

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EFFECTO DE LAS SEMILLAS DE *Moringa oleifera* EN LIXIVIADOS DE CELDAS
TRANSITORIAS DE LA CIUDAD DE TINGO MARÍA EN UN REACTOR TIPO
BATCH A ESCALA DE LABORATORIO**

Tesis

para optar el título de:

INGENIERA AMBIENTAL

PUJAY ALBORNOZ MARICELA ERIKA

Asesor

Ing. M.Sc. PAREDES SALAZAR JOSÉ LUIS

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°116-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 21 de Noviembre de 2024, a horas 11:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EFECTO DE LAS SEMLLAS DE *Moringa oleífera* EN LIXIVIADOS DE CELDAS TRANSITORIAS DE LA CIUDAD DE TINGO MARÍA EN UN REACTOR TIPO BATCH A ESCALA DE LABORATOTIO”

Presentado por la Bachiller: **PUJAY ALBORNOZ, MARICELA ERIKA** 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, 21 de octubre de 2025

Ing. MSc. **FRANKLIN DIONISIO MONTALVO**
PRESIDENTE

Dr. **LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO**
MIEMBRO

Dr. **VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO**
MIEMBRO

Dr. **JOSE LUIS PAREDES SALAZAR**
ASESOR





UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 352 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico 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	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EFFECTO DE LAS SEMILLAS DE <i>Moringa oleifera</i> EN LIXIVIADOS DE CELDAS TRANSITORIAS DE LA CIUDAD DE TINGO MARÍA EN UN REACTOR TIPO BATCH A ESCALA DE LABORATORIO	PUJAY ALBORNOZ MARICELA ERIKA	13 % Trece	Menor a 20 %

Tingo María, 03 de noviembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza y sabiduría para enfrentar los obstáculos y permitirme culminar con éxito esta etapa profesional.

A mis padres Florencio Pujay y Luz Albornoz, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar, educación. Gracias por su apoyo incondicional, confianza, amor y esfuerzo me ha permitido culminar mi carrera profesional.

A mis hermanas Yaqueline, Saraí, Thalía y hermanito Piero Gabriel quienes me brindaron apoyo moral y emocional.

A mi hijito Thiago Gael, por ser la obra más perfecta, motor de mi vida. Tu llegada me impulsa a seguir creciendo como persona y profesional para servirte de ejemplo. Te amo y amaré por siempre mi tesorito.

A mi abuela Aquilina Lizano Huete, por brindarme amor y cuidado, quien me acompañó en una etapa de mi vida y ahora descansa en paz.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de Recursos Naturales Renovables y plana docente, por contribuir en mi formación profesional
- Al Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar, asesor de mi tesis, por el apoyo con su experiencia y conocimientos en la culminación de esta investigación.
- A los miembros del jurado, Ing. M.Sc. Franklin Dionisio Montalvo, Dr. Luis Eduardo Ore Cierta y Ing. M.Sc. Víctor Manuel Beteta Alvarado en el presente trabajo.
- A mi esposo Benjamín Ruvina López, por su incondicional apoyo en la presente investigación y por su grata compañía ante toda dificultad presentada.
- A mi hermana Yaqueline Pujay Albornoz por el apoyo constante en la culminación de la presente tesis.
- A mis colegas que me apoyaron en cada momento mediante la ejecución de la presente tesis.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Marco teórico.....	4
2.1.1. Lixiviados de residuos sólidos.....	4
2.1.2. Semilla de <i>Moringa oleifera</i>	7
2.1.3. Reactor tipo batch	8
2.1.4. Demanda química de oxígeno (DQO)	8
2.1.5. Conductividad eléctrica	9
2.1.6. Turbidez.....	9
2.1.7. Potencial de Hidrógeno.....	9
2.1.8. Sólidos disueltos totales.....	9
2.2. Estado del arte.....	9
2.2.1. Internacionales	9
2.2.2. Nacionales.....	11
2.2.3. Locales	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Descripción de la zona de estudio	13
3.1.1. Ubicación de la zona de estudio	13
3.1.2. Clima.....	13
3.1.3. Características de la celda.....	13
3.2. Materiales y métodos.....	14
3.2.1. Materiales.....	14
3.2.2. Equipos	14
3.3. Metodología.....	14
3.3.1. Descripción del lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado	14
3.3.2. Determinación del efecto en la DQO, conductividad y turbidez del lixiviado de residuos sólidos de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado por aplicación de las	

semillas de <i>Moringa oleifera</i> en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.....	17
3.3.3. Determinación de la eficiencia del uso de semillas de <i>M. oleifera</i> en la depuración del lixiviado de residuos sólidos en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.....	18
3.4. Criterios de estudio	19
3.4.1. Nivel de investigación	19
3.4.2. Tipo de investigación.....	19
3.4.3. Variables de investigación.....	19
3.4.4. Operacionalización de las variables.....	20
3.4.5. Diseño de investigación.....	21
3.4.6. Población y muestra.....	21
3.4.7. Técnicas e instrumentos de investigación.....	22
3.4.8. Análisis de datos	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Descripción del lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.....	23
4.2. Determinación del efecto en la DQO, conductividad y turbidez del lixiviado de residuos sólidos de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado por aplicación de las semillas de <i>Moringa oleifera</i> en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.	24
4.3. Determinación de la eficiencia del uso de semillas de <i>M. oleifera</i> en la depuración del lixiviado de residuos sólidos en un reactor tipo Batch a escala de laboratorio	26
V. CONCLUSIONES	31
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	32
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Clasificación general de los lixiviados por edad.	7
2. Caracterización de los lixiviados de un botadero municipal.	7
3. Taxonomía de la <i>Moringa oleifera</i>	8
4. Niveles de las variables.	19
5. Matriz de diseño tipo factorial completo.	20
6. Niveles para cada parámetro de la investigación.	20
7. Operacionalización de las variables de la investigación.	20
8. Caracterización del lixiviado obtenido de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.	23
9. Valores finales de DQO, Conductividad y Turbidez del lixiviado después de la aplicación de las partículas finas de semilla de <i>M. oleifera</i> (SM).	25
10. Porcentaje de depuración de DQO y variación de conductividad y turbidez del lixiviado después de la aplicación de las partículas finas de semilla de <i>M. oleifera</i> (SM).	27
11. Efecto del tiempo de aplicación de polvo de semillas de moringa en 500 ml de lixiviado.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Fases en la generación de lixiviados.....	5
2. Factores que influyen en la generación de lixiviados.....	5
3. Semillas de Moringa oleifera.....	8
4. Ubicación política del lugar de ejecución.....	13
5. Recolección de lixiviados mediante el muestreo compuesto.	14
6. Análisis de lixiviado (Temperatura, pH, conductividad eléctrica y SDT).	15
7. Molienda del polvo de semillas de M. oleifera.	16
8. Flujograma de obtención del polvo de M. oleifera y extracción de aceite.....	16
9. Reactor discontinuo con agitación tipo batch.....	17
10. Flujograma de la aplicación de los tratamientos con M. oleifera a las muestras de lixiviado.	18
11. Esquema del procedimiento experimental de la investigación.....	21
12. Porcentaje de depuración de DQO del lixiviado a diferentes pH y porcentajes de semillas de <i>M. oleifera</i>	27
13. Porcentaje de variación de la conductividad del lixiviado a diferentes pH y porcentajes de semillas de M. oleifera.....	28
14. Porcentaje de variación de turbidez del lixiviado a diferentes pH y porcentajes de semillas de M. oleifera.....	29
15. Primer punto de la toma de muestra simple de lixiviado	42
16. Segundo punto de la toma de muestra simple de lixiviado	42
17. Tercer punto de la toma de muestra simple de lixiviado	43
18. Medición de los parámetros físicoquímicos del lixiviado	43
19. Semilla de moringa fresca y luego de ser deshidratado en la estufa	44
20. Preparación del polvo de semillas de moringa	44
21. Sistema experimental para la aplicación del polvo de semillas de moringa al lixiviado ...	45
22. Muestra de lixiviado con las distintas concentraciones de semilla en polvo para cada tratamiento	45
23. Aplicación de tratamientos según los objetivos de la investigación	46

RESUMEN

En la presente investigación, se evaluó la depuración de un lixiviado de residuos sólidos mediante la aplicación de polvo de semillas de moringa a diferentes rangos de pH. El lixiviado que se utilizó fue colectado, caracterizado y procedente de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, en Tingo María-Huánuco-Perú. Las pruebas experimentales se realizaron a nivel de laboratorio, en un contenedor tipo batch con agitación, utilizando el polvo de semillas de *Moringa oleifera*, que se aplicaron con diferentes porcentajes en peso: 5%, 10% y 20% en peso, al lixiviado con pH modificados a un medio ácido con 5,8 y un medio básico con 9,2. Después de 15 minutos de agitación, una hora de sedimentación y una filtración, se midieron la DQO, la conductividad y turbidez. Los resultados indicaron que el tratamiento con mayor eficiencia en remoción de DQO con 29,5%, se presentó cuando el pH fue de 5,8 y el porcentaje de polvo de semillas de moringa 20%. La conductividad y la turbidez se incrementaron con los tratamientos aplicados. Las pruebas estadísticas, indicaron que las eficiencias de los tratamientos aplicados son estadísticamente diferentes en todos los casos, y fueron evaluados con un intervalo de confianza del 95%.

Palabras clave: Polvo de semillas de moringa, pH, lixiviado, DQO, conductividad, turbidez.

The Effect of *Moringa oleifera* Seeds on Leachates from Transitory Cells in a Batch Type Reactor on a Laboratory Scale in the City of Tingo Maria

Abstract

In the present research, the depuration of a leachate from residual solids through the application of moringa seed powder at different pH ranges was evaluated. The leachate that was used was collected, characterized and originated from the transitory cell within the Leoncio Prado province municipality in Tingo Maria, Huánuco, Peru. The experimental tests were carried out at a laboratory level, in a batch type container with agitation, using powder form *Moringa oleifera* seeds, which was applied in different quantities: 25g, 50g and 100g to a leachate with a pH, that was modified with an acidic medium of 5.8 and an average base of 9.2. After fifteen minutes of agitation, an hour of sedimentation and a filtration, the BOD (DQO), conductivity and turbidity were measured. The results indicated that the treatment with the greatest removal efficiency for the BOD with 29.5% occurred when the pH was 5.8 and the percentage of moringa seed powder was 20%. The conductivity and the turbidity increased with the treatments that were applied. The statistical tests indicated that the efficiencies of the treatments that were applied were statistically different in all of the cases, and were evaluated with a 95% confidence interval.

Keywords: moringa seed dust, pH, leachate, BOD (DQO in Spanish), conductivity, turbidity

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los lixiviados provenientes de los rellenos y celdas de disposición de residuos sólidos representan una de las principales amenazas ambientales. Estos líquidos, producto de la descomposición de la materia orgánica y la percolación del agua a través de los residuos, contienen elevadas concentraciones de materia orgánica, metales pesados, compuestos nitrogenados y sales disueltas (Astorga de Canto, 2018), que al infiltrarse contaminan el suelo y los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Diversos estudios en Europa, Asia y América han demostrado que los lixiviados presentan una alta carga contaminante (Giraldo, 1997), lo que dificulta su tratamiento convencional y eleva los costos de operación en plantas de tratamiento. Además, su variabilidad en composición química, dependiente de la edad del relleno y de la naturaleza de los residuos, hace que representen un desafío técnico y económico. De esta manera, la gestión inadecuada de lixiviados se ha convertido en un problema ambiental global que amenaza la sostenibilidad de los ecosistemas y la salud pública.

En el contexto nacional, el manejo de lixiviados constituye una problemática creciente debido al incremento sostenido en la generación de residuos sólidos. En el Perú, la disposición final de residuos se realiza en rellenos sanitarios formales, botaderos a cielo abierto y celdas transitorias, siendo estas últimas una alternativa de corto plazo en ciudades intermedias. Sin embargo, la ausencia de sistemas adecuados de impermeabilización y drenaje genera lixiviados con alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y concentraciones significativas de amonio y metales pesados. Estos efluentes, al no recibir tratamiento eficiente, se convierten en focos de contaminación de ríos, quebradas y acuíferos subterráneos, afectando la calidad del agua y poniendo en riesgo a las poblaciones aledañas. La limitada infraestructura tecnológica y los altos costos de tratamiento hacen urgente explorar alternativas de bajo costo, sostenibles y viables en zonas con recursos limitados, donde la contaminación por lixiviados se ha convertido en un problema ambiental prioritario.

En la región de Huánuco, la disposición final de residuos sólidos se realiza en celdas transitorias, donde la generación de lixiviados es una problemática ambiental de creciente preocupación. Debido a las características climáticas de la zona, marcadas por una alta pluviosidad durante gran parte del año, los volúmenes de lixiviados generados son elevados, lo que incrementa el riesgo de infiltración y escorrentía hacia fuentes hídricas cercanas. Esto afecta directamente a la cuenca del río Huallaga y sus afluentes, los cuales son utilizados por la

población local para consumo, riego y otras actividades económicas. La falta de un sistema de tratamiento especializado agrava la situación, provocando la acumulación de contaminantes.

Con el propósito de contribuir a reducir los impactos negativos que ocasionan los lixiviados producidos dentro de la celda transitoria sin tratamiento sobre el ambiente, es necesario investigar el efecto de nuevas tecnologías, teniendo en consideración la variabilidad de las características fisicoquímicas de los lixiviados. *Moringa oleifera* es una planta conocida por sus múltiples usos, incluyendo sus propiedades coagulantes y antimicrobianas, principalmente en el tratamiento de aguas. Sin embargo, el potencial de las semillas de *M. oleifera* en la depuración de lixiviados de residuos sólidos ha sido insuficientemente explorado. A pesar de los avances en la investigación sobre su uso en el tratamiento de aguas, persisten diversas preguntas y desafíos específicos para su aplicación en lixiviados, tales como la efectividad en la remoción de diversos contaminantes y la optimización del proceso para diferentes tipos de lixiviados, es por esa razón que la presente investigación tiene como interrogante lo siguiente ¿Cuál es el efecto de las semillas de *M. oleifera* en lixiviados de celdas transitorias de Tingo María en un reactor tipo Batch a escala de laboratorio?

El estudio se justifica en que la gestión de residuos sólidos es un desafío creciente a nivel global debido al aumento constante en la generación de residuos y a la limitada capacidad de los vertederos y rellenos sanitarios. Uno de los problemas más críticos asociados con la gestión de estos residuos es la producción de lixiviados, líquidos altamente contaminantes que se generan cuando el agua percola a través de los residuos sólidos. Los lixiviados contienen una mezcla compleja de contaminantes, incluyendo materia orgánica, metales pesados, nutrientes y compuestos tóxicos, que pueden infiltrarse en el suelo y las fuentes de agua subterráneas, representando una seria amenaza para el medio ambiente y la salud pública.

Ante lo expresado en los párrafos anteriores, se formula la siguiente hipótesis: El uso de las semillas de *M. oleifera* tiene efecto significativo en la depuración de los lixiviados de la celda transitoria de Tingo María en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de las semillas de *Moringa oleifera* en lixiviados de celdas transitorias de la ciudad de Tingo María en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.

1.1.2. Objetivos específicos

Describir el lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

Determinar el efecto en la DQO, conductividad y turbidez del lixiviado de residuos sólidos de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado por aplicación de las semillas de *Moringa oleifera* en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.

Determinar la eficiencia del uso de semillas de *Moringa oleifera* en la depuración del lixiviado de residuos sólidos en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Lixiviados de residuos sólidos

Es el líquido que pasa a través de los residuos sólidos y de componentes disueltos o en suspensión. Está conformado por el agua generada por la escorrentía superficial, lluvia y la producida por la dinámica de descomposición de los residuos, superando su capacidad de absorción e incrementando la carga de contaminantes. Este líquido se puede llegar hasta la napa freática (Cortez, 2014). El lixiviado es un contaminante de alto riesgo para el suelo y el subsuelo como de las corrientes superficiales y subsuperficiales (Torres et al., 2005).

2.1.1.1. Características de los lixiviados

El lixiviado este compuesto por la mayor cantidad de materia orgánica, sales orgánicas e inorgánicas, metales pesados, nitrógeno y otras sustancias químicas diluidas, variando con el tiempo del lugar de disposición final, las características del residuo depositado, la meteorología y operación (Torres et al., 2005).

Generalmente los lixiviados contienen como característica principal de contaminante, alto carga orgánica, nitrógenos y fósforo, además presencia de abundantes patógenos e igualmente sustancias tóxicas como metales pesados y componentes orgánicos (Torres et al., 2005).

En los primeros años de funcionamiento la materia orgánica de los lixiviados alcanza su mayor concentración y decrece progresivamente según la edad del vertedero. A diferencia, la concentración de amonio, que en general puede presentar concentraciones mayores a 2000 mg/l, no baja y casi siempre constituye su contaminante principal. Por otro lado, la presencia de metales pesados en la fase metanogénica presenta concentraciones muy bajas, pero sí son importantes en la fase inicial (fase ácida) del vertedero (Torres et al., 2005).

En la etapa de descomposición, donde el pH es ácido las concentraciones de DBO₅, DQO, COT, nutrientes y metales pesados se incrementan. Por otro lado, la fermentación del metano se encuentra de 6,5 a 7,5 de pH y los valores de concentración de DBO₅, DQO, COT, y de los nutrientes serán más bajos. Así mismo, las concentraciones de metales pesados son más bajas, porque la mayoría de los metales son menos solubles en pH neutro. El pH del lixiviado no solamente está relacionado de la concentración de los ácidos, sino también de la presión parcial del CO₂ en el gas de vertedero, como se muestra en la **Figura 1** (Torres et al., 2005).

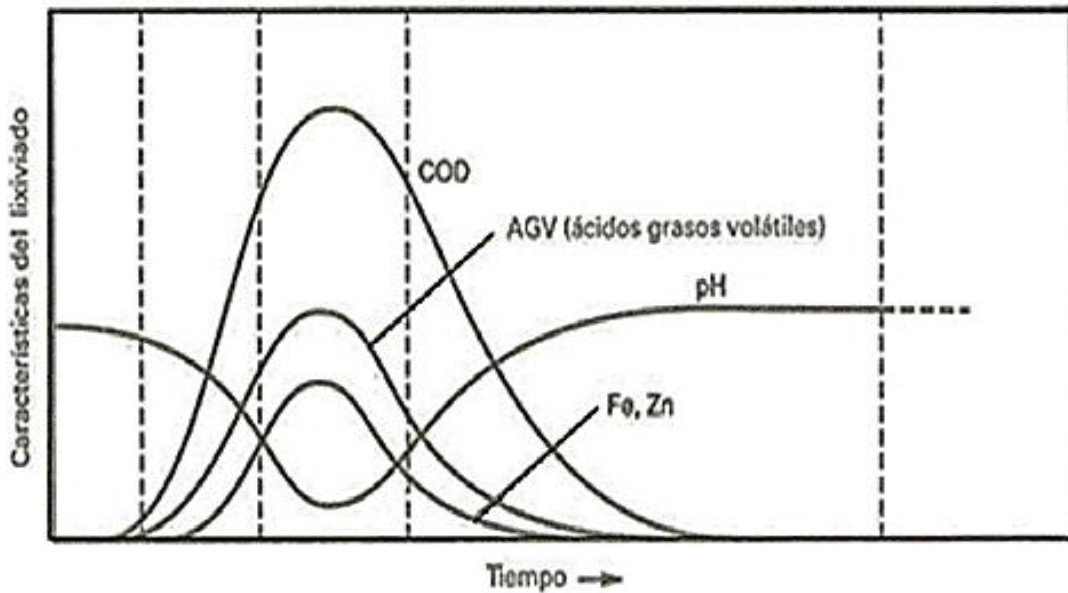


Figura 1. Fases en la generación de lixiviados.

Fuente: Torres et al. (2005).

En la Figura 1 se observa las fases de la generación de lixiviados en las cuales se tiene, la fase ajuste inicial, de transición, fase ácida, fermentación del metano y la última fase de maduración.

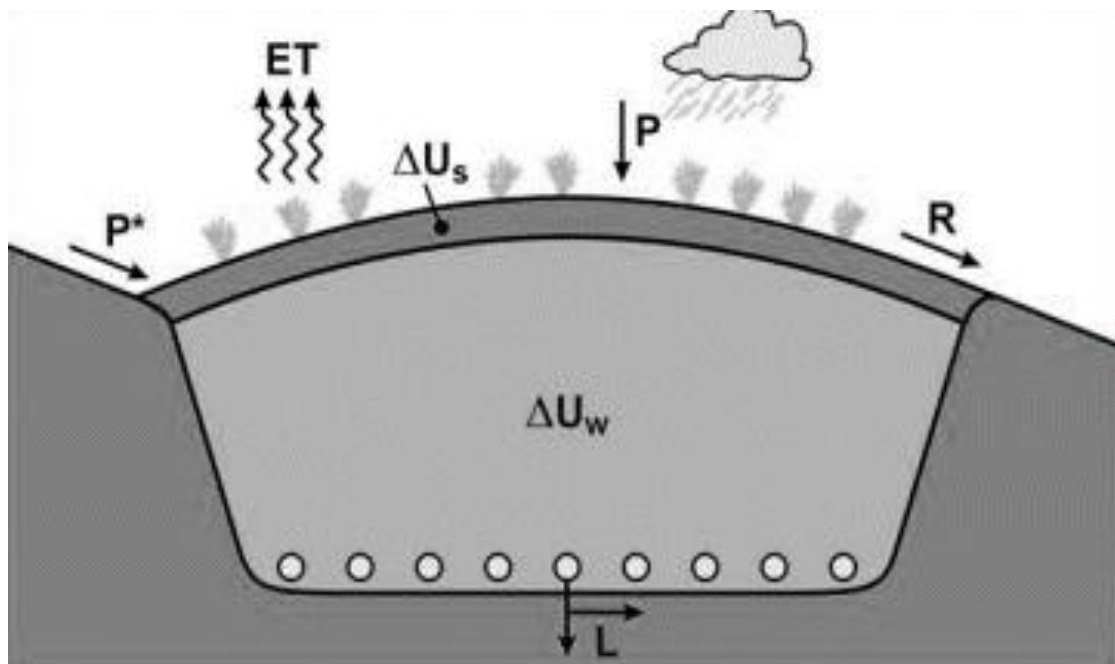


Figura 2. Factores que influyen en la generación de lixiviados.

Fuente: Renou et al. (2007)

En la Figura 2 se observa el ciclo del agua dentro de un relleno sanitario. Donde el flujo de lixiviados (L) dependerá de la precipitación (P), la escorrentía superficial (R), y la

variación de humedad del suelo (ΔU_s) y del agua subterránea que se filtra por el relleno sanitario (ΔU_w). El uso de esta técnica para controlar el volumen de agua que ingresa al vertedero con (cubiertas a prueba de agua, requerimientos de revestimiento, tales como arcilla, geotextiles y / o plástico) con el objetivo de reducir la amenaza de contaminación. Asimismo, otro factor de mucha influencia es el clima, ya que afecta el ingreso de la precipitación (P) y las pérdidas por evaporación (ET).

De acuerdo con el balance hídrico se tiene que:

$$L = P - R - \Delta U_s - ET - \Delta U_w \dots \dots \dots (1)$$

Donde: L es el caudal de lixiviados, P es la precipitación media anual, R es la escorrentía, ET es la evapotranspiración, ΔU_s es el cambio de humedad del suelo, ΔU_w es el cambio de humedad de los residuos. Por último, la cantidad de lixiviados también dependerá del tipo de residuos, volumen de agua y su grado de compactación en el vertedero (Renou et al., 2007).

2.1.1.2. Calidad y cantidad de lixiviados

Estas varían con su edad. Puede decirse que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países desarrollados tienen concentraciones más altas de DBO, amoníaco, metales, y sustancias precipitables. El lixiviado joven en comparación de un lixiviado viejo, presenta mayor concentración en todos los parámetros. Asimismo, la relación DBO/DQO para un lixiviado joven es alta teniendo una biodegradabilidad buena, mientras el lixiviado viejo es baja mostrando una biodegradabilidad baja de la materia orgánica. La cantidad de sales disueltas y metales pesados son muy altas en un lixiviado joven; que al utilizar métodos biológicos para reducir la DBO se produce la toxicidad por metales pesados (Torres et al., 2005).

La calidad y cantidad de los lixiviados dependen del tipo y solubilidad de los desechos dispuestos, diseño y operación, grado de compactación, altura de enterramiento, geomorfología de la cobertura, procesos de conversión microbiológica y química, interacción del lixiviado con el medio ambiente, topografía y condiciones climáticas como la temperatura, escurrimiento superficial y evaporación (Torres et al., 2005).

Según la literatura, cada relleno sanitario presenta una amplia variación en la composición del lixiviado.

En la Tabla 1 se muestran los tres tipos de lixiviados que se han definido de acuerdo con la edad del lixiviado (Renou et al., 2007).

Tabla 1. Clasificación general de los lixiviados por edad.

Parámetro	Nuevo	Intermedio	Viejo
Edad (años)	<5	5 a 10	>10
pH	6,5	6,5 – 7,5	>7,5
DQO (mgL ⁻¹)	>10 000	4 000 – 10 000	<4 000
DBO ₅ /DQO	>0.3	0,1 – 0,3	<0,1
Compuestos Orgánicos	80% (AGV)	5 - 30% AGV + ácidos	Ácidos húmicos y fúlvicos
Metales pesados	Bajo - Medio	Medio	Bajo
Biodegradabilidad	Importante	-	Bajo

Fuente: Renou et al. (2007).

2.1.1.3. Calidad de los lixiviados en zonas de alta precipitación

Según Neira y Coronado (2014) en su estudio de investigación caracterizo el flujo de los lixiviados generados en el botadero municipal La Maná provincia de Cotopaxi, donde tuvo como objetivo caracterizar los lixiviados de los residuos sólidos urbanos que se disponen en el botadero.

Seguido se presenta los datos del monitoreo de parámetros fisicoquímicos llevados a efecto durante esta investigación.

Tabla 2. Caracterización de los lixiviados de un botadero municipal.

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	----	7,7 y 8,2
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	0,6 y 1,1
Conductividad eléctrica	μS/cm	23 900 y 32 968
Sólidos totales disueltos (STD)	mg/l	23 300 y 31 700
DQO	(mgL ⁻¹)	>10 000

Fuente: Neira y Coronado (2014).

2.1.2. Semilla de *Moringa oleifera*

Está compuesta por un 40% de aceite. Los diferentes análisis dan como resultado que la pasta después de la extracción del aceite tiene el componente activo del coagulante. De tal forma que de la semilla de *Moringa oleifera* se obtiene dos productos potenciales para el mercado (Cerrato, 2015).

Tabla 3. Taxonomía de la *Moringa oleifera*.

Características taxonómicas	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Eudicotyledoneae
Subclase	Rosidae
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	Moringa
Especie	<i>Moringa oleifera</i>

Fuente: Cerrato (2015).



Figura 3. Semillas de *Moringa oleifera*.

2.1.3. Reactor tipo batch

Estos trabajan en estado no estacionario y un tanque agitado sería el más sencillo. Además de tener ventaja que su bajo costo de ensamblaje, asimismo son flexibles en su uso. Por otro lado, la desventaja es su alto costo de operación mantenimiento; además de su difícil implementación de un sistema de control (Lanny, 1998).

2.1.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno disuelto consumido por la materia orgánica en el agua por las condiciones de la oxidación química. Utilizan como oxidantes, al dicromato o el

permanganato de potasio. El resultado indica el conjunto de compuestos orgánicos, sales minerales oxidables (como los sulfuros), ya sean biodegradables o no (Lanny, 1998).

2.1.5. Conductividad eléctrica

Es la medida de cargas iónicas que corren dentro del agua. Este dato indica la concentración sales disociadas. Los iones que se encuentran en las aguas naturales son: sodio, calcio, magnesio, bicarbonato, sulfato y cloruro (Lanny, 1998).

2.1.6. Turbidez

Este es un indicador de la presencia de material suspendido y coloidal como limo, arcilla, materia orgánica e inorgánica de tamaños muy finos en el agua. El agua tiene una propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se esparzan y se absorban, en vez de que se transmitan sin alterarse a través de una muestra. Por otro lado, se sabe que la turbiedad no es lo mismo que la concentración en peso de los sólidos en suspensión, ya que la forma, el tamaño y el índice de refracción, son elementos que afectan también en la dispersión de la luz (Guzmán et al., 2013).

2.1.7. Potencial de Hidrógeno

Mide en un rango de 0 a 14, la condición acida son valores menores a 7, alcalina valores mayores a 7 de una muestra y valores iguales a 7 se considera como neutro, (Environmental Protection Agency [EPA], 2007).

2.1.8. Sólidos disueltos totales

Según American Public Health Association (APHA, 1992), describe a las sales inorgánicas y pocas cantidades de materia orgánica presentes en las disoluciones.

2.2. Estado del arte

2.2.1. Internacionales

Cao et al. (2021) extrajeron proteína de semillas de *M. oleifera* (MO) utilizando proteasa de *Bacillus licheniformis* y se evaluó su efectividad como biocoagulante para ser aplicado en el pretratamiento de lixiviados. Recogieron muestras de lixiviados de parte de un vertedero municipal cerrado con carbono orgánico total (COT) de 1 465 mg/L e iones de amonio (NH_4^+) de 1 245 mg/L. Después de la coagulación, se aplicó al lixiviado una reacción similar a la de Fenton con un sistema de hierro cerovalente mediado (ZVI). Se adoptó una metodología de superficie de respuesta (RSM) basada en un diseño de Box-Behnken (BBD) para optimizar el proceso similar al de Fenton. Se utilizó un modelo polinómico cuadrático sobre los datos, con R^2 de 0,996 y 0,998 para el carbono orgánico total (COT) y NH_4^+ remoción, respectivamente. Se investigó la influencia de tres factores principales, a saber, el pH, la relación molar de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{ZVI}$, y concentración de H_2O_2 para TOC y NH_4^+ eliminación. En

condiciones óptimas de 30 min de tiempo de reacción, $\text{pH} = 3$, $[\text{H}_2\text{O}_2] = 43,82 \text{ mM}$, relación molar $\text{H}_2\text{O}_2/\text{ZVI}$ de 3,89, efectividad de la eliminación de COT y NH_4^+ fue de 59,98% y 98,3%, respectivamente. Se confirmó que la tecnología combinada de biocoagulante y reacción similar a Fenton es un proceso competente para el tratamiento de lixiviados, con 72,6% de COT y 98,98% de NH_4^+ eliminación. Los supuestos costos de operación para el acoplamiento de los tratamientos pueden estimarse en $5,67 \text{ \$/m}^3$. Por lo tanto, las reducciones en el NH_4^+ y la mineralización se lograron de manera rentable mediante la combinación de la biocoagulación con proteínas extraídas de semillas de MO y un proceso similar al de Fenton activado por ZVI.

Das et al. (2022) estudiaron el agua que contiene residuo de látex de caucho y productos químicos, para ello utilizaron corteza del tallo de *M. oleifera* y *Pseudomonas sp.*, estos últimos cumplieron la función de adsorción y el tratamiento microbiano del efluente. La superficie del adsorbente fue mayoritariamente amorfa con un índice de cristalinidad del 37,9% y el área superficial del BET fue de $6,622 \text{ m}^2/\text{g}$. El análisis FTIR indicó la participación del estiramiento O-H, la α cetónica, el β -insaturado, el estiramiento C-H, el ácido carboxílico y los grupos funcionales derivados del estiramiento O-C en el proceso de adsorción. La evaluación de los dos agentes anteriores se basó en su capacidad de reducción de los parámetros tóxicos, tales como sólidos totales suspendidos y disueltos, sólidos totales, demanda biológica y química de oxígeno, sulfato, amonio, oxígeno disuelto, fósforo, pH, conductividad eléctrica, turbidez y potencial de reducción de oxidación de las aguas residuales. Un estudio comparativo del presente trabajo reveló que ambos agentes fueron efectivos en la reducción de la mayoría de los parámetros anteriores por debajo de los límites de descarga segura. Sin embargo, la adsorción con corteza de tallo de *M. oleifera* fue mejor comparada con la biodegradación por *Pseudomonas sp.* gérmenes. Los principales desafíos que suelen acompañar a la biodegradación incluyen el manejo de microbios y un porcentaje de eliminación más bajo que la adsorción.

En México, este estudio se contrasta la eficacia de coagulación de los tres tipos de disoluciones derivadas de las semillas de *M. oleifera* y el alumbre con la prueba de jarras. Se inicia con una cantidad óptima del alumbre, como parámetro de comparación para establecer la eficiencia de eliminación de los biocoagulantes. El tratamiento del agua con alumbre nos dio como resultado la remoción de turbiedad (95,60%) y color (98,32%). seguida del tratamiento de la disolución de *M. oleifera* en cloruro de sodio. Por otro lado, los tratamientos con *M. oleifera* no presentaron cambios en las propiedades químicas del efluente. Considerando las disoluciones de Moringa, la eficiencia de remoción de turbidez aumento cuando se aplicó soluciones con cloruro de sodio (92,03%) y agua de mar (90,72%) que cuando se usó agua desmineralizada como disolvente (56,02%) (Sandoval y Laines, 2012).

Chango y Ruiz (2020) aplicaron biocoagulante de *M. oleifera* en dos plantas de tratamiento de aguas residuales. Utilizaron tres dosis de semillas pulverizadas en muestras de aguas residuales de 250 ml mediante el método de jarras; se realizaron mediciones del pH, turbidez, temperatura, DBO₅, DQO, coliformes totales y sólidos disueltos. Como resultado se encontró alta remoción de turbidez, coliformes totales y mejora de la calidad del agua tratada. Concluyeron que, las semillas de *M. oleifera* es un buen bioacoagulante natural de alto rendimiento y sencillo de conseguir.

Guamán y Sánchez (2018) buscó determinar mediante análisis físicoquímicos cuál de las diferentes concentraciones de la semilla en medio acuoso tienen mayor eficiencia como floculante en efluentes residuales domésticos que son vertidas a la desembocadura del mar en la periferia de la ciudad de Guayaquil, donde se ubican casas con sistemas de drenaje rústico adaptado por las personas. Las disoluciones se acondicionaron utilizando semillas en polvo con y sin extracción del aceite, con ayuda de insumos como la sal, agua desmineralizada a temperatura ambiente, agua desmineralizada caliente y agua para consumo humano. En la revisión de la eficiencia de estas se aplicó el procedimiento de “test de jarra”, los resultados conseguidos a partir de los parámetros realizados como la turbidez, color y pH, muestran que los coagulantes naturales dispuestos en diferentes concentraciones coagulan, tienen la peculiaridad que difieren en intervalos de tiempo en la generación de flóculos y sedimentación. Se concluye que la solución compuesta por cloruro de sodio 0,5M y partículas de semilla de *M. oleifera* con extracción de aceite presenta una eficiencia del 95% y un pH 7,5.

En este estudio se aplicó el resto después de la extracción de aceite para el tratamiento del afluente de una PTAR, determinando parámetros que indican la calidad del agua residual. La DQO fue de 80 mg/L con una dosis de coagulante de 69,70 mg/L, lográndose una eficiencia mayor al 90 %. Se realizó el análisis del contenido de alcalinidad, sólidos disueltos totales, dureza y fósforo (Rondón et al., 2017).

2.2.2. Nacionales

Vera-Zelada et al. (2023) estudiaron el efecto del polvo de semilla de *M. oleifera* respecto a la turbidez del agua residual en cada pozo de oxidación del distrito de Cajamarca; realizaron la colecta de siete muestras de dicha agua residual donde midieron la turbidez, conductividad, temperatura y pH, posteriormente dosificaron con 0,5 g, 0,8 g, y 1 g de coagulante las muestras de agua por 10 min a 150 y 200 RPM. Como resultado se observó que, el peso de *M. oleifera* influyó de manera inversa sobre la turbidez del agua residual y no hubo significancia con las revoluciones. Se concluye que, la *M. oleifera* influye en los parámetros evaluados del agua residual.

Robles (2023). Determinó la dosis eficiente para tratar lixiviados empleando semillas de *M. oleifera* como coagulante natural. Se utilizó tres coagulantes en base a semillas: estado natural, carbón activado y la fusión de ambas; se realizó la lectura inicial de los parámetros en las muestras iniciales con fines de compararlos luego de aplicado los coagulantes. Como resultados se registró la eliminación del 81,59% de coliformes termotolerantes, 25,57% en la DQO, 15,74% en la DBO, mientras que se incrementó en 6,46% la turbiedad y el STS con coagulante natural en 15,32%. Se concluye que el mejor tratamiento de lixiviados se reportó al utilizar la fusión de ambos coagulantes.

Aguilar (2019) evaluó el efecto del polvo elaborado a base de las semillas de *M. oleifera* liofilizada para que remuevan los sólidos totales y la demanda química de oxígeno en los efluentes de curtiembre; realizó la caracterización inicial de dicho efluente reportando resultados que superaron el valor máximo admisible (VMA), empleó el diseño de Plackett-Burman determinando el pH, la concentración de coagulante, la velocidad de agitación lenta, tiempo de agitación lenta, velocidad de agitación rápida y tiempo de agitación rápida; se utilizó 14 tratamientos siendo evaluada la turbidez, sólidos suspendidos y la demanda química de oxígeno. Se registró significancia por remover la turbidez (100%), sólidos totales (25%) y la demanda química de oxígeno (25%). Se concluye que las semillas de *M. oleifera* favorecen en mejorar las características de los efluentes del proceso de remojo de curtiembre.

Álvarez (2019) evaluó la eficiencia del extracto de *M. oleifera* en remover la turbidez del efluente de la producción de néctar de maracuyá. Utilizó como factores la turbidez del efluente (101, 170, 335, 500 y 568 NTU) y dosis de extracto de *M. oleifera* (134.4, 180, 290, 400, 445.6 mg/L) y evaluaron el porcentaje de remoción de la turbidez y los parámetros fisicoquímicos. Los tratamientos de 335 NTU y 290 mg/L redujeron la turbidez al 92,25%, el color en 71,57% y la conductividad en 2,43 mS/cm, mientras que en el tratamiento 500 NTU y 400 mg/L, redujeron la turbidez en 94,16%, el pH no se modificó significativamente, el color en 79,80% y la conductividad en 2,96 mS/cm.

2.2.3. Locales

No se reportó estudios sobre el uso de semillas de *M. oleifera* en remover propiedades de efluentes, pero hubo otras especies empleadas como *Aloe vera* (Sábila) ejecutado por Ruiz (2022) y *Trimfetta rhomboidea* por parte de Espiritu (2024).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación de la zona de estudio

Para el presente trabajo de investigación, los lixiviados fueron colectados de la Celda transitoria ubicado en el caserío Santa Rosa de Shapajilla y trasladados al Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ambos ubicados políticamente en el distrito de Rupa Rupa, Provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Con coordenadas UTM: E: 390283 m y N: 8970639 m.

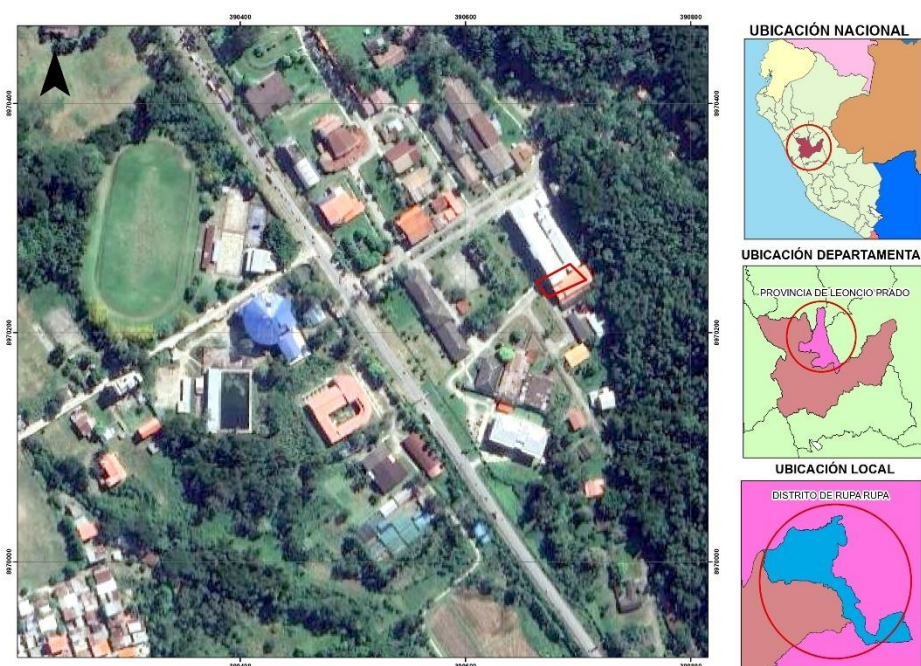


Figura 4. Ubicación política del lugar de ejecución.

3.1.2. Clima

El distrito de Rupa Rupa se encuentra aproximada a 663 msnm. Es de clima cálido y excesivamente lluvioso, con una temperatura promedio anual de 25° C, siendo la temperatura máxima 30,5° C y la mínima 18,5° C; tiene una humedad relativa de 78,5%, siendo la máxima 80% y la mínima 77,5% y precipitación anual de 3 352,9 mm.

3.1.3. Características de la celda

La celda transitoria de Rupa Rupa se encuentra localizada en el sector Shapajilla del distrito de Luyando, dio inicios a su operación el 21 de julio del año 2021, abarca un área de 10 000 m² y cuenta con una poza donde se recolecta, así como almacena los lixiviados que es el resultado de los 65 a 70 tn diarias de residuos sólidos.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales

Lixiviados, libreta de apuntes, guantes quirúrgicos, gorras desechables, mascarilla, probeta de 1000 ml, vasos precipitados de 500ml, embudo de vidrio, papel filtro, semilla de *M. oleifera*, mortero, tamizador, agua destilada, envases de polipropileno, software Microsoft Word y Excel, libreta de campo y útiles de escritorio en general.

3.2.2. Equipos

Balanza digital, conductímetro, turbidímetro, estufa, batidor eléctrico de 1800 rpm, termómetro digital, laptop Toshiba Intel(R) Core (TM) i5 y cámara digital.

3.3. Metodología

3.3.1. Descripción del lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado

3.3.1.1. Recolección de lixiviados de residuos sólidos

La celda transitoria para la disposición final de los residuos sólidos tiene un sistema de recolección de lixiviados mediante el cual, los lixiviados fluyen por gravedad hasta una poza de recolección, que tiene una profundidad aproximada de 4 m, donde se extrajeron muestras simples de tres puntos de por lo menos 4 litros para formar una muestra compuesta de 20 litros de lixiviado tal como se observa en la Figura 5, las mismas que fueron homogenizadas para los análisis de laboratorio. La recolección se realizó a 1 metro de la superficie.



Figura 5. Recolección de lixiviados mediante el muestreo compuesto.

El lixiviado extraído fue caracterizado en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva tal como se muestra en la Figura 6, con los parámetros fisicoquímicos como: temperatura, potencial Hidrógeno, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno y turbidez; siendo estos dos últimos analizados en un laboratorio.



Figura 6. Análisis de lixiviado (Temperatura, pH, conductividad eléctrica y SDT).

3.3.1.2. Procesamiento de la semilla de *M. oleifera*

Se utilizó 1 000 g de semillas de *M. oleifera*, que fue secada a 60°C en una estufa por un periodo de 24 horas, seguidamente se realizó el descascarado de las semillas de manera manual, luego se molió con el mortero hasta obtener partículas como se observa en la Figura 7, posteriormente se tamizó en una malla de 250 μm para obtener partículas finas, y se almacenó el polvo de la semilla en un recipiente seco.

Para extraer el aceite de la semilla se mezcló 100 g de polvo de semilla de moringa en 400 ml de etanol, se homogenizó la solución por 5 minutos con un agitador a 280 rpm y se filtró. Se repitió el procedimiento por 5 veces para la buena extracción del aceite, la muestra ya filtrada se secó por 24 h a temperatura ambiente en una estufa, obteniendo las partículas finas desengrasadas (Arias-Hoyos et al., 2017).



Figura 7. Molienda del polvo de semillas de *M. oleifera*.

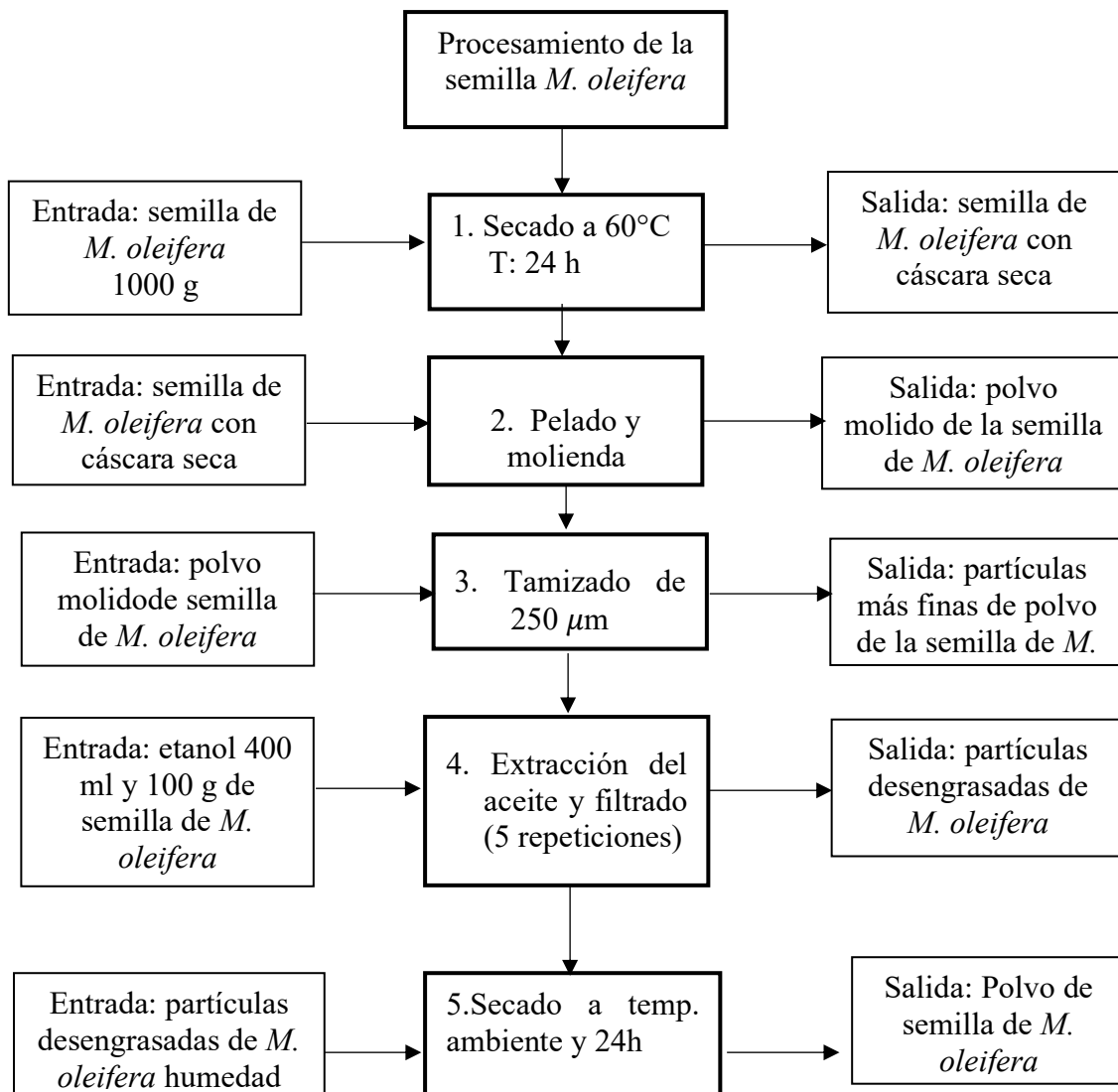


Figura 8. Flujograma de obtención del polvo de *M. oleifera* y extracción de aceite.

3.3.2. Determinación del efecto en la DQO, conductividad y turbidez del lixiviado de residuos sólidos de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado por aplicación de las semillas de *Moringa oleifera* en un reactor tipo batch a escala de laboratorio

En un reactor discontinuo con agitación denominado batch como se representa en la Figura 9, se realizó el tratamiento de 500 ml de lixiviado, modificando el medio en ácido añadiendo 8 gotas de solución de ácido sulfúrico a 0.1 M y básico añadiendo 3 gotas de solución de hidróxido de sodio a 0.5 M obteniendo valores de pH aproximados de 4 a 6 y 8 a 10 respectivamente, también se le añadió distintas cantidades de partículas finas desengrasadas de *M. oleifera* en concentraciones de 25g, 50g y 100 g, la agitación del reactor fue de 1800 rpm con un tiempo de agitación de 15 min, luego de transcurrido 1 hora de sedimentado, finalmente se procedió a filtrar la muestra obtenida para su respectiva lectura de los valores correspondientes al análisis de DQO, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y turbidez. La demanda química de oxígeno (DQO) y la turbidez se determinó con los respectivos protocolos de preservación y transporte de la muestra. La conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales se determinó mediante el uso de un multiparámetro.

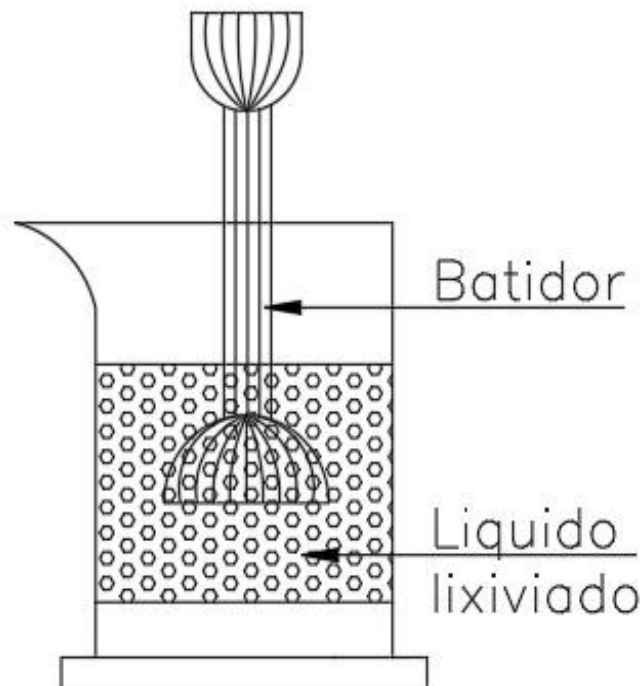


Figura 9. Reactor discontinuo con agitación tipo batch.

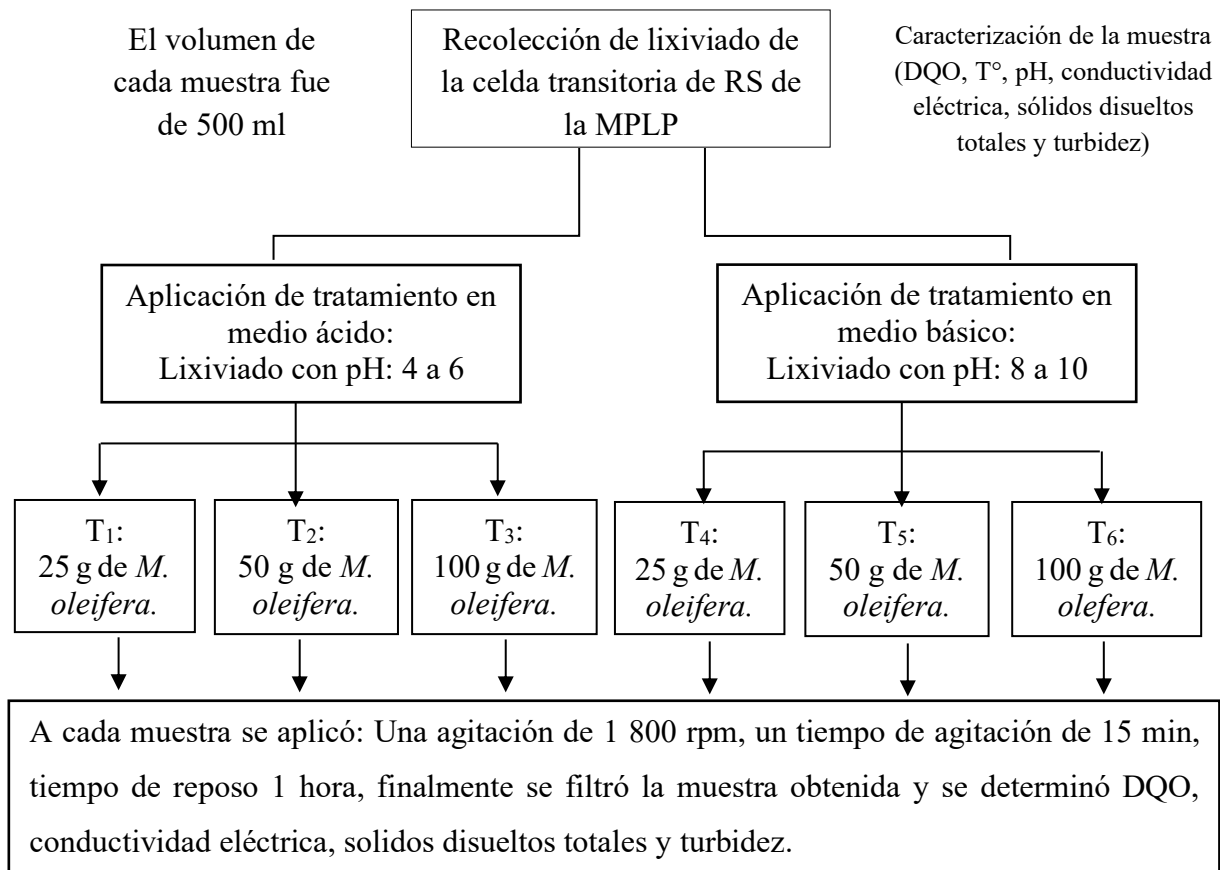


Figura 10. Flujograma de la aplicación de los tratamientos con *M. oleifera* a las muestras de lixiviado.

3.3.3. Determinación de la eficiencia del uso de semillas de *M. oleifera* en la depuración del lixiviado de residuos sólidos en un reactor tipo batch a escala de laboratorio

Para determinar la eficiencia se aplicó las siguientes ecuaciones:

- a) Eficiencia en la remoción de demanda química de oxígeno

$$\text{Porcentaje de eficiencia (DQO)} = \frac{DQO_{\text{inicial}} - DQO_{\text{final}}}{DQO_{\text{inicial}}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

- b) Eficiencia en la remoción de conductividad eléctrica

$$\text{Porcentaje de eficiencia (CE)} = \frac{CE_{\text{inicial}} - CE_{\text{final}}}{CE_{\text{inicial}}} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

- c) Eficiencia en la remoción de turbidez

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

3.4. Criterios de estudio

3.4.1. Nivel de investigación

Tiene nivel explicativo por la descripción de conceptos, fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, es una investigación que busca responder las causas de los eventos y fenómenos físicos. Se concentró en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué situaciones se manifiesta (Hernández et al., 2014).

3.4.2. Tipo de investigación

Es aplicativo, porque tuvo como objetivo solucionar problemas prácticos para satisfacer las necesidades de la sociedad. Asimismo, estudia hechos o fenómenos de posible beneficio. La presente es una investigación que utiliza conocimientos alcanzados en las investigaciones básicas, pero no se limita a utilizar estos conocimientos, sino busca nuevos conocimientos especiales de posibles aplicaciones prácticas. Estudia problemas de interés social (Gomero y Moreno, 1997).

3.4.3. Variables de investigación

3.4.3.1. Variables independientes

- Semillas de *M. oleifera*

Dimensiones:

- Concentración de partículas finas desengrasadas de semilla de *M. oleifera* (%p/v)

3.4.3.2. Variable dependiente

- Lixiviados de residuos sólidos
- El pH del lixiviado

Dimensiones:

- Eficiencia de remoción de DQO, conductividad eléctrica y turbidez del lixiviado.

Tabla 4. Niveles de las variables.

Variable de investigación	Variables independientes (V _x)	
	D ₁ V _x : Factor (A) Aplicación de SM(p/v)	D ₂ V _x : Factor (B) pH de lixiviado
Lixiviados de residuos sólidos	25 g	4 -6
	50 g	
	100 g	8-10

Tabla 5. Matriz de diseño tipo factorial completo.

Orden del experimento	Factor A Aplicación de SM	Factor B pH de lixiviado
1	A1	B1
2	A2	B1
3	A3	B1
4	A3	B2
5	A2	B2
6	A1	B2

Tabla 6. Niveles para cada parámetro de la investigación.

Factores	Nivel (1)	Nivel (2)	Nivel (3)
A: Aplicación de semillas de <i>M. oleifera</i>	A ₁ : 25 g	A ₂ :50 g	A ₃ :100 g
B: pH del lixiviado	B ₁ : 4- 6	B ₂ : 8-10	

3.4.4. Operacionalización de las variables

Tabla 7. Operacionalización de las variables de la investigación.

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Unidad de medida
Variables independientes:	La semilla de <i>M. oleifera</i> acondicionada en polvo, a un volumen de lixiviado adecuado a dos rangos de pH en un reactor batch, a escala de laboratorio.	Peso de semillas de <i>M. oleifera</i>	Dosis de semilla de <i>M. oleifera</i> por volumen de lixiviado	p/v
Semilla de <i>M. oleifera</i> . Nivel del pH		Valores de pH	pH	0 a 14
Variable dependiente:	Es la determinación de la variación cuantitativa en los valores de la DQO, conductividad eléctrica	Depuración del lixiviado	DQO Conductividad Turbidez	mg/l, % μS/cm, % NTU, %
Depuración del lixiviado de residuos sólidos.	y turbidez producida en los lixiviados después del tratamiento.		pH	Valor de pH

3.4.5. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue experimental, debido a la recolección de datos provenientes de la acción de las semillas de *M. oleifera* entorno a la remoción de la DQO y turbidez de las muestras de lixiviado a analizar, utilizando 3 concentraciones distintas del polvo de las semillas de *M. oleifera*, asimismo realizando la variación del medio en ácido y base. Dentro de la tipificación de los diseños experimentales se considera que en el presente estudio se realizó una investigación con diseño experimental de tipo experimento puro, debido a que se cumplió con los tres requisitos básicos como son tener repeticiones, aleatorización debido a los tratamientos fueron sometidos de manera aleatoria a las muestras de lixiviados y finalmente se garantizó el control del experimento con la finalidad de que otros factores no influenciarían en el comportamiento de la variable dependiente.

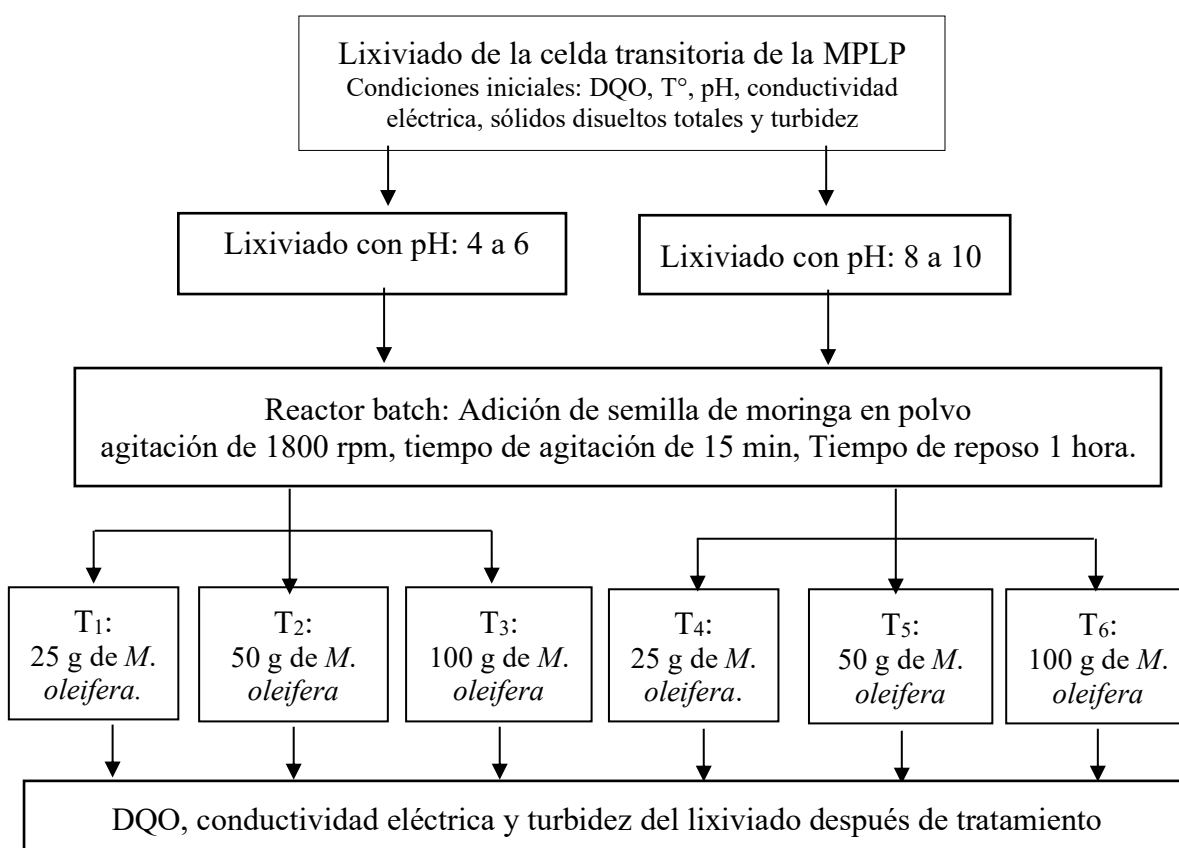


Figura 11. Esquema del procedimiento experimental de la investigación.

3.4.6. Población y muestra

La población de estudio la constituyó, el volumen total de lixiviados generados en las celdas transitorias del relleno sanitario de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado y la muestra fue probabilística al azar, para lo cual se recolectó de forma sistemática un volumen de 20 litros de lixiviado.

3.4.7. Técnicas e instrumentos de investigación

La técnica de muestreo fue un muestreo aleatorio simple, ya que se recolectó un volumen de muestra de lixiviado necesario para la investigación del volumen total del lixiviado existente, utilizando como instrumento de muestreo un contenedor plástico de 4 L de volumen adaptado a una cuerda de 3 m de longitud, utilizado para el muestreo a una profundidad de 1 m.

3.4.8. Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico Infostat con el cual se realizó el análisis de varianza para probar la igualdad de medias entre los tratamientos y la prueba de medias de Tukey para determinar la diferencia entre tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado

Tabla 8. Características del lixiviado obtenido de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	29,03	°C
pH	7,93	
DQO	10 715	mg/L
Sólidos totales	18 790,3	mg/L
Conductividad	29,9	mS/cm
Turbidez	256,9	UNT

De la Tabla 8, se puede observar que el lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, presentó una alta concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos de naturaleza oxidable, como lo evidencia el valor de su DQO, así también tiene un elevado contenido de sólidos totales y una considerable conductividad, que la describe como un fluido cargado de iones, estas características son impartidas por el tipo de material que se degrada para formar el lixiviado. El pH básico, podría deberse a la presencia de compuestos amoniacales o nitrogenados producto del proceso de descomposición de la materia orgánica, asimismo deberse a la aplicación de silicato de calcio que es una sustancia alcalina usada para reducción de olores en las celdas transitorias que tienden a elevar los valores de pH del lixiviado.

Los lixiviados de los vertederos tienen mal olor y un color que va de negro o marrón. Se puede caracterizar a través de parámetros fisicoquímicos y biológicos, como pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Química Demanda de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Amoniacal (NH₃-N), Nitrógeno Kjeldhal Total (TKN), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Suspendidos Volátiles (VSS) y etc. Estas propiedades pueden variar ampliamente con el tiempo a medida que el lixiviado sufre degradación de residuos orgánicos (Fulazzaky, 2013; Ahmed y Lan, 2012).

Considerando lo mencionado por Raghav et al.(2013), referente a la composición química de un lixiviado y descrito por estos investigadores como un fluido de elevada

contaminación, que se produce cuando el agua atraviesa el espesor de residuos sólidos de los rellenos sanitarios, el cual se encuentra concentrado de una amplia gama de compuestos químicos como el NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , metales pesados y sustancias demandantes de oxígeno, que se producen en cantidades variables y que están en función de factores climáticos tales como temperatura, grado de humedad, edad de vertedero y tipo de residuo; en la investigación desarrollada con lixiviados de la celda transitoria de la Municipalidad de Leoncio Prado, se pudo evidenciar el alto grado de contaminación que presentó este fluido, específicamente basado en el valor de la demanda química de oxígeno, el cual es elevado, y dado que este parámetro cuantifica la cantidad de materia orgánica e inorgánica oxidable, podríamos inferir que la materia inorgánica que eleva la DQO se podría deber a la presencia de compuestos nitrogenados, fosfatados y una gama de metales pesados, tal como lo afirman Raghav et al.(2013), cuando describen este fluido.

Haslina et al. (2021) afirman que cuando existe alto contenido de nitrógeno amoniacal en los lixiviados, específicamente cuando se trata de lixiviados generados en vertederos, estos fluidos alcanzan niveles altos de pH, lo cual se considera una ventaja para evitar la proliferación bacteriana ya que a esos valores de pH las condiciones de supervivencia para el desarrollo bacteriano no son favorables. Por lo tanto, inhibe el crecimiento de bacterias para el tratamiento mediante procesos biológicos. Durante la caracterización del lixiviado de la utilizado en la presente investigación, se determinó un pH de 7.93, es decir un medio básico, que se debería principalmente a la aplicación de compuestos alcalinos en la celda transitoria con el fin de controlar el crecimiento bacteriano y como método de control de la contaminación por emisión de gases al entorno, ya que por la edad del vertedero los valores de pH encontrados no se generan por la mineralización de la carga orgánica, condición que se presenta en lixiviados maduros es decir cuando superan los diez años de edad como lo mencionan Mojiri, et al. (2021).

4.2. Determinación del efecto en la DQO, conductividad y turbidez del lixiviado de residuos sólidos de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado por aplicación de las semillas de *Moringa oleifera* en un reactor tipo batch a escala de laboratorio.

Tabla 9. Valores finales de DQO, Conductividad y Turbidez del lixiviado después de la aplicación de las partículas finas de semilla de *M. oleifera* (SM).

Tratamiento	pH	SM (g)	DQO _{Final} (mg/L)	Cond _{Final} (mS/cm)	Turbidez _{Final} (UNT)
T ₁	5,8	25	8 381,27	32,41	320,20
T ₂	5,8	50	7 845,52	33,15	336,85
T ₃	5,8	100	7 554,08	35,36	357,71
T ₄	9,2	25	9 984,24	31,74	286,03
T ₅	9,2	50	9 791,37	33,26	294,25
T ₆	9,2	100	9 521,35	34,86	301,96

En la Tabla 9, se observan los resultados de los tratamientos aplicados, en la cual, de manera general, el pH ácido permitió reducir el valor de la DQO a valores menores que los obtenidos a pH básico, sin embargo, la conductividad resultante en ambos pH tiene una similitud cuantitativa y la turbidez es mayor a pH ácido. Sin embargo, tanto la conductividad como la turbidez aumentan con respecto al valor inicial. Haciendo referencia a la influencia de la concentración de polvo de semilla de *M. oleifera*, mientras mayor es el porcentaje aplicado, más se reduce la DQO y para el caso de la conductividad y turbidez, son valores que se incrementan.

Estos resultados obtenidos demuestran la influencia que tiene el pH de un lixiviado, en el efecto de la semilla de *M. oleifera* como un absorbente, ya que el pH ácido favorece la solubilidad de los compuestos y por ende promueve la ionización de estos, que son adsorbidos por los grupos funcionales que están presentes en las partículas de semilla de *M. oleifera*. El incremento de conductividad se relaciona con el incremento de solubilidad en un medio de pH ácido y la turbidez incrementa por la presencia de partículas de semillas de *M. oleifera*.

Las semillas de *M. oleifera* contienen un polímero catiónico que puede reducir el contenido de materia orgánica, de manera que, si la materia orgánica disuelta tiene carga eléctrica negativa, se van a formar un puente entre estas partículas que permitirá la reducción de la DQO. La disminución de DQO también se debe a las propiedades antimicrobianas que posee la *M. oleifera* semillas, las bacterias gramnegativas y negativas pueden verse fluctuadas por la proteína presente en la *M. oleifera* semilla (Prakash et al., 2014).

Salwa et al, (2021), realizaron una investigación para conocer el efecto de la semilla de *M. oleifera* en la reducción de la DQO de un lixiviado, estos investigadores

mencionan que a condiciones altas de pH se producen reacciones lentas y muy débiles. Así también hacen referencia que, en investigaciones anteriores, se demuestra que el ambiente ácido es adecuado para que se lleve a cabo un proceso de absorción. Para este caso el mejor valor de pH para el proceso de coagulación fue 2, lo que produjo un porcentaje de eliminación de DQO del 57,4%.

Elida et al. (2019), en su estudio de tratamiento de aguas residuales de la industria de café con coagulante de semillas de *M. oleifera*, mencionan que cuando se utilizan las semillas de *M. oleifera* sin pelar, tienen un efecto amortiguador de pH, que no se observa con la utilización de la semilla sin cáscara, estos autores afirman que la fibra de la cáscara ejerce un efecto amortiguador de pH, que evita que la semilla de *M. oleifera* actúe como un coagulante natural.

La semilla de *M. oleifera* de manera natural puede favorecer la disminución del pH del agua como el caso de Elida et al. (2019) quienes trabajaron con agua residual de café y al aplicar la semilla de *M. oleifera* sin corteza, experimentaron una disminución desde 8 a 7.1, a diferencia de la presente investigación que se manejó un pH de 5.8 donde los resultados mostraron mayor eficiencia de remoción de DQO, con un incremento de la conductividad y turbidez, se puede contrastar con lo que afirman Chandra et al. (2008), que mencionan que el proceso de coagulación que usa semillas de *M. oleifera* da poco efecto a la grado de acidez y conductividad.

La eficiencia en cuanto a la reducción de turbidez está en función al tamaño de partícula según Elida et al. (2019), quienes trabajaron con tamaños de malla de 60, 70 y 80 y comprobó que a menor tamaño de partícula, se logra mayor reducción de la turbidez y argumentan que es debido a que se incrementa el espacio de absorción de iones, es importante hacer mención que en esta investigación, no se evaluó el tamaño de partícula, la dispersión del polvo de semillas de *M. oleifera* mostró mayor estabilidad a pH de 5,8, condición que podría asociarse a la solubilidad de las semillas de *M. oleifera*.

4.3. Determinación de la eficiencia del uso de semillas de *M. oleifera* en la depuración del lixiviado de residuos sólidos en un reactor tipo Batch a escala de laboratorio

Tabla 10. Porcentaje de depuración de DQO y variación de conductividad y turbidez del lixiviado después de la aplicación de las partículas finas de semilla de *M. oleifera* (SM).

Tratamiento	pH	SM (g)	DQO (%)	Cond (%)	Turbidez (%)
T ₁	5,8	25	21,78	-8,40	-24,64
T ₂	5,8	50	26,78	-10,86	-31,12
T ₃	5,8	100	29,50	-18,26	-39,24
T ₄	9,2	25	6,82	-6,14	-11,34
T ₅	9,2	50	8,62	-11,24	-14,54
T ₆	9,2	100	11,14	-16,58	-17,54

En la Tabla 10, se presentan los porcentajes de eficiencia evaluados para cada parámetro, donde la DQO del lixiviado a un pH de 5,8 y con la aplicación de 100 g de polvo de semillas de *M. oleifera* fue el tratamiento de mayor eficiencia para la remoción de DQO y para los casos de la conductividad y la turbidez, los valores negativos, significan que no se presentó una reducción respecto al valor inicial, por el contrario, los valores después de los tratamientos incrementaron. También se observa que a pH básico la eficiencia en reducción de DQO es muy pobre.

Oliveira et al. (2016) investigaron el efecto en la depuración de lixiviados utilizando *M. oleifera* y *Abelmoschus esculentus*, a nivel de laboratorio. Entre los resultados afirman que el extracto de *M. oleifera* favorece el aumento de la DQO y DBO₅, sin embargo, la filtración del extracto de *M. oleifera* presentó excelentes resultados de depuración referente a la remoción de color, turbidez, conductividad, sólidos, DQO y DBO₅: 92%, 85%, 64%, 90%, 82% y 89,85%, respectivamente. El tratamiento del lixiviado con Okra no resultó en cambio de pH pero sí en la eliminación de los parámetros tales como: color, turbidez, sólidos, conductividad, DQO y DBO₅ (72%, 35%, 87%, 20%, 78% y 72%, respectivamente). Estos investigadores desarrollaron su investigación, con un lixiviado con pH de 7.89 y el tiempo de contacto para su evaluación, fue de 8 días, donde se pudo evidenciar que las semillas de *M. oleifera*, a diferencia de los otros extractos, no varía significativamente el pH, Tomando como referencia los resultados de remoción de DQO de la presente investigación, vemos que la eficiencia es baja, pero es importante tener en cuenta que los procesos son distintos en cuanto a tiempo de contacto y también al valor de pH, donde en medio ácido se obtuvo mayor remoción de DQO.

El valor del pH es un parámetro muy importante para determinar la capacidad de adsorción debido a que afecta la solubilidad y grado de ionización del adsorbato (Adelaja et al. 2011).

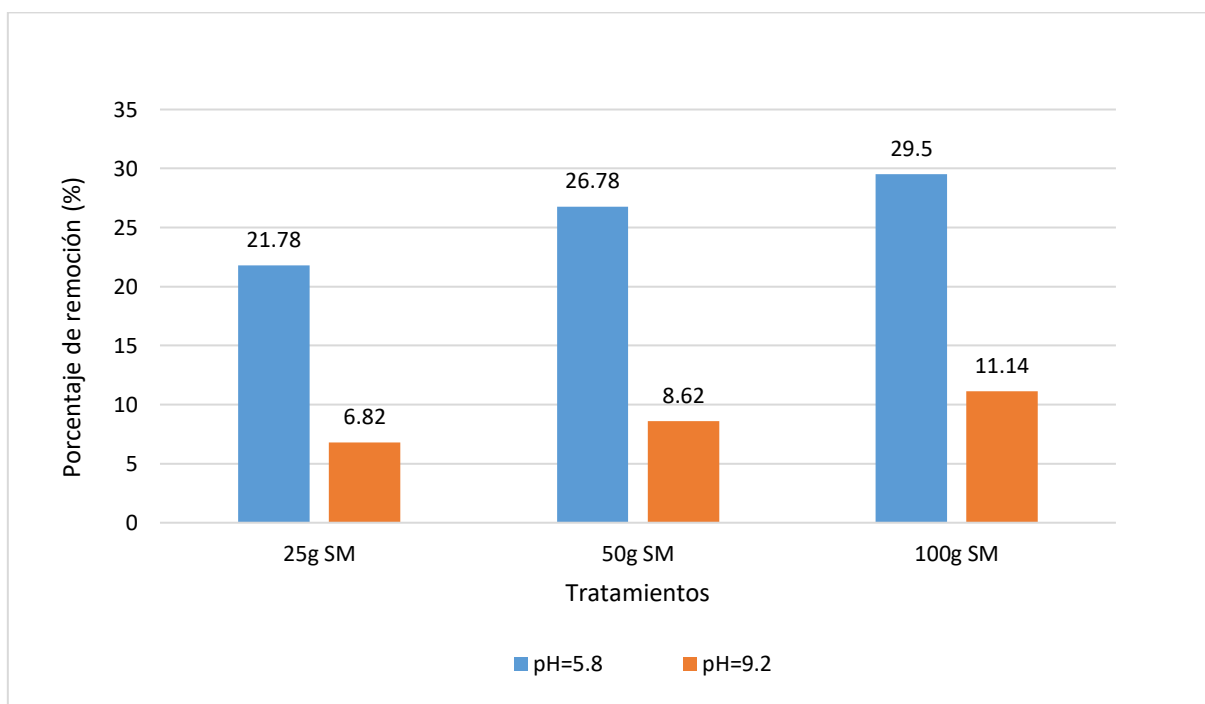


Figura 12. Porcentaje de depuración de DQO del lixiviado a diferentes pH y porcentajes de semillas de *M. oleifera*.

En la Figura 12, se observa la diferencia entre las eficiencias a diferentes pH, donde la mayor eficiencia se alcanza con un valor de 5,8 y el incremento del porcentaje de remoción de DQO es directamente proporcional al porcentaje de polvo de semillas de *M. oleifera* aplicado.

A pH bajo, los iones de hidrógeno en la mezcla evitan que los iones se adhieran a los sitios de unión de adsorbentes. Cuando el pH es alto, un lixiviado es básico y en contacto con los aminoácidos presentes en la proteína de *M. oleifera* acepta un protón de un lixiviado y libera más grupos hidroxilo y el pH se hace más básico; como resultado, los iones no se adhieren a los sitios de unión de los adsorbentes. Sin embargo, entre el valor de pH 6 y 8, más iones pueden adherirse a los sitios de unión de adsorbentes debido a naturaleza neutra del lixiviado. Por lo tanto, un valor de pH óptimo que lleva a un porcentaje máximo de eliminación de DQO y TDS se encontró que era 7, con valores de 84,5% y 82,5%, respectivamente, para una concentración de 100 mg/ L y 68,5% y 63,5%, respectivamente, para una concentración de 75 mg/L (Sivakumar, 2013).

Las proteínas hidrosolubles cargadas positivamente en una forma de polvo de un grano de semilla de *M. oleifera* actúa como imanes y atraen predominantemente las partículas con carga negativa en una solución acuosa para formar flóculos sedimentables, lo que lleva a la eliminación máxima por *M. oleifera* (Matthew et al., 2011).

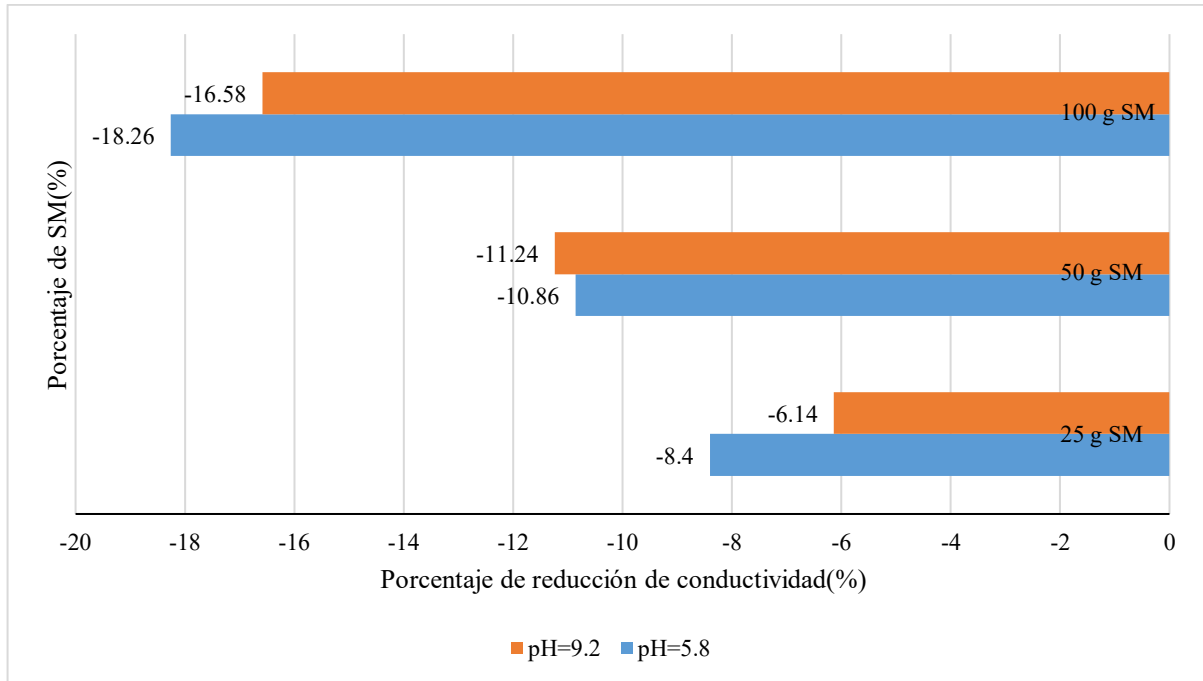


Figura 13. Porcentaje de variación de la conductividad del lixiviado a diferentes pH y porcentajes de semillas de *M. oleifera*.

En la Figura 13, se puede comparar el efecto sobre la conductividad en los tratamientos, donde los valores negativos indican que no hay reducción de los valores de conductividad con respecto al valor inicial, por tanto, la conductividad final es mayor que la inicial, con lo cual se concluye que hubo mayor el efecto a pH ácido, a excepción de la conductividad con 50 g de polvo de semilla de *M. oleifera*, donde la conductividad es mayor a pH básico.

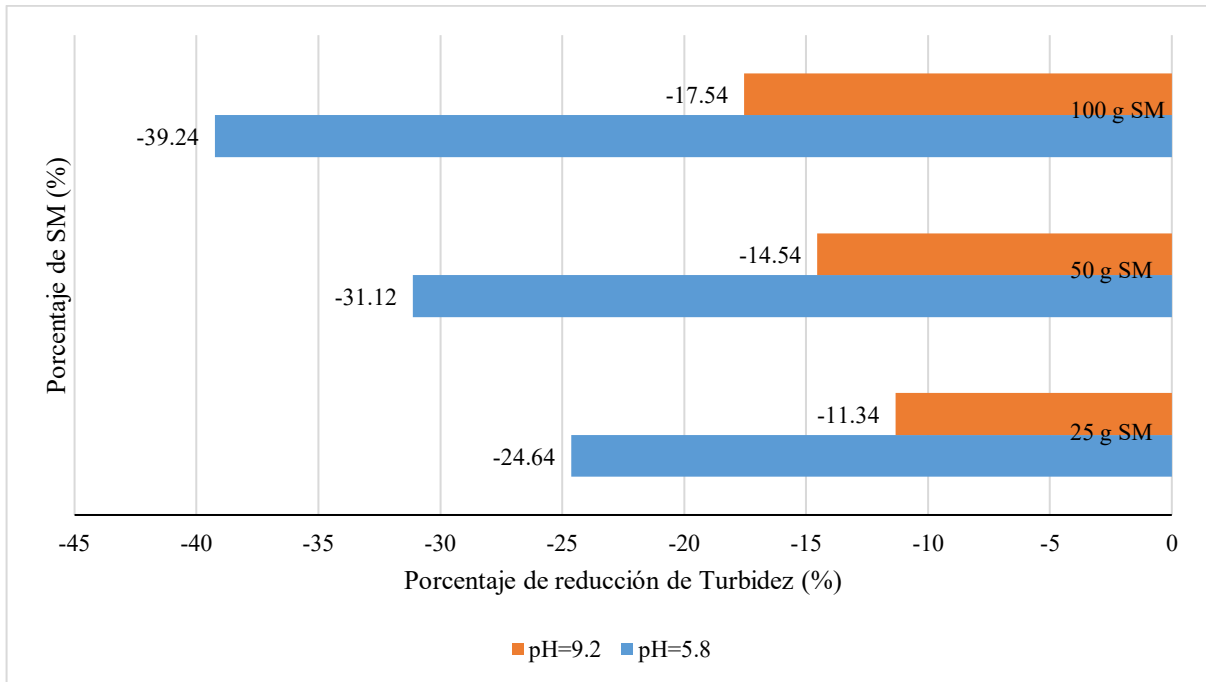


Figura 14. Porcentaje de variación de turbidez del lixiviado a diferentes pH y porcentajes de semillas de *M. oleifera*.

En la Figura 14, los valores negativos de porcentaje de reducción de turbidez indican que la turbidez final lograda con los tratamientos aplicados es mayor que la inicial, mostrando valores mayores a pH ácido que son directamente proporcional al porcentaje de polvo de semilla de *M. oleifera*.

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico aplicado, el que consistió en un análisis de varianza y una prueba de Tukey (Ver anexo B), se comprobó, que tanto las concentraciones como las eficiencias al final de los tratamientos aplicados, tanto para los pH evaluados como los porcentajes de polvo de semillas de *M. oleifera*, son significativamente diferentes con un intervalo de confianza del 95%.

V. CONCLUSIONES

1. El lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado se caracteriza por tener 29,03 °C, 7,93 de pH, 10 715 mg/l de DQO, 18 790,3 mg/l de sólidos totales, 29,9 mS/cm de conductividad y 256,9 UNT de turbidez.
2. El uso de la mayor cantidad del polvo de semillas de *M. oleifera* afectó de manera significativa sobre la mayor remoción de DQO en el lixiviado en un pH ácido. Además, la conductividad y la turbidez se incrementan significativamente en el lixiviado tanto en medio ácido como básico, con la aplicación del polvo de semilla de *M. oleifera*.
3. La eficiencia de depuración del lixiviado en función a la DQO es directamente proporcional al porcentaje de semilla de *M. oleifera* utilizado.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar una investigación, para evaluar el efecto de la remoción de DQO a diferentes tiempos de contacto entre el lixiviado y las semillas de *M. oleifera*.
2. Realizar una investigación para evaluar la influencia del tamaño de partícula del polvo de semillas de *M. oleifera* en la depuración de un lixiviado.
3. Mejorar la técnica de filtrado en una investigación similar, considerando que es importante mantener una continuidad en el proceso de depuración.
4. Realizar una investigación, alterna que considere un proceso continuo, para comparar eficiencias y aplicación de una corriente de retorno para incrementar las eficiencias, si fuese necesario.
5. Realizar enclavamiento del lixiviado previo a ser sometidas a las partículas en polvo de semillas de *M. oleifera* con fines de lograr mayor eficiencia en la depuración.
6. Proponer otro medio de mejores características en la cual se pruebe el efecto de las partículas en polvo de semillas de *M. oleifera*.
7. Realizar una investigación para determinar la influencia de las fracciones de los aceites y grasas en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de lixiviados de residuos sólidos.
8. Realizar una investigación sobre la remoción de aceites y grasas como pretratamiento para optimizar los procesos biológicos de depuración de aguas residuales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelaja, O., Amoo I., & Aderibigbe, A. (2011). Biosorption of Lead (II) ions from aqueous solution using *Moringa oleifera* pods. *Archives Appl Sci Res.*, 3(6), 50-60.
- Aguilar, F. Y. (2019). *Moringa oleifera* lam liofilizada como agente coagulante en la remoción de sólidos totales y demanda química de oxígeno en efluente de curtiembre [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21742?locale-attribute=es>
- Ahmed, F. N., & Lan, C. Q. (2012). Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination*, 287, 41-54.
- Alvarez, E. (2019). *Extracto de moringa (Moringa oleifera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuya* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional LAMOLINA. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3923>
- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA] y Water Pollution Control Federation [WPCF]. (1992). *Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Arias-Hoyos, Hernández-Medina, A., Castro-Valencia J., Sánchez-Peña N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la *M. Oleifera* como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(spe), 29-39. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(EdiciónEspecial\)29-39](https://doi.org/10.18684/BSAA(EdiciónEspecial)29-39)
- Cao, H. T., Khue, D. N., Nguyen, N. T., Anh, P. N., Vu, H. H., & Nguyen, H. T. (2021). Insight into removal TOC and NH₄⁺ from mature landfill leachate using coupled bio-coagulation from *Moringa oleifera* seeds and ZVI/H₂O₂ process. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102112. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102112>.
- Chandra, R., Bharagavaand, R. N., & Rai, V. (2008) Melaniodine as major colourantinsugarance molasses-based distillery effluent and its degradation. *Bioresource Technology*, 99(11), 4648- 4660.
- Chango, M. L., y Ruiz, K. I. (2020). *Aplicación de la Moringa oleifera como biocoagulante en dos plantas de tratamiento de aguas domésticas en Samborondón 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio institucional UAGRARIA. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CHANGO%20ALDAS%20MARIA%20LAURA.pdf>

- Christensen, T., Kjeldsen, P., Bjerg, P., Jensen, D., Christensen, J., Baun, A., Albrechtsen, H., y Heron, G. (2001). Biogeoquímica de las plumas de lixiviados de vertederos. *Geoquímica aplicada*, 16, 659-718.
- Cortés, A. (2014). *Evaluación del desempeño de humedales construidos subsuperficial de flujo horizontal sembrados con especies nativas tropicales para la eliminación de Cr (VI) y Cd (II) de lixiviado de relleno sanitario* [Tesis de maestría, Universidad del Valle]. Repositorio institucional UNIVALLE. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/e1b87311-2c5a-4f7c-9419-1fef184fcb17>
- Das, J., Mondal, A., Biswas, S., Nag, S. (2022). The eco-friendly treatment of rubber industry effluent by using adsorbent derived from *Moringa oleifera* bark and *Pseudomonas sp.* cultured from effluent. *Water Sci Technol.*, 86(11), 2808-2819. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2022.387>
- Defensoría del Pueblo. (2019). *¿Dónde va nuestra basura? Recomendaciones para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales, Lima, Perú.*
- Ding, A., Zhang, Z., Fu, J., y Cheng, L. (2001). Control biológico de lixiviados de vertederos. *Chemosphere*, 44, 1-8.
- Elida, N., Wahyuningsih, S., Andiananta, H., Dreifyana, W., & Akhmad, F. (2019). Moringa Seeds (*Moringa olifera L.*) Application as Natural Coagulant in Coffee Wastewater Treatment. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 347, 012019. doi:10.1088/1755-1315/347/1/012019.
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2007). *Acid rain: What is pH.* EPA. <http://www.epa.gov/acidrain/measure/ph.html>.
- Espiritu, Y. N. (2024). *Remoción de turbiedad del agua para consumo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, usando el mucilago de Trimfetta rhomboidea Jacq como floculante, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/f068d18c-72b9-4fa1-bb23-671194fea88a>
- Foo, K., y Hameed, B. (2009). Una descripción general del tratamiento de lixiviados de vertederos mediante carbón activado proceso de adsorción. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 54-60.
- Fulazzaky, M. A. (2013). Measurement of biochemical oxygen demand of the leachates. *Env. Monitor. and Assess.*, 185, 4721-4734.

- Guaman, C., y Sanchez, T. (2018). *Efectividad de las soluciones coagulantes a partir de la semilla de Moringa oleifera en tratamiento de aguas residuales urbanas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
- Haslina, H., Ruwaida, J., Dewika, M., Rashid, M., Halim, A., Ali, M., Khairunnisa, M. P., Afiq, M., & Azmi, D. (2021). Landfill Leachate Treatment Methods and Its Potential for Ammonia Removal and Recovery - A Review, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 1051 012064, doi:10.1088/1757-899X/1051/1/012064.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). Mcgraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Lei, Y., Shen, Z., huang, R., y Wang, W. (2007). Tratamiento de lixiviados de vertedero por biorreactor combinado de residuos envejecidos y electro oxidación. *Investigación del agua*, 41, 2417-2426.
- Matthew, C., Chukwuka, I., Ikechukwu, N., Chinenye, A., & Okechukwu, D. (2011). Factorial optimization and kinetics of coal washery effluent coag-flocculation by *Moringa oleifera* seed. *Biomass Adv Chem Eng Sci.*, 1, 125-132
- Oliveira, Z., Lyra, M., Arruda, A, Silva, A., Nascimento, J., & Ferreira, S. (2016). Efficiency in the Treatment of Landfill Leachate Using Natural Coagulants from the Seeds of *Moringa oleifera* Lam and *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Okra). *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21, 9721-9752.
- Prakash, N., Sockan, V., Jayakaran, P. (2014). Wastewater treatment by coagulation an flocculation. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 3(2), 479-484.
- Raghab, S. M., El Meguid, A. M. A., Hegazi, H. A. (2013). Treatment of leachate from municipal solid waste landfill. *HBRC J.*, 9, 187-192.
- Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., y Moulin, P. (2008). Lixiviados de relleno sanitario tratamiento: Revisión y oportunidad. *Revista de materiales peligrosos*, 150, 468-493.
- Robles, C. A. (2023). *Tratamiento de lixiviados con semillas y carbón activado de Moringa oleifera en el relleno Sanitario de Uchuypampa, Ayacucho 2023* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112068>

- Rondón, M., Díaz, Y., Rodríguez, S., Guerra, B., Fernández, E., y Tabio, D. (2017). Empleo de semillas de *Moringa oleifera* en el tratamiento de residuales líquidos. *SciELO*, XXXVIII(2), 87-101. <https://doi.org/1815-591X>.
- Ruiz, E. L. (2022). *Modelamiento a partir de superficie de respuesta en la optimización de la remoción de turbidez del agua a nivel de laboratorio – UNAS, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/c059c684-1503-4abf-a0ea-36e9bdf05049>
- Salwa, M. Z., Amirah, A. S. N., Mahyun, A., Hassan, W., Norsyazwani, Z., & Mohamed, C. (2021). Removal of COD from landfill leachate using *Moringa oleifera*, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 646 012019, doi:10.1088/1755-1315/646/1/012019.
- Sandoval, M. M., y Laines, J. R. (2013). *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93-101.
- Schmidt, D. (1998). *La ingeniería de reacciones químicas*. Oxford University Press.
- Sivakumar, D. (2013). Adsorption study on municipal solid waste leachate using *Moringa oleifera* seed. *J. Environ. Sci. Technol.*, 10,113-124. DOI 10.1007/s13762-012-0089-8.
- Torres, P., Rodríguez, J. A., Barba, L. E., Morán, A., y Narváez, J. (2005). Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB. *Ingeniería y Desarrollo*, 1(18), 50-60.
- Vera-Zelada, P., Martínez-Sovero, G., Vera-Zelada, L. A., Minchán-Sapo, J. R., y Pastor-Collantes, D. B. (2023). Efecto del polvo de semilla de *Moringa oleifera* sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca, Perú. *Revista Amazónica De Ciencias Ambientales Y Ecológicas*, 2(2), e510. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i2.510>
- Ziyang, L., Youcai, Z., Tao, Y., Yu, S., Huili, C., Nanwen, Z., & Renhua, H. (2009). Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages. *Science of The Total Environment*, 407(10), 3385-3391. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2009.01.028>.
- Mojiri, A., Zhou, J. L., Ratnaweera, H., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T., & Asakura, H. (2021). Treatment of landfill leachate with different techniques: an overview. *Water Reuse*, 11(1), 66-96.

ANEXOS

ANEXO A. Datos experimentales de la investigación

Tabla 11. Efecto del tiempo de aplicación de polvo de semillas de moringa en 500 ml de lixiviado.

Tratamiento	pH	SM (g)	DQO _{Final} (mg/L)	Cond _{Final} (mS/cm)	Turb, _{Final} (UNT)	DQO (%)	Cond (%)	Turbidez (%)
1	5,8	25	8304,13	32,83	329,35	22,5	9,8	28,2
	5,8	25	8379,13	32,50	322,67	21,8	8,7	25,6
	5,8	25	8293,41	32,26	315,73	22,6	7,9	22,9
	5,8	25	8475,57	32,11	318,81	20,9	7,4	24,1
	5,8	25	8454,14	32,35	314,45	21,1	8,2	22,4
Promedio 1	5,8	25	8381,27	32,41	320,20	21,78	8,40	24,64
2	5,8	50	7864,81	33,52	340,65	26,6	12,1	32,6
	5,8	50	7832,67	33,25	335,25	26,9	11,2	30,5
	5,8	50	7779,09	33,13	338,34	27,4	10,8	31,7
	5,8	50	7961,25	33,01	332,94	25,7	10,4	29,6
	5,8	50	7789,81	32,83	337,05	27,3	9,8	31,2
Promedio 2	5,8	50	7845,52	33,15	336,85	26,78	10,86	31,12
3	5,8	100	7596,94	35,76	364,28	29,1	19,6	41,8
	5,8	100	7446,93	35,43	354,78	30,5	18,5	38,1
	5,8	100	7564,79	35,25	350,93	29,4	17,9	36,6
	5,8	100	7650,51	35,31	359,92	28,6	18,1	40,1
	5,8	100	7511,22	35,04	358,63	29,9	17,2	39,6
Promedio 3	5,8	100	7554,08	35,36	357,71	29,50	18,26	39,24
4	9,2	25	9879,23	31,90	288,50	7,8	6,7	12,3
	9,2	25	10029,24	31,96	286,19	6,4	6,9	11,4
	9,2	25	9943,52	31,63	284,90	7,2	5,8	10,9
	9,2	25	9975,67	31,72	283,10	6,9	6,1	10,2
	9,2	25	10093,53	31,45	287,47	5,8	5,2	11,9
Promedio 4	9,2	25	9984,24	31,74	286,03	6,82	6,14	11,34
5	9,2	50	9707,79	33,73	297,23	9,4	12,8	15,7
	9,2	50	9772,08	33,28	294,15	8,8	11,3	14,5
	9,2	50	9718,51	33,10	292,35	9,3	10,7	13,8
	9,2	50	9922,09	32,77	288,76	7,4	9,6	12,4
	9,2	50	9836,37	33,43	298,77	8,2	11,8	16,3
Promedio 5	9,2	50	9791,37	33,26	294,25	8,62	11,24	14,54
6	9,2	100	9407,77	35,25	304,17	12,2	17,9	18,4
	9,2	100	9450,63	34,56	301,86	11,8	15,6	17,5
	9,2	100	9579,21	34,77	300,32	10,6	16,3	16,9
	9,2	100	9504,21	34,65	306,22	11,3	15,9	19,2
	9,2	100	9664,93	35,04	297,23	9,8	17,2	15,7
Promedio 6	9,2	100	9521,35	34,86	301,96	11,14	16,58	17,54

ANEXO B. Análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software

Infostat

Análisis de la varianza: DQO final (mg/L)

DQO Final

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DQO Final	30	0.99	0.98	1.37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	27447956.25	3	9149318.75	620.27	<0.0001
pH	25355912.03	1	25355912.03	1718.98	<0.0001
%SM	2092044.22	2	1046022.11	70.91	<0.0001
pHx%SM					
Error	383514.73	26	14750.57		
Total	27831470.98	29			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=91.15855

Error: 14750.5666 gl: 26

pH	Medias	n	E.E.
5.8	7926.96	15	31.36 A
9.2	9765.65	15	31.36 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=134.96687

Error: 14750.5666 gl: 26

%SM	Medias	n	E.E.
20	8537.71	10	38.41 A
10	8818.45	10	38.41 B
5	9182.76	10	38.41 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Conductividad Final

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad Final	30	0.95	0.94	0.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	47.99	3	16.00	152.30	<0.0001
pH	0.95	1	0.95	9.05	0.0058
%SM	47.04	2	23.52	223.93	<0.0001
Error	2.73	26	0.11		
Total	50.72	29			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.24324

Error: 0.1050 gl: 26

pH	Medias	n	E.E.
9.2	33.28	15	0.08 A
5.8	33.64	15	0.08 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.36014

Error: 0.1050 gl: 26

%SM	Medias	n	E.E.
5	32.07	10	0.10 A
10	33.21	10	0.10 B
20	35.11	10	0.10 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Turbidez Final

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbidez Final	30	0.95	0.94	1.96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18207.57	3	6069.19	157.27	<0.0001
pH	14632.86	1	14632.86	379.18	<0.0001
%SM	3574.71	2	1787.36	46.32	<0.0001
Error	1003.37	26	38.59		
Total	19210.94	29			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.66269

Error: 38.5910 gl: 26

pH	Medias	n	E.E.
9.2	294.08	15	1.60 A
5.8	338.25	15	1.60 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.90345

Error: 38.5910 gl: 26

%SM	Medias	n	E.E.
5	303.12	10	1.96 A
10	315.55	10	1.96 B
20	329.83	10	1.96 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

%eficiencia remoción DQO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%eficiencia remoción DQO	30	0.99	0.98	6.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2390.71	3	796.90	620.27	<0.0001
pH	2208.49	1	2208.49	1718.98	<0.0001
%SM	182.22	2	91.11	70.91	<0.0001
Error	33.40	26	1.28		
Total	2424.11	29			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.85076*Error: 1.2848 gl: 26*

pH	Medias	n	E.E.
9.2	8.86	15	0.29 A
5.8	26.02	15	0.29 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.25961***Error: 1.2848 gl: 26*

%SM	Medias	n	E.E.
5	14.30	10	0.36 A
10	17.70	10	0.36 B
20	20.32	10	0.36 C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***% eficiencia Cond.**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% eficiencia Cond.	30	0.95	0.94	9.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	536.85	3	178.95	153.35	<0.0001
pH	10.56	1	10.56	9.05	0.0058
%SM	526.29	2	263.15	225.50	<0.0001
Error	30.34	26	1.17		
Total	567.19	29			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.81081*Error: 1.1669 gl: 26*

pH	Medias	n	E.E.
5.8	-12.51	15	0.28 A
9.2	-11.32	15	0.28 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.20046

Error: 1.1669 gl: 26

%SM	Medias	n	E.E.
20	-17.42	10	0.34 A
10	-11.05	10	0.34 B
5	-7.27	10	0.34 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

% eficiencia Turbidez

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% eficiencia Turbidez	30	0.95	0.94	10.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2758.74	3	919.58	157.24	<0.0001
pH	2217.08	1	2217.08	379.09	<0.0001
%SM	541.66	2	270.83	46.31	<0.0001
Error	152.06	26	5.85		
Total	2910.80	29			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.81515

Error: 5.8484 gl: 26

pH	Medias	n	E.E.
5.8	-31.67	15	0.62 A
9.2	-14.47	15	0.62 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.68746

Error: 5.8484 gl: 26

%SM	Medias	n	E.E.
20	-28.39	10	0.76 A
10	-22.83	10	0.76 B
5	-17.99	10	0.76 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO C. Imágenes de la investigación



Figura 15. Primer punto de la toma de muestra simple de lixiviado



Figura 16. Segundo punto de la toma de muestra simple de lixiviado



Figura 17. Tercer punto de la toma de muestra simple de lixiviado



Figura 18. Medición de los parámetros fisicoquímicos del lixiviado



Figura 19. Semilla de moringa fresca y luego de ser deshidratado en la estufa



Figura 20. Preparación del polvo de semillas de moringa



Figura 21. Sistema experimental para la aplicación del polvo de semillas de moringa al lixiviado

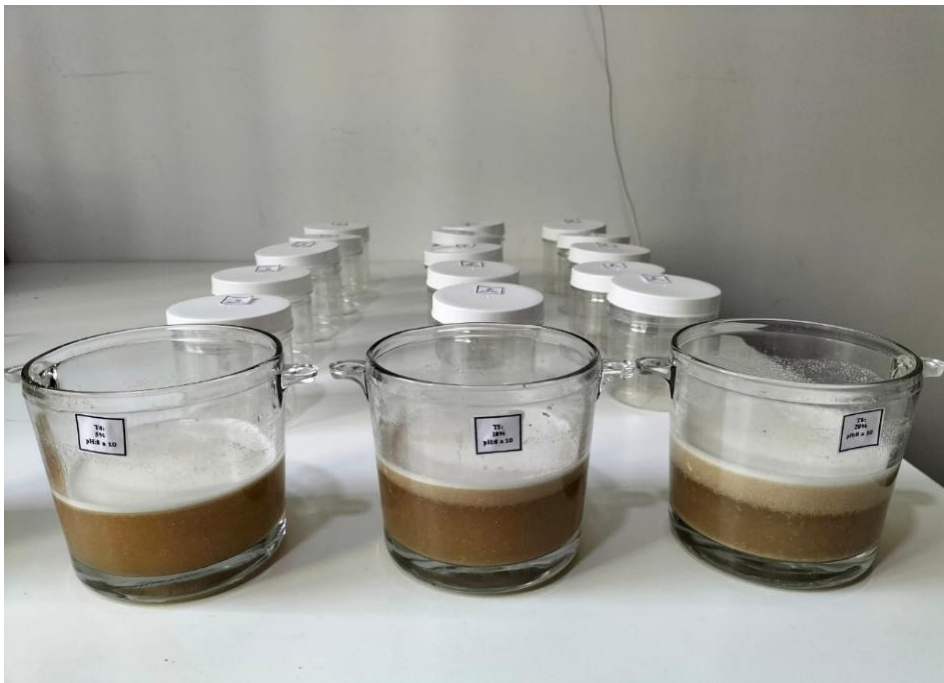


Figura 22. Muestra de lixiviado con las distintas concentraciones de semilla en polvo para cada tratamiento



Figura 23. Aplicación de tratamientos según los objetivos de la investigación

ANEXO D. Resultados de los análisis de laboratorio



CENASIN E.I.R.L.
CENTRO DE ENTRENAMIENTO Y ASESORAMIENTO EN INVESTIGACION

ANALISIS DE LABORATORIO

I. INFORMACION DE LA MUESTRA

MUESTRA: Lixiviado de residuos sólidos

PROCEDENCIA: Celda transitoria de Municipalidad Leoncio Prado- Tingo María -Huánuco

FINALIDAD DEL ANALISIS: Investigación

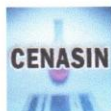
ANALISIS SOLICITADOS: Demanda Química de Oxígeno, Conductividad y Turbidez

N° DE MUESTRAS: 30 VOLUMEN DE MUESTRA: 200 mL RECEPCIÓN: 06-06-23

II. SOLICITANTE: MARISELA PUJAY ALBORNOZ

III. RESULTADOS DEL ANALISIS

Muestra	Código de muestra	DQO (mg/L)	COND (mS/cm)	TURB. (UNT)
1	T1R1	8304.13	32.83	329.35
2	T1R2	8379.13	32.50	322.67
3	T1R3	8293.41	32.26	315.73
4	T1R4	8475.57	32.11	318.81
5	T1R5	8454.14	32.35	314.45
6	T2R1	7864.81	33.52	340.65
7	T2R2	7832.67	33.25	335.25
8	T2R3	7779.09	33.13	338.34
9	T2R4	7961.25	33.01	332.94
10	T2R5	7789.81	32.83	337.05
11	T3R1	7596.94	35.76	364.28
12	T3R2	7446.93	35.43	354.78
13	T3R3	7564.79	35.25	350.93
14	T3R4	7650.51	35.31	359.92
15	T3R5	7511.22	35.04	358.63
16	T4R1	9879.23	31.90	288.50
17	T4R2	10029.24	31.96	286.19
18	T4R3	9943.52	31.63	284.90
19	T4R4	9975.67	31.72	283.10



CENASIN E.I.R.L.

CENTRO DE ENTRENAMIENTO Y ASESORAMIENTO EN INVESTIGACION

Muestra	Código de muestra	DQO (mg/L)	COND (mS/cm)	TURB. (UNT)
20	T4R5	10093.53	31.45	287.47
21	T5R1	9707.79	33.73	297.23
22	T5R2	9772.08	33.28	294.15
23	T5R3	9718.51	33.10	292.35
24	T5R4	9922.09	32.77	288.76
25	T5R5	9836.37	33.43	298.77
26	T6R1	9407.77	35.25	304.17
27	T6R2	9450.63	34.56	301.86
28	T6R3	9579.21	34.77	300.32
29	T6R4	9504.21	34.65	306.22
30	T6R5	9664.93	35.04	297.23

IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Análisis de DQO : Método de Reflujo cerrado
 Medición de Conductividad : Método Electrométrico
 Medición de Turbidez : Método Nefelométrico

Lima, 20 de junio de 2023


 José Práxedes Salazar
 Ing. QUÍMICO
 R.C.P. 64040