuri, N. y Tewo, R. (2022). Uso de regresión lineal multivariante para la predicción de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales. *ArXiv*, abs/2209.14297. <https://doi.org/10.3934/aci.2024008>
- Nguyen, T., Kusakabe, T. y Takaoka, M. (2024). Caracterización y variaciones espaciotemporales de la materia orgánica disuelta fluorescente en lixiviados de residuos de incineración derivados de vertederos antiguos y residuos incombustibles. *PLOS ONE*, 19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304188>
- Obute, CF, Ofon, UA, Dunkwu-Okafor, A., Ndubuisi-Nnaji, UU y Amaowoh, UG (2024). Dinámica de las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del lixiviado simulado del suelo del vertedero en ikhueniro, ciudad de Benin, estado de Edo, Nigeria. *Revista de Investigación en Microbiología de UMYU (UJMR)*, 9 (2), 66-74. <https://doi.org/10.47430/ujmr.2492.007>

- Olu, J., Oyiza, Y. H., Ikhide, C. E., & Okokoro, H. (2021). *Evaluation of biological antimicrobial effect of aloe vera on coliform isolates in leachate from a dumpsite*. 4(3). <https://doi.org/10.36547/BE.275>
- Pereira, D., Da Costa Assunção, F., Da Silva, J., Ferreira, J., Ferreira, R., Lola, Á., Nascimento, Í., Chaves, J., Nascimento, M., Da Silva Gouvêa, T., Mendonça, N., De Sousa Brandão, I., Pereira, J. Y Machado, N. (2023). Predicción de las características de los lixiviados mediante análisis del extracto solubilizado de la fracción orgánica de los residuos sólidos domésticos del municipio de Belém, PA. *Sostenibilidad*. <https://doi.org/10.3390/su152115456>
- Pineda Tapia, J. L., & Ticona Ramos, J. A. (2023). Tratamiento de los lixiviados de residuos sólidos en las celdas de Huanuyo mediante oxidación avanzada foto-Fenton. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 4(3). <https://doi.org/10.47190/nric.v4i3.268>
- Pisharody, L., Gopinath, A., Malhotra, M., Nidheesh, P. y Kumar, M. (2021). Presencia de microcontaminantes orgánicos en lixiviados de vertederos municipales y su tratamiento eficaz mediante procesos de oxidación avanzada. *Chemosphere*, 287 Pt 2, 132216. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132216>
- Podlasek, A. (2022). Modeling leachate generation: practical scenarios for municipal solid waste landfills in Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 13256–13269. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23092-8>
- Ramirez Anormaliza, R. I., & Cevallos Ayón, E. R. (2023). Modelo matemático para control de lixiviados en tratamiento de desechos sólidos urbanos en un Municipio de Ecuador [Tesis de maestría, Universidad Estatal de Milagro]. Repositorio Institucional UNEMI. <https://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/7154>
- Rigotto, L., Aquino, SF, Rigotto, J., Santos, G., Silva, LML, & Santiago, AF (2023). Dinámica de la materia orgánica disuelta (Dom) en lagunas de estabilización de residuos: perspectivas sobre el cotratamiento de aguas residuales sanitarias y lixiviados de vertederos. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104236. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104236>
- Rompré, A., Servais, P., Baudart, J., de Roubin, M., & Laurent, P. (2002). Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *ScienceDirect*, 31-54. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167701201003517?via%3Dihub>

Saadoun, L., Campitelli, A., Kannengiesser, J., Stanojkovski, D., El Alaoui El Fels, A., Mandi, L. y Ouazzani, N. (2021). Potencial de producción de ácidos grasos de cadena media a partir de lixiviados de residuos sólidos urbanos: efecto de la edad y donantes externos de electrones. *Gestión de residuos*, 120, 503-512. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.013>

Sandoval-Cobo, J., Caicedo-Concha, D., Marmolejo-Rebellón, L., Torres-Lozada, P., & Fellner, J. (2022). Evaluation of Leachate Recirculation as a Stabilisation Strategy for Landfills in Developing Countries. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en15176494>

Santos-Silva, F., Argenta, T. S., de Paula, A. M., Amorim, A. K. B., & Busato, J. G. (2024). Treatment of Leachate Obtained in Leiras de Compostagem de Remos de Alimentos (Composting of Food Remains) by Anaerobic Biodigestion Followed by Oxygenation: a Case Study in the Federal District. *RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(11), e09670. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-061>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). 2018. Condiciones de tiempo. Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú. [En línea]: SENAMHI. (http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi). Artúculo, 13 Dic. 2021). UCATOLICA. (<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14625/1/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>)

Simate, G. S., & Ndlovu, S. (2021). Sustainable treatment technologies for leachate management: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105457. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105457>

Tello P., Campani, D., Rosalba, D. (2018). Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Obtenido de <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>

Vinuesa, P. (2016). Correlación: teoría y práctica. [En línea]. UNAM. (<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14625/1/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>)

- Von Buchwald, F. G. (2019). Modelación de la producción de lixiviados que se generan en los componentes putrescibles de los residuos sólidos urbanos de Guayaquil-Ecuador. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10917/Von_bf.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Wang, K., Reguyal, F. y Zhuang, T. (2021). Evaluación de riesgos e investigación del lixiviado de vertederos como fuente de contaminantes orgánicos emergentes para el medio ambiente circundante: un estudio de caso del vertedero más grande de la ciudad de Jinan, China. *Environmental Science and Pollution Research* , 28 (15), 18368-18381. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10093-8>
- Wang, X., Zhang, L., & Fu, G. (2021). Challenges and advances in landfill leachate management: A review. *Science of The Total Environment*, 766, 142663. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142663>
- Wen, P., Huang, Y., Qiu, Z. y Li, Q. (2021). Respuesta microbiana durante el tratamiento de diferentes tipos de lixiviados de vertederos en un biofiltro de residuos envejecidos semi-aeróbicos. *Chemosphere* , 262 , 127822. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127822>
- Yusoff, M. S. (2023). Humic acid recovery from stabilized leachate: Characterization and interference with chemical oxygen demand–colour removal. *Waste Management & Research*, 0734242X2311606. <https://doi.org/10.1177/0734242x231160687>
- Zhang, Nan, et al. «Formación reducida de compuestos de azufre a partir de una zona saturada de lixiviado en condiciones de temperatura cambiantes». *Waste Management* , vol. 189, diciembre de 2024, ágs.. DOI.org (Crossref) , <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.08.026>.
- Zineb, H., Latifa, M., Salah, S. y Laila, S. (2020). Eliminación de la contaminación mediante tecnología de aireación intensiva para el tratamiento de lixiviados de vertederos. *Journal of Health & Pollution* , 10. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-10.28.201212>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de la muestra para monitoreo

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo requerido	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Fisicoquímico				
Temperatura	P,V	1000 mL	No es posible	15 min
pH		50 mL	No es posible	15 min
DBO ₅	P,V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	48 horas
DQO	P,V	100 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Aceites y grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 mL	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar a 4°C	28 días
Sólidos suspendidos totales (SST)	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	7 días
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	V, esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4°C	6 horas

Fuente: VIVIENDA (2010)

Anexo 4. Resultados de análisis estadístico

Tabla 24. Datos

Y	Muestreo	DBO₅	Coliformes
1	X1	129	4
1	X1	142	0
1	X1	161	11
1	X1	240	7
1	X1	830	0
1	X1	136	0
1	X1	590	0
1	X1	470	0
1	X1	370	0
1	X2	131	0
1	X2	182	0
1	X2	670	0
1	X2	630	0
1	X2	120	160
1	X2	480	3
1	X2	110	0
1	X2	40	0
1	X2	640	1100
1	X3	110	0
1	X3	510	0
1	X3	163	0
1	X3	540	95
1	X3	112	0
1	X3	380	0
1	X3	150	0
1	X3	89	4000
1	X3	130	0
1	X4	180	15
1	X4	400	0
1	X4	106	15
1	X4	430	0
1	X4	730	7
1	X4	350	3
1	X4	155	24
1	X4	420	0
1	X4	420	6
2	X1	129	4
2	X1	142	0
2	X1	161	11
2	X1	240	7

2	X1	830	0
2	X1	136	0
2	X1	590	0
2	X1	470	0
2	X1	370	0
2	X2	131	0
2	X2	182	0
2	X2	670	0
2	X2	630	0
2	X2	120	160
2	X2	480	3
2	X2	110	0
2	X2	40	0
2	X2	640	1100
2	X3	110	0
2	X3	510	0
2	X3	163	0
2	X3	540	95
2	X3	112	0
2	X3	380	0
2	X3	150	0
2	X3	89	4000
2	X3	130	0
2	X4	180	15
2	X4	400	0
2	X4	106	15
2	X4	430	0
2	X4	730	7
2	X4	350	3
2	X4	155	24
2	X4	420	0
2	X4	420	6
3	X1	129	4
3	X1	142	0
3	X1	161	11
3	X1	240	7
3	X1	830	0
3	X1	136	0
3	X1	590	0
3	X1	470	0
3	X1	370	0
3	X2	131	0
3	X2	182	0
3	X2	670	0
3	X2	630	0
3	X2	120	160

3	X2	480	3
3	X2	110	0
3	X2	40	0
3	X2	640	1100
3	X3	110	0
3	X3	510	0
3	X3	163	0
3	X3	540	95
3	X3	112	0
3	X3	380	0
3	X3	150	0
3	X3	89	4000
3	X3	130	0
3	X4	180	15
3	X4	400	0
3	X4	106	15
3	X4	430	0
3	X4	730	7
3	X4	350	3
3	X4	155	24
3	X4	420	0
3	X4	420	6

Tabla 25. Coeficiente de Correlación de Pearsson entre DBO y Coliformes Termotolerantes

Variable 1	Variable 2	Coeficiente de Correlación (r)	p-valor
DBO5	Coliformes Termotolerantes	0.12	>0.05

Tabla 26. ANOVA del DBO

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	f	Valor p
Entre grupos	10,093.39	2	5,046.69	0.10	0.818
Dentro de grupos	1,663,916.50	33	50,421.71		
Total	1,674,009.89	35			

Tabla 27. Prueba de TUKEY

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia de Medias	Error estándar	Valor Crítico	p-valor	Rechazo H ₀
---------	---------	----------------------	----------------	---------------	---------	------------------------

M ₁	M ₂	-18.0000	0.9790	-242.9424	206.9424	False
M ₁	M ₃	-40.9167	0.8964	-265.8591	184.0258	False
M ₂	M ₃	-22.9167	0.9662	-247.8591	202.0258	False

Tabla 28. ANOVA de Coliformes Termotolerantes

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	F	Sig.(p-valor)
Entre Grupos	7954.30	2	3977.15	1.44	0.251
Dentro de Grupos	1119388.81	33	33920.87	-	-
Total	1187230.56	35		-	-

Tabla 29. Prueba de Tukey

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia de Medias	Error estándar	Límite inferior	Límite Superior	Valor p
M ₁	M ₂	111.3333	0.3043	-70.8770	293.5437	0.3043
M ₁	M ₃	4.3333	0.9981	-177.8770	186.5437	0.9981
M ₂	M ₃	-107.0000	0.3321	-289.2103	75.2103	0.3321

Anexo 5. Panel fotográfico



Figura 3. Toma de muestra de los efluentes de las Celda Transitoria (M1)



Figura 4. Toma de muestra de los efluentes de la Planta de Valorización (M2)



Figura 5. Rotulación de muestras para su posterior análisis.



Figura 6. Rotulación de muestras para su posterior análisis.



Figura 7. Proceso de inoculación para la lectura de coliformes termotolerantes.



Figura 8. Resultados de cultivo para determinación de Coliformes termotolerantes



Figura 9. Observación de producción de gas para la identificación de *E. coli*.



Figura 10. Lectura de oxígeno disuelto en las muestras recolectadas



Figura 11. Adición de la muestra a los tubos de digestión para su lectura de DQO.



Figura 12. Lectura de Demanda Química de Oxígeno



Figura 13. Muestras de efluentes (Lixiviados) de los 3 puntos de muestreo



Figura 14. Muestras de DQO antes del proceso de digestión

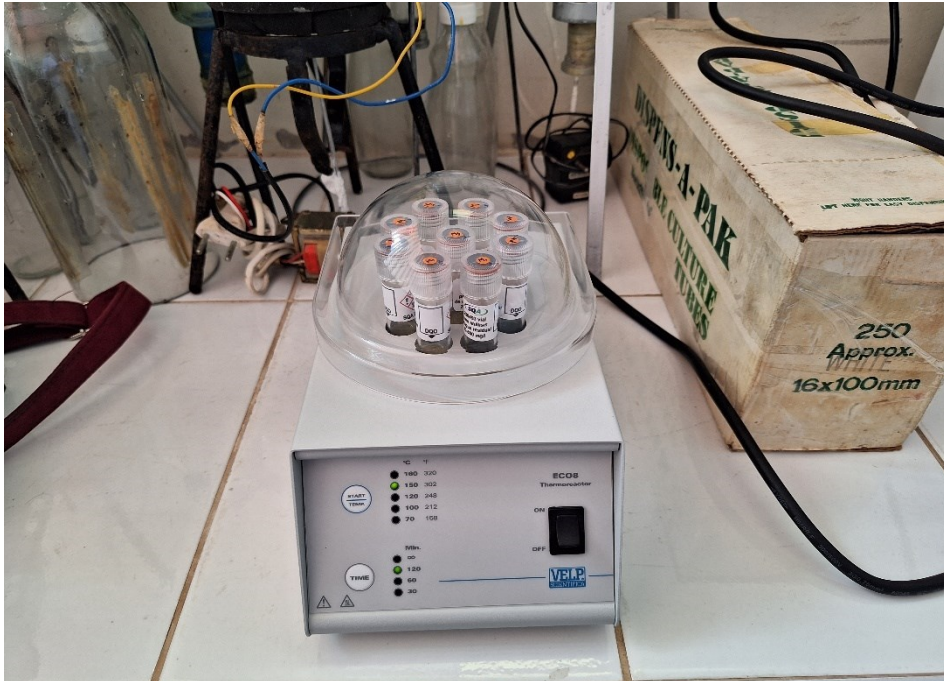


Figura 15. Proceso de digestión de las muestras para la lectura de DQO



Figura16. Pesaje de papel filtro para cálculo de sólidos suspendidos totales



Figura17. Adición de HCl para conservación de muestras de efluentes para análisis de aceites y grasas



Figura 18. Rotulación para envío de muestras de efluente para análisis de aceites y grasas

Anexo 6. Documentos de permiso para ingreso a las estructuras de residuos sólidos

"AÑO DE LA UNIDAD, PAZ Y EL DESARROLLO"

22 de febrero del 2023

SOLICITUD: AUTORIZACIÓN PARA INGRESAR A LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS DE LA MPLD A FIN DE REALIZAR MUESTREOS PARA EJECUCIÓN DE TESIS.

ATENCIÓN:

Sr. Alcalde de la MPLP



Por medio del presente, me dirijo a usted, Jasmine Marquez Salazar con DNI 71782371, en calidad de tesista de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA a fin de solicitarle permiso para ingresar a la planta de valorización de residuos solidos y realizar el muestreo de lixiviados conforme a la tesis aprobada por la facultad de R.N.R que lleva por título: DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EFLUENTES DE DOS INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS EN SANTA ROSA DE SHAPAJILLA-PERU,2022.Dicho muestreo se realizará una vez por mes durante 6 meses.

Agradeciendo de ante mano su atención, sin otro particular me despido muy cordialmente.

Atentamente,



JASMINE MARQUEZ SALAZAR
TESISTA
954982715

Adjunto:

RESOLUCION N°299-2022-D- FRNR-UNAS



Municipalidad Provincial
de Leoncio Prado

Gerencia de Gestión Ambiental
y Defensa Civil

Subgerencia de Limpieza Pública,
Parques, Jardines y Ornato



BICENTENARIO
PERU

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Tingo María, 23 de febrero del 2023

CARTA N°020-2023-SGLPPJD-MPLP/TM

Bach. JASMINE ESTEFANY MARQUEZ SALAZAR
Tesista-UNAS

Presente. -

ASUNTO : **ACEPTACIÓN A LA**
REFERENCIA : **SOLICITUD N° Exp. 20230190**

Mediante el presente me dirijo a usted para saludarle cordialmente y a la vez manifestarle lo siguiente:

La subgerencia de Limpieza Pública, Parques, Jardines y Ornato a través de la evaluación de Técnico de la Celda transitoria; tiene el agrado de aceptar a lo solicitado.

Esto será realizado durante los meses del 2023, por lo que se solicitará el equipo de protección mínimos requeridos (casco, zapatos punta de acero/botas, doble mascarilla, etc.), caso contrario no se permitirá el ingreso. Además, la información y datos obtenidos será brindados a la Subgerencia de Limpieza Pública. **Nota:** Se tendrá que tomar un tarro de leche para la desintoxicación delante del personal de vigilancia de la celda transitoria.

Sin otro en particular, me suscribo de usted, no sin antes expresarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO
TINGO MARIA
[Firma]
Ing. Rina Garrido Garcia
SUBGERENTE DE LIMPIEZA PUBLICA, PARQUES, JARDINES Y ORNATO

Anexo 7. Reporte de actividades durante la ejecución de la tesis.



"AÑO DE LA PAZ, LA UNIDAD Y EL DESARROLLO"



Tingo María, 31 de mayo del 2023

Señores
Miembros de jurado de tesis

Presente. -

ASUNTO : Reporte de actividades durante ejecución de proyecto de tesis

Yo, JASMINE ESTEFANY MARQUEZ SALAZAR, identificada con DNI N° 71782371, tengo el agrado de dirigirme a ustedes para saludarles cordialmente en calidad de Tesista; a fin de informar las actividades durante la ejecución de mi proyecto de Tesis denominado "DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EFLUENTES DE DOS INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS UBICADOS EN SANTA ROSA DE SHAPAJILLA - PERU, 2022" aprobado mediante Resolución N° 299-2022-D-FRNR-UNAS. Conformado por los siguientes jurados:

Presidente : Dr. JOSÉ KALIÓN GUERRA LU
 Miembro : Ing. Msc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
 Miembro : Ing. Msc. VÍCTOR MANUEL BETETA ALVARADO
 Suplente : Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO
 Asesor : Ing. Msc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO
 Ing. Msc. ANGIE TATYANA FERNÁNDEZ ESCOBAR

Agradeciendo de antemano su atención y a la espera de su amable respuesta a la presente.

Atentamente,



 Bach. Jasmine Marquez Salazar
 Tesista

Anexo 8. Informe de ensayo de aceites y grasas.



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 031



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 06022L/23-MA

Pag. 1 / 2

ORGANISMO ACREDITADO	:	INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	:	N° LE - 031
CLIENTE	:	JASMINE ESTEFANY MARQUEZ SALAZAR
PRODUCTO	:	AGUAS RESIDUALES
MATRIZ	:	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
NÚMERO DE MUESTRAS	:	6
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	:	VIDRIO ÁMBAR
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	:	MUESTRAS ENVIADAS POR EL CLIENTE
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	:	NO DECLARADO POR EL CLIENTE
FECHA DE MUESTREO	:	25/05/2023
LUGAR DE MUESTREO	:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE RR.SS. CHUPAJILLA
REFERENCIA DEL CLIENTE	:	RUPA RUPA - LEONCIO PRADO
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	:	30/05/2023
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	:	30/05/2023
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	:	02/06/2023
SOLICITUD DE SERVICIO	:	SS-03022-23 - LMA

Callao, 02 de Junio de 2023

Inspectorate Services Perú S.A.C
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
DAISY LIZ VALLÉ ALVARADO
Fecha: 03/11/2023 11:14:30 AM
C.I.P.: 169884
Supervisor de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realiza el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como m

Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 031



INSPECTORATE

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 06022L/23-MA

Pag. 2 / 2

RESULTADOS DE ANÁLISIS

	M1-1	M1-2	M2-1	M2-2	M3-1
Estación de Muestreo	25/05/2023	25/05/2023	25/05/2023	25/05/2023	25/05/2023
Fecha de Muestreo	09:00	09:00	09:10	09:10	09:30
Hora de Muestreo	005527-0004	005527-0005	005527-0006	005527-0007	005527-0008
Código de Laboratorio	ARD	ARD	ARD	ARD	ARD
Matriz					

Ensayos Medio Ambiente

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.					
Material extractable en hexano; aceites y grasas	mg/L	0,9	0,5	2,4	3,5	195,6	131,9	2,6

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	M3-2
Fecha de Muestreo	25/05/2023
Hora de Muestreo	09:30
Código de Laboratorio	005527-0009
Matriz	ARD

Ensayos Medio Ambiente

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Material extractable en hexano; aceites y grasas	mg/L	0,9	0,5	4,3

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Material extractable en hexano; aceites y grasas	EPA 1664, Rev. B, Febrero 2010 n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARD	AGUA RESIDUAL DOMESTICA

NOTAS

Las muestras que ingresaron al Laboratorio en condiciones idóneas para la realización de los análisis solicitados; se emiten acreditadas según alcance ante INACAL-DA.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente.

El laboratorio no se hace responsable cuando la información y muestra proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).

< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.

> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.

A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (t) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com

