

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



**EFFECTO DEL POLVO DE SEMILLAS DE *Moringa oleifera* (MORINGA) Y LA
FOTOOXIDACIÓN EN LA DEPURACIÓN DE UN LIXIVIADO DE RESIDUOS
SÓLIDOS ORGÁNICOS A ESCALA DE LABORATORIO**

Tesis

para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

HUILLCAS SULLCARAY SAUL

Asesor

Dr. PAREDES SALAZAR JOSÉ LUIS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Paredes', is written over a faint rectangular stamp.

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°127-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 23 de octubre de 2025, a horas 10:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EFECTO DEL POLVO DE SEMILLAS DE *Moringa oleífera* (MORINGA) Y LA FOTOOXIDACIÓN EN LA DEPURACIÓN DE UN LIXIVIADO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A ESCALA DE LABORATORIO”

Presentado por el Bachiller: **HUILLCAS SULLCARAY, SAUL** 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, el 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, 18 de noviembre de 2025

Ing. MSc. **ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ**
PRESIDENTE

Ing. MSc. **SANDRA L. ZAVALA GUERRERO**
MIEMBRO



Ing. MSc. **PATRICIA PILAR ROMERO USHUÑAHUA**
MIEMBRO

Dr. **JOSE LUIS FAREDES 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° 432 - 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% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Table with 2 columns: Tipo de documento, Tipo de documento. Row 1: Tesis, X, Trabajo de Suficiencia Profesional

Table with 4 columns: TÍTULO, AUTOR, SIMILITUD, CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Row 1: EFECTO DEL POLVO DE SEMILLAS DE Moringa oleifera (MORINGA) Y LA FOTOOXIDACIÓN EN LA DEPURACIÓN DE UN LIXIVIADO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A ESCALA DE LABORATORIO, HUILLCAS SULLCARAY SAUL, 07 % Siete, 0 % Cero

Tingo María, 30 de diciembre de 2025.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTIFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

DEDICATORIA

A mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con todos mis proyectos que planeo.

A mi hermana Mayor que ha sido como una segunda madre y quien fue ella la que me impulso a estudiar una carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Agradezco a mi Asesor de Tesis Dr. José Luis Paredes Salazar por haberme brindando la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así también por la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de mi Tesis.

A los miembros de jurado por la revisión del trabajo y sus aportaciones para mejorar este proyecto de Tesis.

A mi Padres por su apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación académica.

A la UNAS por haberme formado y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo y a todas las personas que me apoyaron y confiaron en la realización de esta 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	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Residuos Orgánicos	5
2.3. Definición de Lixiviados	6
2.4. Composición de los lixiviados.....	6
2.5. DQO	7
2.6. DBO	8
2.7. pH del lixiviado	8
2.8. Procesos de Oxidación avanzada.....	8
2.9. Luz ultravioleta.....	9
2.10. La <i>Moringa oleífera</i>	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1. Lugar de ejecución.....	13
3.1.1. Características climáticas.....	13
3.2. Materiales y Equipos.	14
3.2.1. Materiales..	14
3.2.2. Equipos.	14
3.2.3. Insumos.....	14
3.2.4. Software.....	14
3.3. Metodología.....	14

3.3.1. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de <i>Moringa Oleífera</i> , a tres tiempos diferentes a escala de laboratorio.	14
Muestra y segregación de residuos sólidos domiciliarios	15
Obtención de lixiviados	15
Determinación del pH.....	16
Determinación de la DBO ₅	16
Determinación de la medición de ST	16
Determinación de la Demanda Química de Oxígeno	16
Preparación del polvo de semillas de <i>Moringa Oleífera</i>	17
3.3.2. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación de una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.	18
Aplicación de la luz UV	18
3.3.3. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de <i>Moringa oleífera</i> y una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio	19
3.4.Criterios de estudio.....	20
3.4.1. Nivel de investigación	20
3.4.2. Tipo de investigación	20
3.4.3. Método de investigación.....	20
3.4.4. Diseño de investigación.....	21
3.4.5. Variables de investigación.....	21
3.4.6. Análisis estadístico	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1.Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de <i>Moringa oleífera</i> (moringa) a tres tiempos diferentes a escala de laboratorio.....	23

4.2.Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación de una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.	28
4.3.Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de <i>Moringa oleifera</i> (moringa) y una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.	30
V. CONCLUSIONES.....	34
VI. PROPUESTAS A FUTURO	35
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
VIII. ANEXOS	43
8.1. Datos experimentales de la investigación.....	43
8.2. Análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software Infostat	44
8.3. Imágenes de la investigación	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Principales características de los lixiviados jóvenes y viejos en un relleno sanitario.	7
2. Niveles de las variables	21
3. Matriz de diseño tipo factorial completo 3^2	22
4. Niveles para cada parámetro de la investigación	22
5. Caracterización del lixiviado obtenido con el lisímetro	24
6. Porcentaje de remoción de DQO en el lixiviado por contacto con las semillas de <i>Moringa oleífera</i> (moringa).....	25
7. Porcentaje de remoción de DQO en el lixiviado por exposición a fotooxidación con radiación UV	28
8. Porcentaje de remoción de DQO en el lixiviado por exposición a fotooxidación con radiación UV y Polvo de Semillas de Moringa (PSM).	31
9. Efecto del tiempo de aplicación de polvo de semillas de <i>Moringa oleífera</i> (moringa) en 500 ml de lixiviado.....	43
10. Efecto del tiempo de aplicación de fotooxidación con radiación UV en 500 ml de lixiviado.....	43
11. Efecto del tiempo de aplicación de polvo de semillas de <i>Moringa oleífera</i> (moringa) y fotooxidación con radiación UV en 500 ml de lixiviado.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Rango de longitudes de onda.....	10
2. Descripción de las partes de la planta <i>Moringa oleífera</i>	12
3. Composición de las partes de la <i>Moringa oleífera</i>	12
4. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.....	13
5. Estructura del prototipo de lisímetro.....	15
6. Esquema experimental para aplicación del polvo de semillas de <i>M. oleífera</i>	18
7. Esquema experimental para aplicación de la fotooxidación del lixiviado.....	19
8. Esquema experimental para aplicación de la aplicación del polvo de semillas de <i>Moringa oleífera</i> y fotooxidación del lixiviado.....	20
9. Estructura del lisímetro utilizado en la investigación.....	23
10. Remoción de la DQO del lixiviado obtenido a diferentes tiempos de contacto con polvo de semilla de <i>M. oleífera</i> (PSM).....	28
11. Remoción de la DQO del lixiviado obtenido a diferentes tiempos de exposición a la fotooxidación con radiación UV.....	30
12. Remoción de la DQO del lixiviado obtenido a diferentes tiempos de contacto con polvo de semilla de <i>M. oleífera</i> (PSM) y fotooxidación con radiación UV.....	33
13. Recolección y segregación de los residuos sólidos domiciliarios.....	46
14. Lisímetro utilizado para la generación de lixiviados.....	46
15. Carga del lisímetro con residuos sólidos orgánicos.....	47
16. Trituración de semillas de <i>Moringa oleífera</i> utilizadas en la investigación.....	47
17. Torta de la semilla de <i>Moringa oleífera</i>	48
18. Colección de lixiviados generados con el lisímetro.	48
19. Medición de parámetros fisicoquímicos del lixiviado.....	49
20. Medición del oxígeno disuelto para determinar la DBO ₅	49
21. Incubando la muestra por 5 días	50
22. Determinación de la DQO por el método del refluo abierto.	50

23. Evaporando el lixiviado en la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante.....	51
24. Medición en la balanza analítica del polvo de <i>Moringa oleífera</i>	51
25. Aplicación del polvo de <i>Moringa oleífera</i> en el lixiviado para su tratamiento en Test de jarras	52
26. Añadiendo el polvo de <i>Moringa oleífera</i> en el lixiviado para su tratamiento con radiación UV	52
27. Sistema experimental para la aplicación de la fotooxidación del lixiviado con radiación UV	53
28. Filtrado de la muestra a 1.5 horas.....	53
29. Muestra de lixiviado después de los tratamientos con un tiempo de 30 minutos.....	54
30. Muestras de lixiviado después de los tratamientos con un tiempo de 1 hora.....	54
31. Muestras de lixiviado después de los tratamientos con un tiempo de 1.5 horas.....	55

RESUMEN

En la presente investigación, se evaluó la depuración de un lixiviado mediante la aplicación individual e integrada de polvo de semillas de *Moringa oleífera* y de radiación ultravioleta a diferentes tiempos de contacto, durante el año 2025. El lixiviado fue obtenido en un periodo de 60 días, utilizando un lisímetro construido de PVC con una altura de 1 metro y 8 pulgadas de diámetro, el cual fue cargado inicialmente con 10 kg de residuos sólidos orgánicos. Posteriormente se realizó una caracterización fisicoquímica del lixiviado con parámetros básicos entre éstos la DQO inicial. A continuación, se aplicaron los tratamientos con tres tiempos de contacto: 30 minutos, 1 hora y 1.5 horas, a un volumen de lixiviado de 500 mL, después de cada tratamiento se tomó una muestra y se determinó la DQO final, con lo cual se pudo determinar el porcentaje de remoción alcanzado en cada tratamiento. Los resultados demostraron que el mayor porcentaje de remoción de DQO se logró con la aplicación del polvo de semillas de moringa en un tiempo de contacto de 1.5 horas con un valor de 62,77% y el menor porcentaje de remoción fue de 7.8% obtenido con la aplicación integrada de polvo de semillas de moringa y radiación ultravioleta por 30 minutos. El análisis estadístico realizado mediante un test de Tukey con un intervalo de confianza del 95%, demostró que el tratamiento de mayor de eficiencia de remoción difiere significativamente del resto de tratamientos.

Palabras clave: Polvo de semillas de moringa, radiación ultravioleta, lixiviada, DQO, lisímetro.

ABSTRACT

The Effect of *Moringa oleifera* (MORINGA) Seed Powder and Photooxidation on the Depuration of a Leachate from Organic Solid Waste on a Laboratory Scale

In the present research, the depuration of a leachate through the individual and integrated application of *Moringa oleifera* seed powder and from ultraviolet radiation over different contact times was evaluated during the year 2025. The leachate was obtained over a period of sixty days using a lysimeter constructed from PVC with a height of one meter and with eight inches in diameter, which was initially filled with 10 kg of organic solid waste. Later, a physicochemical characterization of the leachate was done with basic parameters, among which was the initial COD (DQO in Spanish). Next, the treatments were applied with for three lengths of contact times: 30 minutes, 1 hour and 1.5 hours, to a leachate volume of 500 mL; after each treatment, a sample was taken and the final COD was determined, from which, the percentage of removal that was achieved could be determined for each treatment. The results demonstrated that the greatest percentage of removal for the COD was achieved with the application of the moringa seed powder for a contact time of 1.5 hours, which had a value of 62.77% and the lowest percentage of removal was 7.8%, obtained from the integrated application of the moringa seed powder and ultraviolet radiation for thirty minutes. The statistical analysis was done using the Tukey test with a confidence interval of 95%, demonstrating that the treatment with the greatest removal efficiency differed significantly from the rest of the treatments.

Keywords: powder from moringa seeds, ultraviolet radiation, leachate, COD (DQO in Spanish), lysimeter

I. INTRODUCCIÓN

La generación de lixiviados tanto de botaderos y rellenos sanitarios de residuos sólidos domiciliarios se ha convertido en un gran reto en cuanto a su manejo y tratamiento, debido a la cantidad que se generan, más aún en zonas tropicales que tienen altos índices de precipitación, donde el volumen de lixiviado incrementa en periodos de lluvia y termina contaminando el suelo y las fuentes de aguas más cercanas. Los lixiviados son residuos líquidos producto de degradación de residuos orgánicos, que, en su trayecto debido a sus condiciones de pH, tiene la capacidad de disolver muchos compuestos iónicos, entre ellos los metales pesados que encuentra, finalmente su concentración variada de naturaleza orgánica e inorgánica lo constituye como un residuo difícil de tratar y a esto se suma la cantidad que se origina en los rellenos sanitarios que juntos complican su manejo y disposición.

Muchas técnicas de depuración que se aplican en algunos casos son inadecuadas, ya que se asocian a la sedimentación de partículas suspendidas con el uso de sales de hierro o de aluminio, las cuales resultan poco eficientes por ser compuestos coagulantes que funcionan bajo parámetros específicos como pH y alcalinidad

Lixiviados, líquidos oscuros altamente contaminantes, representan un aspecto negativo de la operación de los rellenos sanitarios. Se producen principalmente por la degradación de residuos orgánicos e inorgánicos y la percolación del agua de lluvia.

Este proceso implica la lixiviación de contaminantes solubles desde los residuos sólidos a la fase líquida, junto con la descomposición de residuos orgánicos en materias orgánicas solubles, como los ácidos grasos volátiles. La humedad, la acción microbiana y otros factores promueven esta degradación a través de procesos físicos, químicos y biológicos complejos.

Los lixiviados contienen metales pesados, compuestos xenobióticos, altas concentraciones de amonio y otras sustancias tóxicas dañinas para el ambiente y la salud pública. Por lo tanto, el tratamiento de lixiviados es crucial en los rellenos sanitarios, requiriendo técnicas que disminuyan la concentración de contaminantes y reduzcan sus efectos nocivos. Diversas investigaciones resaltan la influencia de la edad del lixiviado en la concentración de contaminantes.

Ante la variada y complicada calidad y cantidad de contaminantes de los lixiviados, se han investigado muchas técnicas para su depuración, buscando una tecnología que sea de bajo costo y también amigable con el medio ambiente, lo que implica utilizar recursos que depuren sin generar productos secundarios riesgosos para el medio ambiente.

Uno de los recursos a los cuales se está investigando por sus propiedades purificadoras del agua por su potencial de coagulación y adicionalmente un gran poder de absorción son las semillas de *Moringa oleífera*, la cual es una semilla que se caracteriza por su alto contenido de proteínas y aceite de excelente calidad.

Las tecnologías para el tratamiento de lixiviados son diversas desde una coagulación-floculación hasta tratamientos avanzados, ellos la fotooxidación mediante aplicación de luz ultravioleta, que tiene como efecto la desnaturalización de muchos contaminantes, disminuyendo significativamente la concentración de contaminantes.

Ante la problemática que representa la generación permanente de lixiviados de residuos sólidos urbanos es necesario investigar y proponer alternativas de tratamiento que contribuyan con la eficiencia de la depuración de lixiviados, ante tal situación y con conocimiento de los recursos existentes, nos planteamos la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto del polvo de semillas de *M. oleífera* y la fotooxidación en la depuración de un lixiviado de residuos sólidos domiciliarios, a escala de laboratorio ?, planteándose la siguiente hipótesis: La aplicación del polvo de semillas de *M. oleífera* incrementa la eficiencia de la fotooxidación en la depuración de un lixiviado de residuos sólidos domiciliarios, a escala de laboratorio – UNAS, 2025.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General:

Evaluar el efecto del polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa) y la fotooxidación en la depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos, a escala de laboratorio – UNAS, 2025.

1.1.2. Objetivos específicos

Determinar la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa), a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.

Determinar la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación de una fotooxidación con radiación UV a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.

Determinar la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa), y una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

La cantidad de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) incrementa debido al desarrollo económico mundial y el aumento de la calidad de vida (Gu et al., 2023). A nivel mundial se genera aproximadamente 11 200 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (UNEP, 2022).

El sector encargado en el tema ambiental en el Perú es el Ministerio del Ambiente (MINAM) y los resultados estadísticos hasta el año 2021 indican que se generan 8.215.355 t de residuos sólidos municipales y solo llegan a rellenos sanitarios formales 5.034.337 t, que representan el 61,28 % del total generado; además, la generación per cápita del país ha ido en aumento en el periodo 2018-2021, de 0,55 a 0,58 kg.persona-1.día-1 (MINAM, 2019). La sobrepoblación y la generación per cápita es un gran peligro, pero los residuos sólidos orgánicos expresan el 57 % del total y se cuenta con gran cantidad de residuos susceptibles a ser tratados y convertidos en productos útiles (MINAM, 2021).

Mahtab et al. (2021), llevaron a cabo un estudio sobre “Optimization of the process variables for landfill leachate Treatment using Fenton based advanced oxidation technique” con la finalidad de evaluar la factibilidad del proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados y explorar el efecto en el pH, el tiempo de reacción y la dosis de los productos químicos que se utilizaron en los mismos. Las muestras que se emplearon fueron lixiviadas del vertedero de Ghazipur en la India, estas fueron tres, las cuales fueron enviadas a un laboratorio para ser categorizadas (pH, nitrógeno total, DQO, TDS y DBO₅) y enfriadas. Luego, se realizó una prueba de jarra para la experimentación, cabe resaltar que esta fue llevada a cabo a temperatura y presión ambiente; por lo cual, primero se hizo una mezcla rápida de dos a tres minutos, seguido de una mezcla lenta, para la reacción adecuada. Asimismo, se permitió que los reactivos reaccionaran por la cantidad de tiempo que se requería para el diseño, después de lo cual una cantidad apropiada de NaOH 0,1 N se añadió a la mezcla de reacción para extinguir los radicales hidroxilos restantes. Los resultados principales fueron los siguientes: las condiciones óptimas para la remoción de DQO del 61% se obtuvieron a pH 3.1, dosis de H₂O₂ de 0.075 mol L⁻¹, dosis de Fe²⁺ de 0.04 mol L⁻¹ y tiempo de reacción de 36 min, cabe resaltar que la dosis de Fe²⁺ aumentó la respuesta hasta cierto punto, la dosis de H₂O₂ incremento el porcentaje de remoción y el tiempo de aplicación tuvo un papel dominante cuando se permitió que la reacción prosiguiera durante periodos más cortos.

López et al. (2022), desarrollaron una investigación cuyo propósito fue evaluar la eficiencia de remoción de turbidez en las aguas residuales, del Instituto Tecnológico Superior (ITS) de Martínez de la Torre, aplicando como coagulante el polvo de la semilla *Moringa oleífera*, el gel del *Aloe vera* y el coagulante químico sulfato de aluminio. La técnica utilizada fue de tipo cuantitativa y con diseño experimental, la muestra estuvo conformada por el agua residual que se obtuvo del Instituto Tecnológico Superior (ITS) de Martínez de la Torre y su método consistió en la aplicación del test de jarras usando los tres coagulantes distintos. Las proporciones fueron de 30%, 60% y 90% m/v; y en el caso de los coagulantes naturales se usó el polvo para la *Moringa* y el gel líquido para el *Aloe vera* durante 15 minutos que fueron acondicionados con 5 minutos a una velocidad de 60 rpm y a 120 rpm para favorecer el crecimiento de flóculos en aproximadamente 10 min en muestras de 1 litro. La caracterización de las aguas residuales mostró resultados como la turbidez fue de 138.16 NTU la conductividad fue de 1729.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH de 7.46, los sólidos Disueltos Totales fue de 821.89 ppm y los Sólidos Sedimentables fue de 0.60 ml, pero luego del tratamiento utilizando los coagulantes hubo variaciones. Concluyeron que la *Moringa oleífera* presentó un resultado favorable del 84%; a comparación del *Aloe Vera* que solo obtuvo un 31% de remoción.

Por otro lado, el estudio de Khattabi et al. (2022), buscó tratar las aguas residuales de la almazara mediante el método de biocoagulación con *Moringa oleífera* y optimizar los principales parámetros de operación de este proceso. La metodología, fue de diseño experimental de nivel explicativo, contando con una muestra de 30L de aguas residuales en cuatro etapas se tomaron del tanque de sedimentación en un recipiente de plástico cerrado y se almacenaron a una temperatura igual a 4 °C. Los resultados indicaron que para un pH igual a 6 y una concentración de 65 g/L, velocidad de agitación de 35 rpm y tiempo de agitación de 25 min, la planta de *Moringa oleífera* es un coagulante natural altamente eficaz logrando una reducción significativa en la DQO (88%), turbidez (96%) y polifenoles (86%) en las aguas residuales. Concluye que la *Moringa oleífera* tiene altos valores de eficiencia en la reducción de turbidez y DQO en aguas residuales destacando la utilidad del método de Superficie de Respuesta (RSM) asociado a un Diseño Central Compuesto (CCD).

Vera et al. (2023) plantearon realizar una evaluación sobre el efecto del polvo de semilla de *Moringa oleífera* sobre la turbidez de las aguas residuales de diferentes pozos de oxidación de la provincia y distrito de Cajamarca en el periodo del 2020. Aplicaron un diseño experimental de nivel explicativo, consistió en la evaluación de siete muestras de agua residual en vasos de precipitados con volumen de 500 mL, inicialmente se caracterizó con los parámetros más importantes y considerados, mezclados con dosis de coagulante (0,5; 0,8; 1 g)

en tres muestras de agua residual con tiempo de evaluación de 10 minutos a 150 y 200 RPM. Demostraron que el uso de 0,8 g de polvo de *Moringa oleífera* logró reducir la turbidez del agua residual en un 77,90% y 77,69%. Además, se observó una alta correlación del 92,30% entre el número de revoluciones aplicadas durante el tratamiento y la disminución de la turbidez del agua residual. Concluyeron que el polvo de *Moringa oleífera* a una dosis de 0,8 g es altamente efectivo para disminuir la turbidez del agua residual.

Se desarrolló un estudio para disminuir la contaminación de las aguas del río Guaranda, las cuales son impactadas por los lixiviados del botadero de Curgua en Ecuador. En esta investigación, realizaron actividades de caracterización de lixiviados, para luego proceder con ensayos a escala de laboratorio. Como etapa final, realizaron el diseño, donde se propuso un tratamiento biológico, en un reactor biológico SBR, así como también todas las operaciones unitarias complementarias como: desarenadores, filtros, tanque de desinfección, sedimentadores (León y Andrade, 2021).

Zafra y Romero (2019), realizaron una investigación basados en la recopilación bibliográfica, para conocer las tendencias en las diferentes tecnologías usadas en el tratamiento de lixiviados en Iberoamérica, según los resultados obtenidos, se identifican seis enfoques principales de depuración en Iberoamérica: en el cual el del tipo biológico representa un 49,5 %, seguido del térmico con 17,0 %, luego por medios naturales 9,80 %, en una similar proporción numérica está el fisicoquímico con 9,60 %, la tecnología de membranas con un 8,90 %, finalmente la recirculación con 5,20 %. También mencionan que según la información recopilada existe un mayor enfoque repetitivo de citación del tipo biológico a nivel Iberoamericano (49,5 %) que a nivel global (34,1 %).

2.2. Residuos Orgánicos

Los residuos orgánicos, elementos esenciales de la fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanas, son determinantes en el ciclo de la vida y en la sostenibilidad medioambiental, abarcando diversos materiales biológicos tales como restos de alimentos, residuos de jardinería o cualquier material de origen vegetal o animal. Resulta importante porque puede ser descompuesto mediante procesos biológicos, de tal manera que puede ser reciclado y reincorporado de manera beneficiosa al medio ambiental (Marín, 2019).

Por consiguiente, desde una visión medioambiental, los residuos orgánicos, muchas veces no son tratados de manera adecuada, y como consecuencia aumenta la contaminación ambiental y la emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el tratar estos residuos de manera adecuada, pueden convertirse en valiosos recursos. El compostaje, por

ejemplo, es un método que aprovecha los residuos orgánicos mediante el proceso de descomposición para producir abono natural, enriqueciendo los minerales del suelo y fomentando buenas prácticas agrícolas (Ossa, Correa, & Múnera, 2020).

2.3. Definición de Lixiviados

Son líquidos originados por la percolación de residuos sólidos en proceso de transformación, en un relleno sanitario o vertedero de basura; su tratamiento es complejo por su composición que es muy tóxica y variable. Los análisis en laboratorio muestran valores altos tanto de Carbón Orgánico Total (COT) como de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) ya que presentan grandes cantidades de material y compuestos orgánicos, sustancias inorgánicas, presencia de nitrógeno como N - NH₃, además poseen grandes concentraciones de cloruros y gran presencia de sólidos disueltos. A sí mismo, los lixiviados se producen por degradación de los residuos sólidos urbanos donde los microorganismos se encargan de descomponer, dicha descomposición produce una disociación de las macromoléculas orgánicas a un estado más sencillo que puedan ser arrastradas por el agua generando los lixiviados y variedad de compuestos de fósforo y nitrógeno que se generan por la mineralización de la materia orgánica (Orihuela, 2023).

Del mismo modo, Jiménez (2021), hace hincapié que la generación de lixiviados se produce por la acumulación de residuos húmedos, siendo más importante la generación de lixiviados cuando hay lluvias, dado que el agua de la lluvia se infiltra en los residuos acumulándose y si la humedad es mayor superando un nivel determinado se denomina capacidad de campo, los residuos también liberan el agua acumulada, llamándose en generación de lixiviados, y precisa que debido a la gravedad se acumulan en el fondo de los vertederos.

En México Nájera(s/d), menciona que en la legislación mexicana se define el lixiviado es un líquido resultante de la reacción, arrastre o filtrado de residuos. Contiene sustancias disueltas o en suspensión que pueden contaminar el suelo y cuerpos de agua, deteriorándolos y representando un riesgo para la salud humana y otros organismos". Los lixiviados generados por los desechos orgánicos domésticos presentan una elevada carga contaminante, caracterizada por altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno amoniacal y sólidos en suspensión. Si estos líquidos no reciben un tratamiento adecuado, representan una amenaza significativa para la calidad de los cuerpos de agua y el suelo.

2.4. Composición de los lixiviados.

Los lixiviado son líquidos generados por residuos y composición de sustancias disueltas o en suspensión, que provienen de fuentes externas como drenaje, lluvia, aguas

subterráneas o descomposición de la basura. Su composición puede variar de acuerdo a muchos factores como el tipo de residuo o de factores ambientales y tecnológicos (Pozo, 2020).

El lixiviado típicamente contiene altos niveles de materia orgánica (relaciones de DOB_5/DQO alrededor de 0.63) y varios metales pesados, con concentraciones que frecuentemente superan los límites regulatorios (Irto et al., 2024; Rashid et al., 2022).

Los valores de pH del lixiviado pueden variar de ácidos a neutros, influyendo en la solubilidad y toxicidad de los metales. La conductividad y los sólidos disueltos totales (TDS) también son indicadores críticos de la calidad del lixiviado (Gomes et al., 2017).

El tratamiento de los lixiviados consiste en realizar procedimientos que tienen como finalidad la remoción de contaminantes antes de su disposición en cuerpo receptor, es por lo cual que se debe conocer las características, la concentración y nivel contaminante de los lixiviados, la composición y especificaciones de estos, a sí como también las características del lugar y la disponibilidad de recursos (físicos y humanos) todo ello es importante para realizar la selección, diseño, dimensionamiento y el aprovechamiento ideal del sistema de tratamiento de los lixiviados (Huaranga, 2023).

Keifer y Effenberger (2020) afirman que, El tiempo es un factor determinante en la composición de los lixiviados, lo que origina su clasificación según su edad. Esta categorización incluye: lixiviados jóvenes (caracterizados por altas concentraciones de contaminantes y excelente biodegradabilidad), lixiviados maduros, y lixiviados viejos (que presentan baja biodegradabilidad). La identificación del tipo de lixiviado se realiza considerando los valores de sus parámetros fisicoquímicos.

Tabla 1. Principales características de los lixiviados jóvenes y viejos en un relleno sanitario.

Tipo de lixiviado	Temprano	Mediano plazo	Antiguo
Edad del vertedero (años)	<5	5	>10
pH	6,5-7,5 (7,0)	7,0-8,0 (7,5)	7,5-8,5 (8)
DQO (g/L)	10-30 (15)	3-10 (5)	<3 (2)
DBO/DQO	0,5-0,7 (0,6)	0,3-0,5 (0,4)	<0,3 (0,2)
NH ⁴⁺ (mg/L)	500-1000(700)	800-2000 (1000)	1000-3000 (2000)
DQO/NH ⁴⁺	5-10 (6)	3-4 (3)	3-4 (3) <3 (1,5)

Fuente: Haslina (2021)

2.5. DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un indicador clave que mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica presente en una muestra de agua residual. Este parámetro es esencial para determinar la carga orgánica total de un cuerpo

de agua, ya que incluye tanto los compuestos biodegradables como los no biodegradables. La DQO mide el potencial de consumo de oxígeno por parte de las sustancias contaminantes, lo que tiene un impacto directo en los ecosistemas acuáticos y su equilibrio biológico (Vitaqua, 2022).

2.6. DBO

Es uno de los parámetros característicos de los lixiviados de vertedero. Es una forma de medir la fuerza de los contaminantes orgánicos en el agua o en aguas residuales. La DQO es un buen indicador de la calidad del agua, ya que, al igual que la DBO, puede medir el efecto que tendrán las aguas residuales vertidas en el medio ambiente receptor (cuerpos de agua). Las pruebas de DQO se utilizan como sustituto de la DBO por el corto tiempo de análisis. El DQO se reduce a medida que el vertedero envejece. Un valor alto de DQO señala gran cantidad de materia orgánica oxidada en la muestra, lo que disminuirá el 33 % de oxígeno disuelto (OD). Una reducción del OD puede generar condiciones anaeróbicas que matan la vida acuática. Por lo cual, el tratamiento de lixiviados se debe realizar para disminuir el riesgo de contaminar las aguas del entorno (Haslina et al., 2021).

2.7. pH del lixiviado

Concentración del Ion Hidrógeno: El agua se ioniza por las sustancias ácidas y básicas disueltas en ella, dando lugar a iones de hidrógeno (H^+) e iones hidroxilo (OH^-). Al haber el mismo número de iones con carga positiva que negativa, la concentración de iones de hidrógeno (H^+) es 0.0000001 veces el peso en gramos de los iones gramo de hidrógeno por litro. Los valores usuales del pH oscilan entre 3.7 y 8.9; el lixiviado joven en proceso tiene un pH de 5.7 a 8.0; 6.4 a 8.0; 6.6 a 8.3 para lixiviados medianos y viejos; el pH de un lixiviado estabilizado es mayor que el de uno joven (Haslina et al., 2021).

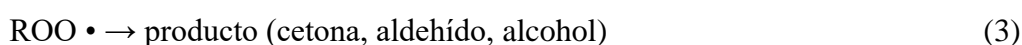
2.8. Procesos de Oxidación avanzada

Entre las diferentes alternativas, los Procesos de Oxidación Avanzada (POA) han probado ser eficientes para la degradación de compuestos orgánicos persistentes en lixiviados (Aranda et al., 2022).

El mecanismo por el cual se desarrollan los POA es mediante la formación y utilización de radicales hidroxilos (OH) los cuales tienen un alto poder oxidante que por diferentes vías crean productos menos contaminantes. Los radicales hidroxilos son altamente reactivos debido a que está constituido por un átomo de hidrógeno enlazado a un átomo de

oxígeno, lo que permite obtener fácilmente átomos de hidrógeno de otras moléculas para luego formar agua (Rodríguez et al., 2020).

Los radicales hidroxilos interactúan con los contaminantes orgánicos por adición o extracción de hidrógeno, para después dar como producto un radical centrado en el carbono que reacciona con el oxígeno para generar radicales peroxilo los cuales reaccionan generando como productos cetonas, aldehídos o alcoholes, como se muestra en las ecuaciones (1), (2) y (3). La eficiencia de las reacciones depende de factores como el método de oxidación utilizado, las características fisicoquímicas del contaminante que se va a remover y por supuesto las condiciones de operación. Una ventaja destacable que tienen este tipo de tratamientos es que el agente oxidante de la reacción se encuentra en la propia naturaleza del agua, ya que, estos agentes pueden ser generados dentro del propio proceso de oxidación, por otro lado, condiciones de operación como presión y temperatura son las ambientales, lo que genera bajos costos de operación en comparación con los métodos de tratamiento convencionales (Deng y Zhao, 2015; Rodríguez et al., 2020).



La generación de $\text{OH}\bullet$ en estos procesos resulta económico para tratar residuos persistentes a los tratamientos convencionales, así que se emplean para la degradación de pesticidas; sin embargo, pueden producir subproductos tóxicos lo cual obliga a llevar el tratamiento hasta una oxidación completa (Baird, 2018; Shaik et al, 2023).

Los POA se puede clasificar en procesos no fotoquímicos que no utilizan la luz para desarrollarse y procesos fotoquímicos que sí necesitan de la luz. Los procesos no fotoquímicos incluyen ionización, ozonización, procesos Fenton, electroquímica y radiólisis, mientras que los procesos fotoquímicos son la fotólisis, uso de peróxido de hidrógeno, ozono con luz UV, foto-Fenton y fotocatalisis heterogénea (Bravo, 2023).

Los procesos fisicoquímicos, incluyendo los procesos de oxidación avanzada (POA), mejoran el tratamiento de lixiviados al convertir contaminantes no biodegradables en compuestos más pequeños y biodegradables (Teng et al., 2021).

2.9. Luz ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es una porción del espectro electromagnético que abarca longitudes de onda desde los 10 nm hasta los 400 nm. Esta radiación posee dos

clasificaciones distintas, cuyos rangos de longitud de onda específicos varían según el campo de estudio o la aplicación. (Mishra, 2020)

La luz UV se genera mediante una lámpara monocromática de arco de mercurio de baja o media presión, contenida en un tubo de cuarzo lleno de argón. El argón minimiza las pérdidas térmicas y extiende la vida útil de los electrodos de tungsteno y metales alcalinotérreos. Al excitarse, el vapor de mercurio emite radiación UV al regresar a un nivel de energía inferior. Para una operación estable, se usan balastos que limitan la corriente y suministran el voltaje adecuado (Martínez y Peper, 2016).

Esta extensión del espectro de longitud de onda abarca cuatro ámbitos diferentes: en primer lugar, el ámbito UV-A (320-400 nm) que es el de mayor longitud de onda y menor energía, y que puede provocar un bronceado de la piel humana; el ámbito UV-B (280-320 nm) que tiene longitudes intermedias de onda y puede provocar el bronceado de la piel, quemaduras solares y cáncer de piel; el ámbito UV-C también conocido como ámbito UV germicida (200-280 nm) que tiene alta energía indicada para la forma de los microorganismos; y, finalmente, el ámbito UV del vacío (100-200 nm) que puede ser absorbido por casi toda clase de sustancias, pero es solo transmisible en vacío. (Delorme et al., 2020; Singh et al., 2020).

La luz ultravioleta (UV) posee un alto efecto germicida debido a su capacidad de inactivar una extensa gama de microorganismos. Este amplio espectro incluye patógenos como organismos de descomposición, tales como bacterias, virus, protozoos, levaduras, mohos y algas. (Souza y Koutchma, 2021).

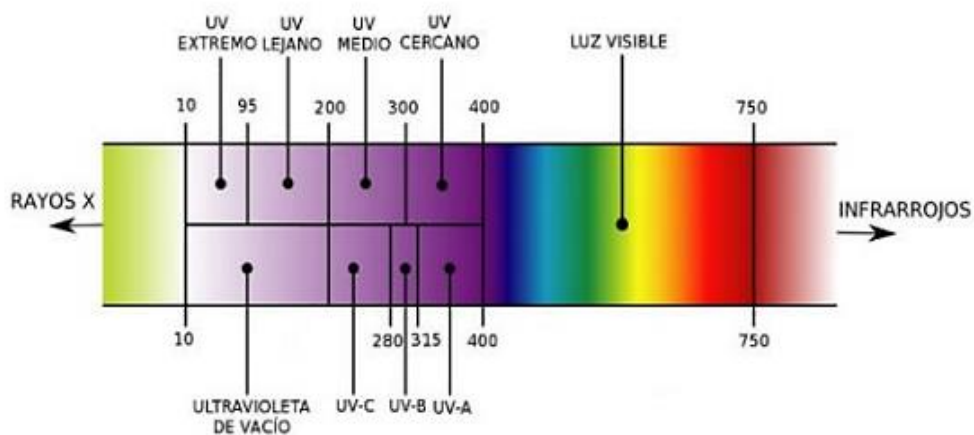


Figura 1. Rango de longitudes de onda.

Fuente: Dominguez, (2011)

La radiación UV-B inactiva microorganismos al crear lesiones en el ADN, mientras que la UV-A y la UV-C emplean un mecanismo de daño oxidativo. Específicamente,

la UV-A y la UV-C generan especies reactivas de oxígeno (ROS) que degradan proteínas, lípidos y ácidos nucleicos; no obstante, el efecto germicida de la UV-A solo se observa con la aplicación de altas dosis. (Koutchma y Popović, 2019).

Las lámparas UV, típicamente tubos de cuarzo de 15-25mm de diámetro y 100-1200mm de longitud, contienen un gas inerte y depósitos de mercurio. La descarga primaria del gas excita y vaporiza el mercurio (VIQUA, 2021)

2.10. La *Moringa oleífera*.

Nacida a los pies del Himalaya, la *Moringa oleífera* es una viajera incansable de la familia de las moringáceas. Este árbol caducifolio ha sabido conquistar los trópicos gracias a su habilidad para echar raíces en todo tipo de suelos. Su presencia ya es habitual mucho más allá de la India, extendiéndose por África, Asia y gran parte del continente americano. (Chana, 2021). Conformado por un único género y 14 especies, este árbol destaca por su vigor. Es capaz de echar raíces en suelos difíciles y secos, creciendo aceleradamente hasta convertirse en un árbol de casi 10 metros de altura en poco tiempo. (Balbinoti et al., 2019). Este árbol se compone de cuatro elementos fundamentales: hojas, flores, frutos y semillas. (De Madeiros, 2023).

Entre las múltiples aplicaciones de la planta, destaca la capacidad de sus semillas para depurar y clarificar aguas turbias. Científicamente, se valora su acción como floculante natural debido a su alta concentración de proteínas catiónicas (alrededor del 40%). Estas proteínas son las responsables de aglutinar la suciedad y las partículas suspendidas en el agua, facilitando su limpieza con una eficacia sorprendente, incluso en dosis bajas (De Madeiros, 2023). Así mismo, Desta y Bote (2021) mencionan que el uso de semillas pulverizadas en el tratamiento de efluentes como coagulante pueden tener lugar en forma doméstica como industrial; además, se han puesto evidencias de que tienen gran capacidad de eliminación de sólidos suspendidos y reducen grandemente la DQO de las aguas residuales textiles (Agarwal et al., 2019).






Hojas	Raíz	Semillas
		
Hojas compuestas, alternas, sin estípulas, caducas, tripinnadas, con folíolos opuestos y enteros. Por lo general, miden entre 25-60 cm.	Raíz pivotante, gruesa y carnosa.	Semillas de color pardo oscuro, carnosas y aladas de 2,5 a 3 mm de largo.
Flores	Vainas	
		
Flores bisexuales, con pétalos blancos y estambres amarillos.	<i>Moringa oleifera</i>	Frutos dehiscentes y lineales, de 20 a 45 cm de longitud, que contienen de 12 a 35 cada uno.

Figura 2. Descripción de las partes de la planta *Moringa oleifera*

Fuente: Chepote Cavero, (2018); Taher et al., (2017); Trigo Guzmán, (2020)

Componente c/100 g peso seco	Hojas	Fruto inmaduro Pericarpo	Semillas
Macronutrientes			
Proteínas (%)	19,0 - 27,1	17,2 - 19,3	32,9 - 38,3
Lípidos (%)	4,7 - 5,0	0,4 - 1,3	30,8 - 44,8
Carbohidratos (%)	27,0 - 51,7	21,0 - 51,0	14,4 - 16,0
Minerales			
Calcio (mg)	1875 - 2079	12,5 - 29,0	76,9
Hierro (mg)	27,8 - 38,0	2,3 - 5,3	13,7
Aminoácidos			
Met + Cys (mg)	140 - 835	90 - 140	-
Lisina (mg)	1406 - 1530	150 - 250	-
Ácidos grasos % respecto total AG			
Ácido oleico %	6,27	18,0	67,9 - 78,0
Otros			
Ácido ascórbico (mg)	18,7 - 140,0	871,0	84,5
Clorofila (mg)	126,8	-	-
Energía (Kcal)	205,0 - 295,6	178,2	564,5
Cenizas (%)	13,2 - 14,6	7,6 - 13,3	4,4 - 5,6
Fibra (%)	7,9 - 19,2	22,6 - 46,8	4,9 - 15,9

Figura 3. Composición de las partes de la *Moringa oleifera*

Fuente: Gonzales (2018)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se realizó en el año 2025 en instalaciones del Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), situado en Tingo María (distrito Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco) a 662 m s.n.m. Sus coordenadas UTM son 390256 Este y 8970849 Norte (ubicación de la institución) y 390312 Este y 8970772 Norte (ubicación del laboratorio).

Cuyas condiciones climáticas del lugar se caracterizan por una temperatura promedio de 24,3°C (oscilando entre 19,2°C y 29,4°C) y una alta pluviosidad de 3300 mm al año. Geográficamente, nos ubicamos en Tingo María (a 660 msnm), un área que pertenece a la formación ecológica de bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT), típica de la región Rupa Rupa o Selva Alta. (Pulgar, 1938).

Ecológicamente, Tingo María se ubica en la formación vegetal de bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT), correspondiente a la región Rupa Rupa o Selva Alta según las regiones naturales del Perú.

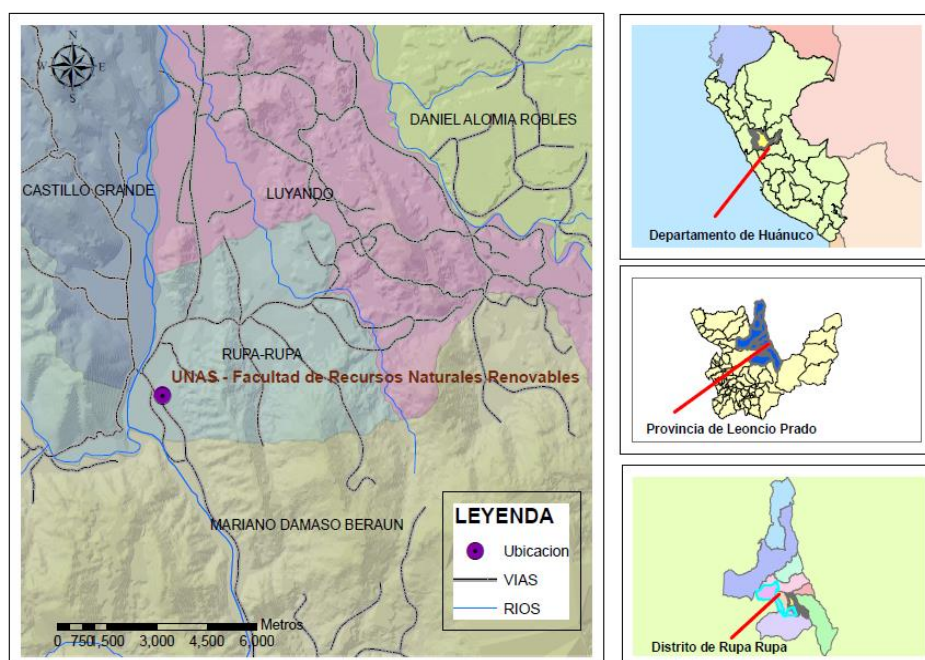


Figura 4. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

3.1.1. Características climáticas

La temperatura máxima del área donde se realizó la investigación es de 32 °C y una mínima de 19,0 °C, así se puede afirmar que la temperatura media anual de 25,4 °C.

Por otro lado, el alto índice de precipitaciones proporciona una humedad relativa media 13 anual de aproximadamente 85%. En cuanto a la precipitación media anual esta tiene un valor de 3,755 milímetros (SENAMHI, 2018).

3.2. Materiales y Equipos.

3.2.1. Materiales

Materiales de vidrio: vasos de precipitación, probetas y fiolas marca pirex, Lisímetro de laboratorio, Envases marca para toma de muestras, Guantes quirúrgicos, Gorros quirúrgicos, Tapaboca, Residuos sólidos domiciliarios, Papel filtro, Cámara de Incubación, Papel filtro, pipetas, Mortero de porcelana, recipiente de plástico

3.2.2. Equipos

Lámpara UV de 240 nm, Balanza Analítica marca Sartorius con 0.001 g de precisión, Equipo multiparamétrico marca Hanna, Test de jarras, Estufa digital marca Memmert.

3.2.3. Insumos

Polvo de semilla de *Moringa oleífera*, Agua destilada, Ácido clorhídrico al 37%, sulfato ferroso amoniacal, ácido sulfúrico, dicromato de potasio, Hidróxido de sodio, sulfato de plata, residuos orgánicos.

3.2.4. Software

InfoStat

3.3. Metodología

3.3.1. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera*, a tres tiempos diferentes a escala de laboratorio.

Para iniciar la investigación, se procedió a generar los lixiviados, utilizando residuos sólidos orgánicos generados en forma propia y se depositaron en un lisímetro construido, tomando como referencia el diseño utilizado por Von Buchwald y Martínez (2018), tal como se muestra a continuación:

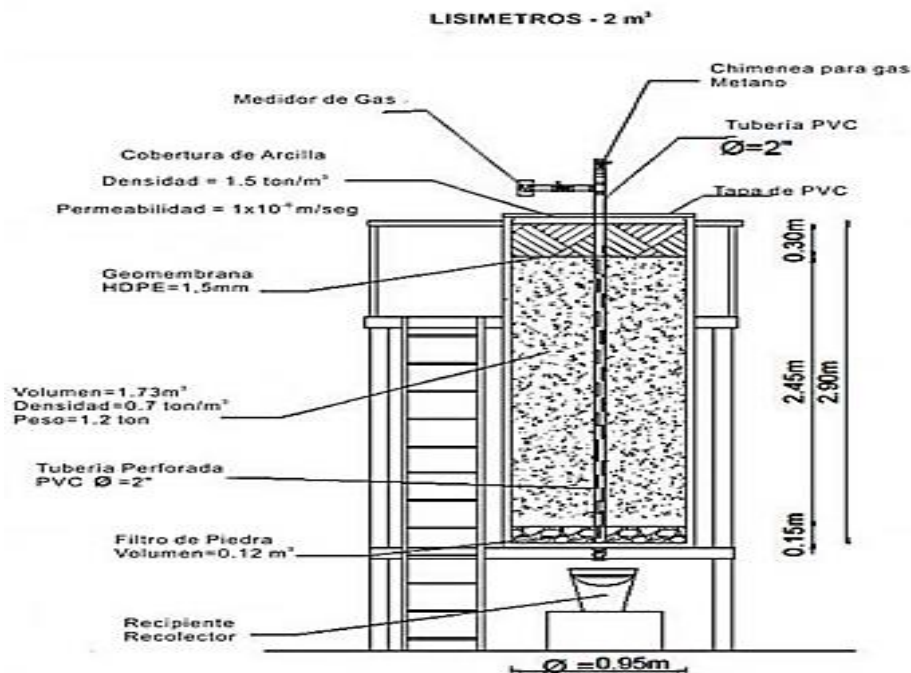


Figura 5. Estructura del prototipo de lisímetro

Fuente: Von Buchwald y Martínez (2018)

El lisímetro es un dispositivo que tiene 2.90 metros de alto y 0.95 metros de ancho, compuesto por una tapa de PVC, cobertura de arcilla, seguido por la geomembrana y teniendo un compartimiento de 1.73 m^3 de volumen donde se colocan los residuos sólidos domiciliarios, seguido por un filtro de piedra de 0.12 m^3 de volumen y finalizando con un tubo perforado que pasa por el centro del lisímetro que tiene como función transportar el lixiviado generado hacia un recipiente recolector.

Muestra y segregación de residuos sólidos domiciliarios

Para la recolección de residuos sólidos domiciliarios se trabajó con una muestra de 1 vivienda conformada de 5 adultos y 1 niño. Posteriormente se segregó en residuos orgánicos e inorgánicos. Para esta investigación solamente se consideró residuos sólidos orgánicos para cargar el lisímetro.

Obtención de lixiviados

Se colectaron 10 kg de residuos sólidos orgánicos en un periodo de 10 días, se procedió a cargar el lisímetro y una vez lleno el lisímetro se agregó periódicamente residuos sólidos orgánicos hasta la generación de 14 litros de lixiviados, en un periodo de 60 días. Se

procedió a caracterizarlos, con los principales parámetros, tales como pH, ST, DBO₅ y DQO, aplicando la metodología utilizada por López et al. (2022).

Determinación del pH

Cuyos valores registrados se obtuvo mediante el uso de un instrumento pH-metro equipado con electrodo de vidrio.

Determinación de la DBO₅

Para la determinación de DBO₅ se trabajó con una muestra de lixiviado donde se incubo durante cinco días a una temperatura constante de 20 °C, pasado los cinco días se procedió con la medición del oxígeno disuelto utilizando el método electrométrico, cabe señalar que esta medición también se realiza antes de la incubación. En la determinación de la DBO₅ en zonas con elevada carga de contaminante como el lixiviado se usó diluciones, por consiguiente, se empleó la fórmula siguiente ecuación:

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = OD_s^i - OD_b^f + \left(\frac{V_b}{V_s} \right) (OD_b^f - OD_s^f) \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

OD_s^i = Concentración inicial de oxígeno disuelto de la muestra en mg/L

OD_s^f = concentración final oxígeno disuelto (mg/L)

OD_b^f = Volumen de la muestra de la botella de dilución

V_s = Cantidad volumétrica de la muestra

V_f = Capacidad volumétrica de la botella de incubación

Determinación de la medición de ST

Se preparó un matraz de Buchner con una bomba de vacío y embudo, se secaron y pesaron papeles filtro, se filtraron 50 mL de lixiviado, y el filtrado se secó y pesó en una placa Petri a una temperatura de a 103 - 105 °C.

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno.

El método de oxidación con dicromato (reflujo abierto) consistió en calentar una muestra con un exceso conocido de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) en ácido sulfúrico (H₂SO₄)

a reflujo abierto por dos horas, oxidando así la materia orgánica. El dicromato amarillo consumido se reemplazó por ión crómico verdoso. Se empleó sulfato de plata (Ag_2SO_4) como catalizador. El dicromato restante se cuantificó mediante valoración titulométrica con sulfato ferroso amoniacal $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ (Ramalho, 2003).

Para el cálculo de la eficiencia de la depuración del lixiviado, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de depuración de lixiviado} = \frac{\text{DQO inicial} - \text{DQO final}}{\text{DQO inicial}} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

Preparación del polvo de semillas de *Moringa oleífera*

Para preparar el polvo de semillas de *Moringa oleífera*, primero se extrajo el aceite de las semillas siguiendo la técnica de Paniagua y Chora (2016), lo que resultó en una torta de semillas. Esta torta se secó y pulverizó para su uso en la investigación. El proceso consistió en retirar la cubierta de 100g de semillas, pesarlas, triturarlas, añadir un 10% de agua, y calentar lentamente a fuego bajo durante 10-14 minutos. Después, la mezcla se tamizó a través de una tela a un recipiente limpio y se dejó reposar toda la noche para separar el aceite del agua. Para recuperar más aceite, el procedimiento se puede repetir con la torta resultante.

Posteriormente, se acondicionó un sistema experimental, este caso se usó el Test de jarras en la cual se colocaron en vasos de precipitación 500ml de lixiviados del lisímetro y se adicionó el polvo de semillas de *M. oleífera*. en cada vaso para obtener una concentración de 100ppm, tomando como referencia la concentración de un catalizador en polvo (Hai et al., 2007) y se procedió a agitar para homogenizar la solución, por periodos de tiempo de 30 minutos, 1 hora y 1.5 horas. Finalmente se procedió a filtrar las muestras de 50 ml y determinar la DQO.

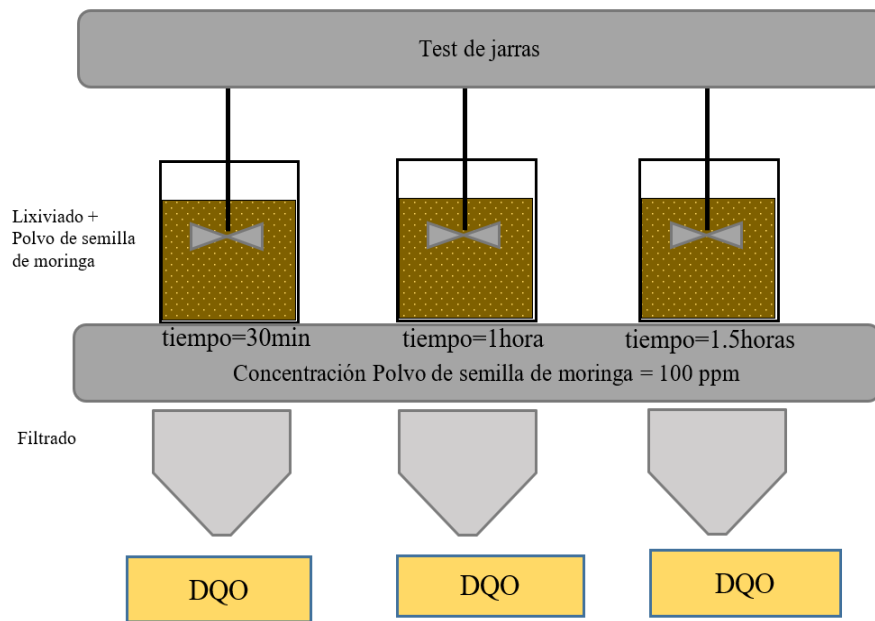


Figura 6. Esquema experimental para aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera*.

3.3.2. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación de una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.

Aplicación de la luz UV

Los lixiviados colectados, se colocaron en vasos de precipitación de 500 ml y luego dispuestos en un cámara con una lámpara UV de longitud de onda de 240 nm y se controlaron los tiempos de exposición de 30 minutos, 1 hora y 1.5 horas. Después de cada tiempo se extrajo 50 ml de muestra en cada tratamiento para determinar la DQO final.

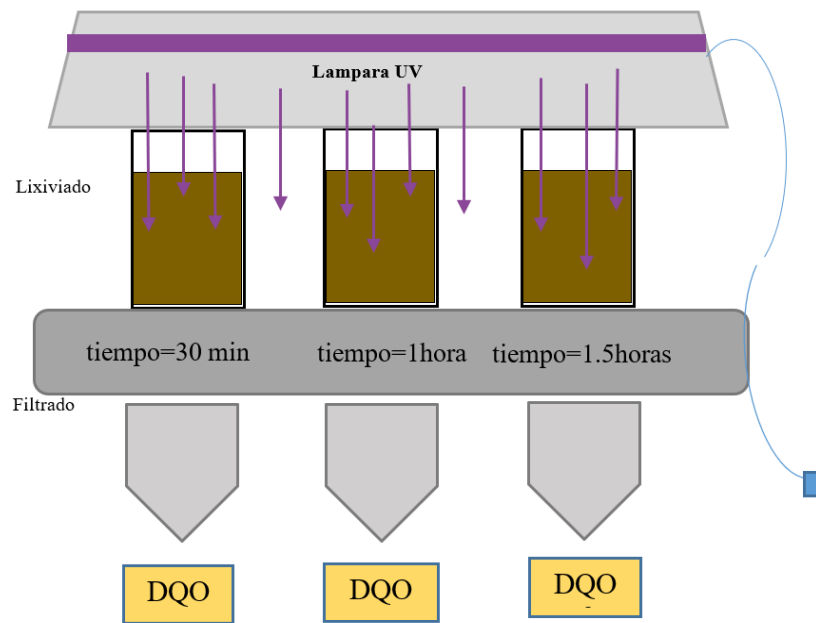


Figura 7. Esquema experimental para aplicación de la fotooxidación del lixiviado.

3.3.3. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera* y una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio

Se acondiciono 500 ml de lixiviado, para ser expuesto al contacto con el polvo de semillas de *M. oleífera* y la fotooxidación con radiación UV con una longitud de onda de 240nm en forma simultánea periodos de tiempo de 30 minutos, 1 hora y 1.5 horas. Al final de cada tratamiento se determinó la DQO de cada muestra de 50 ml de lixiviado filtrado.

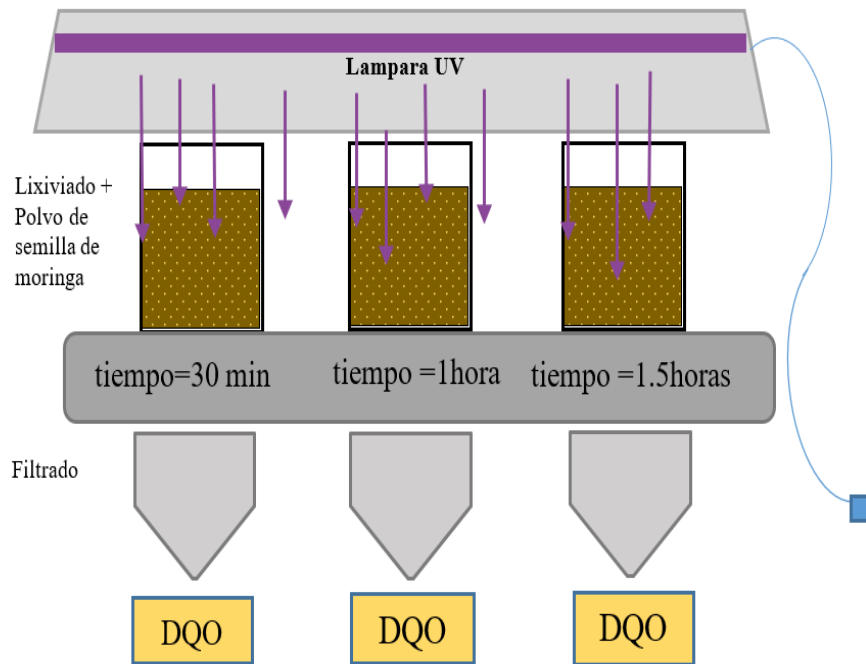


Figura 8. Esquema experimental para aplicación de la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera* y fotooxidación del lixiviado.

3.4. Criterios de estudio

3.4.1. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es explicativo. Esta clasificación se debe a que, siguiendo a Hernández et al. (2010), el estudio se centró en la recolección de datos de las variables para someter a prueba la hipótesis mediante mediciones numéricas.

3.4.2. Tipo de investigación

Aplicativo, buscando la aplicación de conocimientos existentes y la adquisición de nuevos (Hernández et al., 2010).

3.4.3. Método de investigación

Se empleó un enfoque inductivo-analítico. Siguiendo a Hernández et al. (2010), el componente inductivo permitió derivar conclusiones a partir de los hechos observados, mientras que el enfoque analítico fue fundamental para examinar en detalle los resultados obtenidos.

3.4.4. Diseño de investigación

Experimental y factorial, considerando la manipulación de las variables independientes (Hernández et al., 2014).

3.4.5. Variables de investigación

Variables independientes:

- Aplicación del tratamiento al lixiviado: polvo de semillas de *Moringa oleífera* y la fotooxidación al lixiviado.
- El tiempo de aplicación del tratamiento

Variable dependiente:

- La eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos domiciliarios

Dimensiones e indicadores:

- La concentración de la DQO final en cada tratamiento.

Tabla 2. Niveles de las variables

Variable de investigación	Niveles	
	Factor(A)	Factor (B)
La aplicación del tratamiento al lixiviado: el polvo de semillas de <i>Moringa Oleífera</i> y la fotooxidación al lixiviado.	Polvo de Semilla de Moringa (PSM)	30 minutos
	Fotooxidación UV	1 hora
	Polvo de Semilla de Moringa (PSM)+Fotooxidación UV	1.5 horas

Tabla 3. Matriz de diseño tipo factorial completo 3^2

N° experimental	Factor A	Factor B
	Tratamiento	Tiempo de aplicación
1	-1	-1
2	0	-1
3	+1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	+1	0
7	-1	1
8	0	1
9	+1	1

Tabla 4. Niveles para cada parámetro de la investigación

Niveles	Tratamiento aplicado(A)	Tiempo de aplicación (B)
-1	Polvo de Semillas de Moringa (PSM)	30 minutos
0	Fotooxidación UV	1 hora
+1	Polvo Semilla de Moringa (PSM)+ Fotooxidación UV	1.5 horas

3.4.6. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con software infoStat y prueba de tukey para comparar los tratamientos de depuración del lixiviado mediante fotooxidación y polvo de semillas de *M. oleífera*, aplicados individualmente y en conjunto.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de las eficiencias de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de *Moringa Oleífera* (moringa), a tres tiempos diferentes a escala de laboratorio

El lisímetro utilizado en la investigación fue adaptado para su uso a una escala de laboratorio que consta de un tubo PVC de 8 pulgadas de diámetro, altura de 1 metro, compuesto por ambos extremos tapas de PVC y que por el medio se encuentra un tubo de 2 pulgadas con agujeros en la parte interna que sirven para el paso de gases y adicionalmente una base y recipiente para la recolección del lixiviado. Esto significa que el equipo, permitió cargar fácilmente los residuos sólidos y generar la retención de calor necesario para la biodegradación del material orgánico, así mismo la generación y recojo de los lixiviados y el escape de los gases formados. Durante el período de biodegradación la fase inicial fue un poco lenta, pero posteriormente se produjo la aceleración de la producción de lixiviados que puede ser producto del desplazamiento del material orgánico biodegradado que se produce por la degradación y que va comprimiendo la carga en el equipo y ejerciendo una presión que ayuda a la salida de los residuos líquidos.



Figura 9. Estructura del lisímetro utilizado en la investigación.

Dąbrowska et al. (2021), menciona que los lisímetros sirven como herramientas experimentales para estudiar los procesos ambientales en los residuos bajo condiciones

controladas, y los resultados de dichos estudios pueden proporcionar una buena base para un análisis de riesgos. Los primeros pasos para explorar el potencial de los biorreactores de vertedero para mejorar la estabilización de residuos, el tratamiento de lixiviados y la producción de biogás se dieron ya en 1970. Entendiendo la importancia del lisímetro, es por eso se hizo un sistema de lisímetro a escala de laboratorio para tener el control de los residuos y condiciones en que se generen los lixiviados.

Tabla 5. Caracterización del lixiviado obtenido con el lisímetro.

Parámetro	Lixiviado
Edad (días)	60
pH	8.2
ST (mg/L)	13420
DBO ₅ (mg/L)	5240
DQO (mg/L)	14643

En la tabla 5, se muestran las propiedades fisicoquímicas básicas del lixiviado obtenido, cuyos valores indican el elevado grado de contaminación y toxicidad propio de un lixiviado joven, el cual alcanza pH básico debido a la biodegradación de materia orgánica nitrogenada llegando a formar compuestos amoniacales que producen valores altos de pH. Se observa también alta concentración de sólidos totales, cantidad que abarca sólidos suspendidos y sólidos disueltos, este resultado asociado a los valores de DBO₅ y DQO, nos permite deducir que los sólidos totales cuantificados, son en su mayoría sólidos disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos que aportan carga orgánica biodegradable y no biodegradable, formados por la acción de los microorganismos en anaerobiosis, que han encontrado en el lisímetro las condiciones adecuadas tal como temperatura, sustrato, humedad y pH para lograr la mineralización de la materia orgánica.

La amonificación, la mineralización del nitrógeno orgánico por bacterias, se produce al inicio del compostaje, liberando NH₄⁺ que incrementa el pH de la fase líquida (Freire et al., 2024). Esta puede ser la causa del pH del lixiviado obtenido sea 8.2 debido a que el lixiviado recolectado está formado de residuos vegetales que presentan nitrógeno orgánico.

Banc et al. (2021), mencionan que la medida en que cada mecanismo puede contribuir al fenómeno general de lixiviación está gobernada por las condiciones fisicoquímicas y las características de la materia sólida de origen, así como las condiciones ambientales del medio. Las condiciones de pH parecen ser un factor clave de influencia.

Los pH alcalinos desestabilizan las asociaciones organominerales a través de la desprotonación de los ligandos en ambas fases, lo que induce una repulsión electrostática aniónica. Sin embargo, los pH bajos también podrían inducir la desagregación de ensamblajes supramoleculares de sustancias húmicas, lo que lleva a la liberación de baja moléculas orgánicas de peso molecular. El efecto del pH sobre la lixiviación de compuestos solubles fue mucho más fuerte en el rango alcalino (Banc et al. 2021). En nuestra investigación el lixiviado presenta un pH alcalino y esto pudo influir en la alta concentración de la carga orgánica del lixiviado.

Baraza et al. (2019), en su estudio de evaluación de la biodegradabilidad anaeróbica de lixiviados, de acuerdo con los resultados obtenidos hacen referencia la baja biodegradabilidad de los sólidos volátiles contenidos en los lixiviados en comparación con otros residuos orgánicos y mencionan que una causa de este efecto puede ser la presencia de compuestos orgánicos que pueden inhibir el proceso anaeróbico. Sin embargo, es más probable que se deba a la naturaleza refractaria de estos compuestos. De acuerdo a nuestros resultados pudo existir baja biodegradabilidad de sólidos volátiles debido a que nuestro lixiviado presento alta concentración de compuestos orgánicos como el nitrógeno amoniacal que inhibieron la actividad microbiana.

Tabla 6. Porcentaje de remoción de DQO en el lixiviado por contacto con las semillas de *Moringa oleífera* (moringa).

Tratamiento	Tiempo	DQO inicial(mg/L)	DQO final (mg/L)	Porcentaje de remoción de DQO
Polvo de Semilla de Moringa (PSM)	30 min		9966.7	31.94
Polvo de Semilla de Moringa (PSM)	1 hora	14643	7499	48.79
Polvo de Semilla de Moringa (PSM)	1.5 horas		5454	62.75

En la tabla 6, se presentan los resultados de la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera* con diferentes tiempos de contacto, observándose que a mayor tiempo de contacto entre la semilla de *Moringa oleífera* y el lixiviado, existe mayor remoción de DQO, lo cual se podría explicar por la mayor adsorción de sustancias orgánicas e inorgánicas por efecto de los grupos funcionales de la semilla de *Moringa oleífera*, que al parecer en el tiempo máximo evaluado que es 1.5 horas, no presentó una desorción de las sustancias fijadas a la semilla de *M. oleífera*, o ésta fue muy escasa, este efecto puede indicar la capacidad que tiene

la semilla de *M. oleífera* como absorbente o que desarrolla diversos mecanismos que se van produciendo en forma progresiva inmovilizando los contaminantes a lo largo del tiempo de contacto.

Salwa et al. (2021), realizaron una evaluación, para definir las condiciones óptimas para remover la DQO de un lixiviado mediante coagulación con polvo de semillas de *M. oleífera*, para esto, ellos probaron diversos valores de pH con un rango que va de 1 a 10 y diferentes dosis de extracto de polvos de semillas de *Moringa oleífera*. En sus resultados reportaron que a pH 2 y 20 ml de extracto de semillas de *Moringa oleífera* de 10g/L, agitados en un test de jarras por tiempo total de 18 minutos, de los cuales 15 fueron de mezcla lenta y un tiempo de 120 min de reposo, pudieron remover 57,4% de DQO. Comparando estos resultados con los obtenidos en este estudio, cuyo mayor porcentaje de remoción de DQO fue de 62,75% a un tiempo de 90 minutos y utilizando 100 mg/L de polvo de semillas de *M. oleífera* en un lixiviado de pH 8.2, se puede afirmar que el exceso de polvo de semilla utilizado afecta negativamente en la absorción de contaminantes.

Azoulay et al. (2021), mencionan que numerosos estudios han demostrado que los mecanismos que dominan la eliminación de contaminantes por efecto del extracto de semilla de *M. oleífera* se producen por la adsorción y la neutralización de carga de coloides/partículas coloidales y desestabilizadas. Las semillas de *Moringa oleífera* contienen compuestos microminerales, emulsiones, ácido glicérido y ácido polimérico, que funcionan como quelatos para que puedan atraer iones metálicos y otras partículas (Rahmadyanti et al., 2021). Según los resultados obtenidos podemos afirmar que la alta concentración de proteínas del polvo de la semilla de *Moringa oleífera* actuó como quelantes neutralizando partículas suspendidas.

Al-Jadabi et al. (2023), han realizado una revisión de los mecanismos que ejerce la semillas de moringa durante la remoción de contaminantes en medio acuoso, estos autores afirman que el proceso de coagulación se debe principalmente a las proteínas de las semillas de *Moringa oleífera* y su poder de adsorción se mantiene en niveles de pH que oscila entre 5 y 8,67. Además, se informó que las semillas de *Moringa oleífera* contienen grandes cantidades de proteínas que poseen cargas positivas las cuales son como imanes que atraen partículas cargadas negativamente, como las que presentan contaminantes de tamaño coloidal tales como limo, arcilla y otras partículas dañinas. Esta afirmación coincide con nuestros resultados obtenidos, el polvo de semilla de moringa actúa como adsorbente, es decir que los contaminantes del lixiviado se adhieren a la superficie del polvo de semilla de moringa, así mismo nuestro de pH 8.2 se encuentra dentro del rango óptimo de adsorción.

Rahmadyanti et al. (2021), realizaron un estudio del tratamiento de lixiviados donde evaluaron el poder coagulante y floculante de las semillas de *Moringa oleífera* comparándolo con el que ejerce el sulfato de alúmina; complementado con una adsorción utilizando cenizas volantes. Estos investigadores definen los lixiviados como aguas residuales que se forman a partir de montones de basura y tienen gran potencial de contaminar el medio ambiente si entran en contacto sin previo tratamiento. El resultado muestra que *M. oleífera* como coagulante natural fue capaz de eliminar DQO, TSS y metal pesado respectivamente en un 62%, 94% y 88%. La efectividad aumentó con la combinación de adsorción usando cenizas volantes que fue capaz de eliminar DQO, SST y metales pesados en un 74,2 %, 99,5 % y 99,6 %, respectivamente. Se debe considerar la adición de *Moringa oleífera* porque hace que el ambiente tienda a ser alcalino, aunque todavía esté en el rango normal de 6-8 y tiene una alta eficiencia para remoción de DQO, pero no cumple con las regulaciones gubernamentales. Resultado que coincide con nuestra investigación donde el porcentaje de remoción de DQO aplicando polvo de semilla de *M. oleífera* en un periodo de 1.5 horas fue de 62.75%.

Tavakoli et al. (2021), evaluaron para el tratamiento de lixiviado de compost, mediante un tratamiento de coagulación con extracto de *Salvia hispánica*, seguido de un proceso híbrido electro-proxone (una electrolisis con aplicación de ozono) y finalmente una ultrafiltración, como resultado obtuvieron mayor eficiencia de eliminación de DQO con una concentración elevada de O_3 . Al elevar la concentración de O_3 de 10 mg L^{-1} a 90 mg L^{-1} , la reducción de DQO se incrementó del 29 % al 84 % en 60 min, respectivamente. Asimismo, por tiempo de reacción elevado de 60 min a 90 min, en una concentración de $90 \text{ mg L}^{-1} O_3$, la eliminación de DQO aumentó lentamente de 84% a 91%. Este mismo efecto se observó en el presente estudio en cuanto al incremento de la remoción de DQO del lixiviado de 1h a 1.5 horas de tiempo de contacto fue menor que la remoción de DQO de 30 min a 1h.

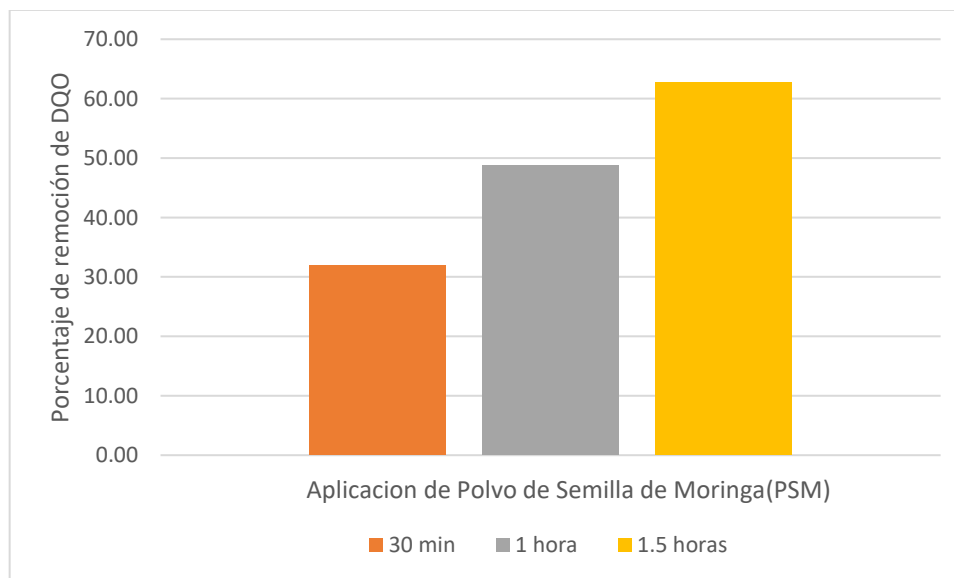


Figura 10. Remoción de la DQO del lixiviado obtenido a diferentes tiempos de contacto con polvo de semilla de *Moringa oleífera*.

4.2. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación de una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.

En la tabla 7, se observa el efecto de la aplicación de la radiación UV sobre los lixiviados en periodos de tiempos diferentes, estos resultados nos permiten afirmar que el tiempo de aplicación de luz UV es directamente proporcional a la remoción de DQO. Es importante mencionar que la intensidad de la luz ultravioleta tiene la capacidad de modificar la estructura química de muchas sustancias, este mecanismo es capaz de mineralizar los contaminantes presentes en residuos líquidos como los lixiviados, por esta razón en el presente estudio el porcentaje de remoción de DQO es progresivo y en función al tiempo de aplicación.

Tabla 7. Porcentaje de remoción de DQO en el lixiviado por exposición a fotooxidación con radiación UV.

Tratamiento	Tiempo	DQO inicial(mg/L)	DQO final (mg/L)	Porcentaje de remoción de DQO
Fotooxidación Ultravioleta	30 min	14643	13497	7.83
Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	14643	12374.3	15.49
Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas	14643	11347	22.51

Texeira et al. (2020), reportaron una reducción de DQO del 25% de un lixiviado tratado con radiación UVC y peróxido de hidrógeno, estos investigadores realizaron una evaluación del tratamiento de lixiviados mediante la aplicación de UVC/ peróxido de hidrógeno comparándolo con la aplicación de UVA/dióxido de titanio. El pH de lixiviado fue del rango de 3 a 8 y los tiempos de evaluación fueron de 30 minutos, 45 minutos y 60 minutos. Con un tiempo de 30 minutos se alcanzó la mayor eficiencia de remoción de DQO con UVC/peróxido de hidrógeno, resultado que difiere al encontrado en el presente estudio, donde la mayor eficiencia se alcanzó con un tiempo de 1.5 horas (22.51%), sin embargo, este resultado es menor debido a que se aplicó únicamente la radiación UV con 240 nm, a comparación del peróxido de hidrógeno que actuó como reactivo potenciando el proceso de oxidación.

La aplicación directa de radiación UV al lixiviado crudo, permite reducir la DQO. Sin embargo, la DQO no se redujo satisfactoriamente, especialmente después del proceso de dióxido de titanio con radiación UV-A, cuya activación del catalizador fue influenciado por el color oscuro y la composición del complejo lixiviado, por lo tanto, afectando la eficiencia del tratamiento Texeira et al. (2020). Este comportamiento también se observó en la investigación realizada cuyos porcentajes de remoción con esta técnica son bajos, lo cual podría explicarse por la alta concentración de carga orgánica del lixiviado y por la presencia de color intenso y materia coloidal que interfieren el paso de la luz ultravioleta reduciendo su potencial mineralizante.

Massarotto (2010), señala que la eficiencia en la remoción de DQO mediante proceso de oxidación avanzada puede estar relacionada con la recalcitrancia del lixiviado, porque cuando la materia orgánica tiene difícil degradación, la acción oxidante no fue suficiente para la descomposición completa, y probablemente los subproductos se recombinan, formando nuevos compuestos que confieren DQO.

Sepideh Tousizadeh et al. (2022), en su investigación enfocada en el tratamiento de lixiviados mediante la aplicación de un tratamiento de oxidación avanzada con ferrato de sodio, la técnica de ultrasonido combinado con y sin coagulación-floculación, para eliminar DQO y color. Estos autores reportaron que la eficiencia de remoción de DQO en lixiviados fue superior al 80% con un tiempo de tratamiento de 15 minutos, cuando se aplicó ultrasonido combinado con coagulación-floculación, sin embargo, la aplicación única de ultrasonido al lixiviado, alcanzó una remoción de 46%. Cabe mencionar que los tiempos de reacción ultrasónica evaluados fueron de 15 minutos, 30 minutos y 45 minutos, lo cual significa que la mayor eficiencia se obtuvo en el menor tiempo de reacción. Este resultado difiere del obtenido en la presente investigación, el cual tuvo 22.55% de reducción de DQO en 1.5 horas, este

resultado se debe a lo importante que es la combinación conjunta de tratamientos para obtener un mayor éxito en la remoción de contaminantes.

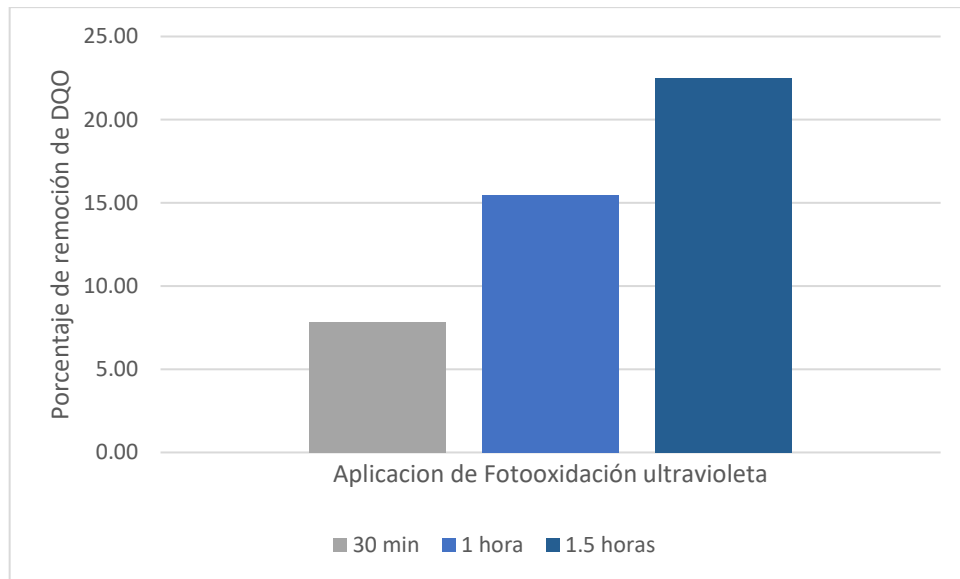


Figura 11. Remoción de la DQO del lixiviado obtenido a diferentes tiempos de exposición a la fotooxidación con radiación UV.

4.3. Determinación de la eficiencia de depuración de un lixiviado de residuos sólidos orgánicos con la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa) y una fotooxidación a tres tiempos de tratamiento diferentes a escala de laboratorio.

En la tabla 8, se puede observar que cuando el tiempo de aplicación de radiación ultravioleta y polvo de semillas de *Moringa oleífera* al lixiviado es mayor, se produce una mayor remoción de DQO. Sin embargo, las expectativas de eficiencia en la investigación, eran mayores, esto puede deberse al impacto de la luz UV en los diversos compuestos orgánicos e inorgánicos presentes tanto del lixiviado como los que aporta el polvo de semilla de *Moringa oleífera*, los cuales presentan la posibilidad de generar subproductos con características recalcitrantes que terminan aportando DQO y dificultando la mineralización del lixiviado.

Tabla 8. Porcentaje de remoción de DQO en el lixiviado por fotooxidación con radiación UV y Polvo de Semillas de Moringa (PSM).

Tratamiento	Tiempo	DQO inicial(mg/L)	DQO final (mg/L)	Porcentaje de remoción de DQO
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	30 min		13503.3	7.78
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	14643	11446.7	21.83
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas		10165.3	30.58

Amor et al. (2019), realizaron una revisión de la aplicación de las etapas de oxidación avanzada en aguas residuales industriales, en cual se puede observar que muchos investigadores han aplicado tratamientos integrados que consta de procesos de oxidación avanzada con otros procesos convencionales, expectando obtener una mejora en la eficiencia, sin embargo, se han evidenciado efectos adversos. Algunas investigaciones evaluaron la posibilidad de acoplar la oxidación química del ozono con la digestión anaeróbica. Como fase preliminar la digestión anaeróbica mostró un retraso más largo y una baja generación de metano. La explicación de este efecto la sustentan por la formación de compuestos intermedios más biorecalcitrantes o tóxicos que los iniciales. Como una medida de mejora del proceso mencionan una aplicación más prolongada de la ozonización para favorecer y obtener la degradación completa de los compuestos intermedios, posteriormente se debería aplicar una digestión anaerobia. En nuestra investigación este tratamiento combinado de polvo de semilla de moringa y fotooxidación inicialmente se tubo expectativas altas en cuanto a la eficiencia de remoción de la DQO, sin embargo, los resultados obtenidos no fueron favorables tal como mencionan los autores.

La radiación UV se utiliza a menudo como iniciador de la producción radical hidroxilo (OH). Si los procesos relacionados con UV se aplican en el tratamiento de lixiviados a gran escala sistemas, se pueden encontrar problemas de reducción de la efectividad de las lámparas UV debido a la presencia de oxalatos escasamente solubles que pueden formar una capa de escamas en la radiación ultravioleta lámparas debido a las altas concentraciones de carbonato y bicarbonato. Existe la posibilidad de que los sólidos suspendidos o contaminantes con alta absorbancia en lixiviados de vertederos puedan bloquear o absorber la transmisión UV

en el lixiviado y reducir la eficacia de las lámparas. En la aplicación en un proceso de oxidación de peróxido de hidrógeno con radiación ultravioleta, el papel de UV es activar el peróxido de hidrógeno y producir radicales hidroxilo mientras tanto, si el lixiviado del vertedero tiene alta absorbancia de fondo o una alta concentración de partículas, este proceso no funcionará bien debido a la baja absorbancia UV por parte del peróxido de hidrógeno (Wang et al., 2003). De acuerdo a nuestros resultados el porcentaje de remoción de DQO en 1.5 horas fue de 30.58% en comparación del tratamiento aplicando solamente polvo de semilla de moringa en 1.5 horas fue de 62.75%, este resultado puede deberse a que nuestro lixiviado este compuesto de residuos orgánicos y esto al ser oxidados hayan formado oxalatos que bloquean la luz UV e inhibe la producción de radicales hidroxilos.

Se pueden usar Procesos de Oxidación Avanzada (POA) individuales para purificar y tratar los desechos y aguas residuales a tasas muy eficientes; sin embargo, las combinaciones de Procesos de Oxidación Avanzada se han implementado en muchos casos, con resultados destacados. El uso de Procesos de Oxidación Avanzada versus procesos físicos o procesos químicos se ve favorecida principalmente porque la mayoría de los contaminantes presentes en las aguas residuales se encuentran recalcitrantes al proceso de tratamiento físico/químico (Pandis et al., 2022).

Titchou et al. (2021), examinaron las combinaciones de procesos de oxidación avanzada, estos investigadores mencionan que existe un efecto sinérgico en la degradación de compuestos orgánicos al combinar la radiación UV o ultrasónica con la oxidación y la fotocatalisis a base de sulfato de Fenton, lo que resultó en una eficiencia de eliminación completa. Haciendo un análisis al respecto, la presente investigación no evidenció un efecto sinérgico entre la radiación UV y el potencial de adsorción del polvo de semillas de *Moringa oleífera*, debido a no tratarse de la combinación de 2 o más procesos de oxidación avanzada.

Gopalakrishnan et al. (2023), mencionan que la aplicación de radiación UV implica la generación de poderosos grupos radicales oxidantes, como los radicales hidroxilos, que funcionan como agentes oxidantes y mineralizan sustancias químicas orgánicas en CO₂ y H₂O. Esto es posible porque los radicales hidroxilos tienen un elevado potencial oxidante, superado por el flúor que es radical de mayor potencial, sin embargo, no se utiliza por elevar la toxicidad de los efluentes tratados. El ozono es un oxidante extremadamente potente que puede oxidar directamente microorganismos y una variedad de sustancias orgánicas, también puede provocar reacciones secundarias al generar radicales hidroxilos que posteriormente reaccionan con los microcontaminantes y generan productos de reacción que podrían ser incluso más peligrosos que los compuestos originales. De acuerdo a la baja eficiencia de remoción de DQO

en nuestros resultados aplicando la combinación de polvo de semilla de moringa y fotooxidación, esto puede deberse a que el polvo de semilla de *Moringa oleífera* al entrar en contacto con la luz UV no genera suficientes radicales hidroxilos para mineralizar los contaminantes y de manera indirecta es posible que se genere compuestos recalcitrantes, para mejorar estos resultados es importante utilizar reactivos adicionales como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), Ozono (O_3) o catalizadores.

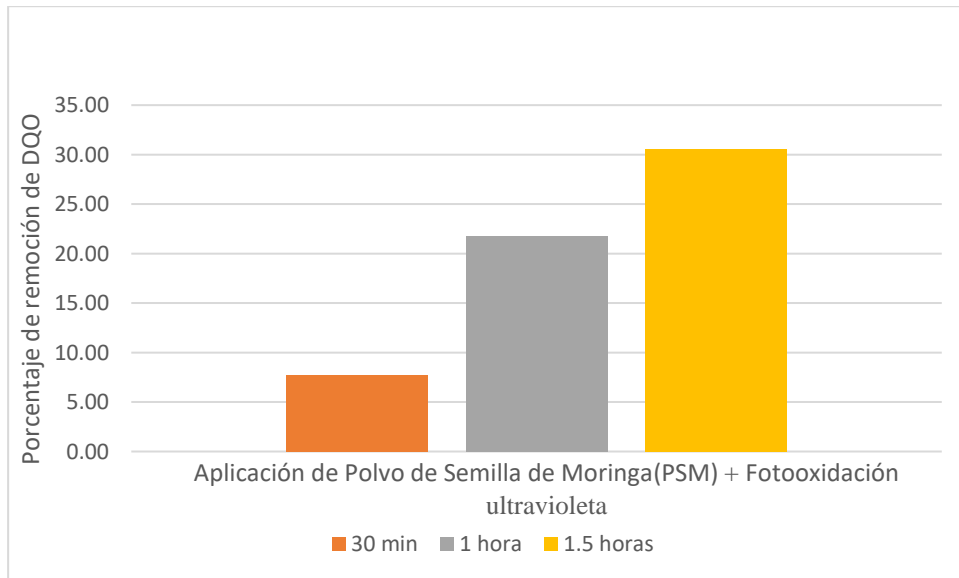


Figura 12. Remoción de la DQO del lixiviado obtenido a diferentes tiempos de contacto con polvo de semilla de *Moringa oleífera* y fotooxidación con radiación UV.

Se aplicó el análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software InfoStat/L, mediante un ANVA y prueba de Tukey (Ver anexo 8.2) con el cual se pudieron comparar los tratamientos, siendo el tratamiento con polvo de semillas de *M. oleífera* con un tiempo de 1.5 horas, el de mayor eficiencia y estadísticamente difiere en forma significativa de los tratamientos aplicados con un intervalo de confianza del 95%.

V. CONCLUSIONES

La mayor remoción de DQO en el lixiviado se logra con la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera*.

A mayor tiempo de contacto entre el polvo de semillas de *Moringa oleífera* y el lixiviado, mayor remoción de DQO.

El tiempo de aplicación de la fotooxidación con radiación UV al lixiviado es directamente proporcional a la remoción de DQO.

A mayor tiempo de aplicación combinada de fotooxidación con radiación UV y polvo de semillas de *Moringa oleífera* al lixiviado mayor es la remoción de DQO.

La aplicación combinada de fotooxidación con radiación UV y polvo de semillas de *Moringa oleífera* al lixiviado no incrementa la remoción de DQO.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

Desarrollar una investigación, para evaluar el efecto de la remoción de DQO con períodos de tiempos mayores, utilizando el polvo de semillas de *Moringa oleífera*.

Diseñar una metodología para la optimización de la dosis de polvo de semillas de *Moringa oleífera* en lixiviados de diferentes edades.

Realizar una investigación para determinar la influencia del color de un lixiviado, en la remoción de DQO utilizando polvo de semilla de *Moringa oleífera* y fotoxidación.

Llevar a cabo un estudio para determinar el efecto de variables como pH y concentración de carga orgánica del lixiviado en la eficiencia de remoción de DQO.

Ejecutar una investigación para evaluar la remoción de metales pesados y compuestos nitrogenados en un lixiviado por efecto del polvo de semillas de *Moringa oleífera*.

Desarrollar una investigación para establecer un sistema de tratamiento de lixiviados con tecnologías complementarias a la aplicación del polvo de semillas de *Moringa oleífera*, a fin de incrementar la eficiencia en la depuración.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agarwal, V., Dixit, D., & Bhatt, M. (2019). Use of Moringa oleifera Seeds as a Primary Coagulant in Textile Wastewater Treatment. In Waste Management and Resource Efficiency. Springer Singapore., 1231–1236. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-7290-1_102
- Amor, C., Marchão, L., Lucas, MS, Peres, JA. (2019). Aplicación de procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales recalcitrantes: una revisión. *Agua*, 11, 205. <https://doi.org/10.3390/w11020205>
- Al-Jadabi, N.; Laaouan, M.; El Hajjaji, S.; Mabrouki, J.; Benbouzid, M.; Dhiba, D. (2023). The Dual Performance of Moringa Oleifera Seeds as Eco-Friendly Natural Coagulant and as an Antimicrobial for Wastewater Treatment: A Review. *Sustainability* 2023, 15, 4280. <https://doi.org/10.3390/su15054280>
- Aranda, A. O. V., Iannacone, J., Peña, A., & Echevarría, L. M. R. (2022). Tratamiento de lixiviados por oxidación avanzada: Una revisión. *Revista Campus*, 27(33), 57-74.
- Azoulay, K.; Bencheij, I.; Mabrouki, J.; Samghouli, N.; Moufti, A.; Dahchour, A.; El Hajjaji, S.(2021). Mecanismos de adsorción de la mezcla binaria de tintes azoicos en diferentes desechos de palma crudos. *En t. J. Medio Ambiente. Anal. química* 2021, 1–20.
- Balbinoti, J., Beghetto, C., SILVA, L., & Coral, L. (2019). Uso de sementes de Moringa oleifera como agente coagulante para o tratamento de água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(5), 1748-1760. https://www.researchgate.net/publication/330373805_Uso_de_sementes_de_Moringa_oleifera_como_agente_coagulante_para_o_tratamento_de_agua
- Baird, C. (2018). *Química ambiental*. Reverté.
- Banc, C., Gautier, M., Blanc, D., Lupsea-Toader, M., Marsac, R. y Gourdon, R. (2021). Influencia del pH en la liberación de materia orgánica coloidal y disuelta de los depósitos de lodos superficiales de humedales artificiales de flujo vertical. *Revista de Ingeniería Química*, 418, 129353. doi: 10.1016/j.cej.2021.129353.
- Baraza, X., Sáez-Navarrete C., Torres-Castillo R. (2019). Anaerobic biodegradability of leachate from MSW intermediate landfill. *Afinidad* LXXVI, 3-8.
- Chana, W. (2021). Caracterización de la Hoja y Harina de Moringa oleifera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2590. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.475

- Chepote Cavero, M. A. (2018). Siembra del cultivo de Moringa (*Moringa oleifera*) en la pampa de Villacuri, Departamento de Ica. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3223>
- Dąbrowska, D., & Rykała, W. (2021). A Review of Lysimeter Experiments Carried Out on Municipal Landfill Waste. *Toxics*, 9(2), 26. <https://doi.org/10.3390/toxics9020026>
- De Madeiros, J. (2023). Uso da moringa oleifera lam como coagulante natural no tratamento de águas superficiais. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/27108/1/JBM13062023%20.Pdf>
- Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Margalho, L. P., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Granato, D., Sant'Ana, A. S., Duart, M. C. K. H., & Cruz, A. G. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 146–154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>
- Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment. *Current pollution reports*, 1(3), 167-176.
- Desta, W., & Bote, M. (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, 7(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>
- Díaz Bravo, P. B. (2023). Degradación de colorantes directos y reactivos utilizados en la industria textil mediante la fotocatalisis solar heterogenea [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Federico Villareal]. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/20.500.13084/7477/3/UNFV_EUPG_Diaz_Bravo_Pablo_Belizario_Doctorado_2023.pdf
- Dominguez, L. (2011). Luz Ultravioleta en la Conservación de los Alimentos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Freire, R. de C. M., de Aguiar, A. C. M., Nascimento, M. A., Cruz, F. S. O., Munteer, A. H., Silva, A. A., & Lopes, R. P. (2024). Open-access Anaerobically Treated Leachate from a Composting Plant: Characterization and Evaluation as a Biofertilizer. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 35(1), e-20230085.
- Giraldo, E. (2014). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes, *Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes*, 10.16924/riua.v0i14.538.
- Gonzales F. (2018). Un estudio transversal de *Moringa oleifera Lam.* (Moringaceae) Revisión. *Dominguezia - Vol. 34(1)*.

- Gomes, H. I., Rogerson, M., & Mayes, W. M. (2017). Recovery of Al, Cr and V from steel slag by bioleaching. *Journal of Environmental Management*, 200, 532-541.
- Gopalakrishnan, G.; Jeyakumar, RB; Somanathan, A. (2023) Desafíos y tendencias emergentes en tecnologías de oxidación avanzada e integración de procesos de oxidación avanzada con procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales. *Sustentabilidad* 15 , 4235. <https://doi.org/10.3390/su15054235>
- Gu, Bao, M., He, C., y Chen, W. (2023). Transformation of dissolved organic matter in landfill leachate during a membrane bioreactor treatment. *Science of The Total Environment*, 856(1), 159066. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159066>
- Hai, F., Yamamoto, Fukushi.(2007). “Hybrid Treatment Systems for Dye Wastewater, Critical Reviews”. *Environmental Science and Technology*, 37(4): 315-377.
- Haslina, H, Norruwaida, J, Dewika, M, Rashid, M, Md Ali, Abd Halim, Khairunnisa, M P and Afiq Daniel Azmi, M. Landfill Leachate Treatment Methods and Its Potential for Ammonia Removal and Recovery - A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021, 1051 (1), p. 012064. DOI 10.1088/1757- 899x/1051/1/012064. As a f
- Hernández R., Fernández C., Baptista M. (2010). *Metodología de la Investigación*, Mcgraw-Hill / Interamericana editores, s.a. de c.v..Quinta Edición.
- Huaranga, L. (2023). Tratamiento de lixiviados por procesos de oxidación avanzada del Relleno Sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Insitucional FV. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/9310/Tesis_Huaranga_Alan_Lupe_Ines_FIGAE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Irto, A., Crea, F., Alessandrello, C., De Stefano, C., Somma, R., Zaffino, G., Zaccaro, S., Papanikolau, G., & Cigala, R. M. (2024). Landfill leachate from municipal solid waste: Multi-technique approach for its fine characterization and determination of the thermodynamic and sequestering properties towards some toxic metals. *Science of The Total Environment*, 170311. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170311>
- Jiménez, T. (2021). Generación de lixiviados en vertederos. [Trabajo de Fin de grado]. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Koutchma, Tatiana, & Popović, V. (2019). Chapter 5 - UV Light-Emitting Diodes (LEDs) and Food Safety (T. B. T.-U. L. E. D. T. for F. A. Koutchma (Ed.); pp. 91–117). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817794-5.00005-4>

- Khattabi Rifi, S., Souabi, S., El Fels, L., Driouich, A., Nassri, I., Haddaji, C., & Hafidi, M. (2022). *Optimization of coagulation process for treatment of olive oil mill wastewater using Moringa oleifera as a natural coagulant: CCD combined with RSM for treatment optimization*. *Process Safety and Environmental Protection*, 162, 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.010>
- León-Chimbolema J., Andrade-Borja B. (2021). Tratamiento biológico complementario para lixiviados como alternativa para mitigar la contaminación ambiental. Caso: botadero “Curgua”, *Revista Pol.* 59, (6), 1099-1115, ISSN: 2550 - 682X.
- López-Ramírez, M. Á., Aguilar-Rodríguez, M. R., González-Gómez, G., & Hernández-Guevara, F. A. (2022). Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez en las aguas residuales del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. *Ingeniantes*, 9(2, Vol. 2).
- Mahtab, M., et al. (2021). *Optimization of the process variables for landfill leachate treatment using Fenton based advanced oxidation technique*. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101689. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101689>
- Marín, D. (2019). Impacto del uso de biofertilizantes a base de residuos orgánicos en los suelos. *Conciencia Tecnológica*, 58, 47-50.
- Martínez M., Peper M. (2016). Estudio de la situación actual de la luz UV en la industria alimentaria y de su posible aplicación: marco legal, usos, percepción del consumidor y diseño de una operación unitaria para planta para especias.
- Massarotto, W. L. (2010). Avaliação de tecnologias para tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Disponible en: <https://www.unaerp.br/documentos/583-wagner-luis-massarotto/file>.
- MINAM. (2019). Informe nacional sobre el estado del ambiente. Disponible desde Internet en: https://sinia.minam.gob.pe/inea/wpcontent/uploads/2021/07/INEA-2014-2019_red.pdf
- MINAM. (2021). Estadística ambiental. Sistema Nacional de Información Ambiental SINIA. Disponible desde Internet en: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/temáticas?temática=08>
- Mishra, B. (2020). Is ‘FAR UVC’ the Nearest Solution for Pandemic Containment? *Journal of Advanced Research in Medical Science & Technology*, 7(03): 27-31. Disponible en: <https://doi.org/10.24321/2394.6539.202014>.
- Najera, H. (s/d). Lixiviados: ¿Qué son? ¿Cómo se clasifican?, UNICACH- NAS JOME.
- Orihuela, E. (2023). Degradación de carga orgánica del lixiviado generado en la fermentación de residuos sólidos municipales mediante el proceso avanzado foto - fenton. [Tesis de

- pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10123/T010_43208367_M.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- Ossa, L., Correa, M., & Múnera, L. (2020). La paca biodigestora como estrategia de tratamiento de residuos orgánicos: una revisión bibliográfica. *Producción+ Limpia*, 15(2), 71-91.
- Paniagua A., Chora, J. (2016). Elaboración de Aceite de semillas de Moringa Oleífera para diferentes usos, *Revista de Ciencias de la Salud*, diciembre 2016 Vol.3 No.9 36-46.
- Pandis, P.K.; Kalogirou, C.; Kanellou, E.; Vaitsis, C.; Savvidou, M.G.; Sourkouni, G.; Zorpas, A.A.; Argirusis, C.(2022). Key Points of Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater, Organic Pollutants and Pharmaceutical Waste Treatment: A Mini Review. *Chem Engineering* 2022, 6, 8. <https://doi.org/10.3390/chemengineering6010008>
- Peng Yao (2017). Perspectives on technology for landfill leachate treatment, *Arabian Journal of Chemistry*, Volume 10, Supplement 2, May 2017, Pages S2567-S2574. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>.
- Pozo, J., García, J. A., & Vázquez, Y. (2020). Estimación del caudal medio de lixiviados generados en el vertedero de Viñales, Pinar del Río. *Avances*, 22(3). <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869117002/html/>
- Pulgar Vidal, J. (1987). *Geografía del Perú: las ocho regiones naturales, la regionalización transversal, la microregionalización* (9.ª ed.). PEISA.
- Rahmadyanti E., Hidajati N.W., Suryanto M., Saputro H.(2021). Effectiveness of moringa oleifera as a natural coagulant and adsorbent in leachate treatment. *Poll Res.*, 40 (3): 747-756.
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: España, Editorial Reverté, S.A.
- Rashid, S. W., Salh Shwan, D. M., & Rashid, K. A. (2022). Physicochemical characterization and evaluation of seasonal variations of landfill leachate and groundwater quality around Tanjaro open dump area of Sulaymaniyah City, Kurdistan, Iraq. *Journal of Chemistry*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/8574935>
- Rodríguez Peña, R. P., & Barrera Díaz, B. D. C. (2020). Procesos de Oxidación avanzada en el tratamiento de agua. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109361>
- Salwa M., Amirah A., Mahyun A., Hassan Z., Norsyazwani Che Mohamed (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.

- Sepideh Tousizadeh , Mohsen Arbabi , Elaheh Tondro , Morteza Sedehi , Arman Arbabi (2022). Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno y Eliminación de Color de Lixiviados Usando Coagulación/Floculación Combinada con Proceso de Oxidación Avanzada. *Res. biomédica avanzada*. 2022; 11:30. doi: 10.4103/abr.abr_55_21.
- Souza, V. R., & Koutchma, T. (2021). 2.12 - Ultraviolet Light Microbial Inactivation in Liquid Foods (K. Knoerzer & K. B. T.-I. F. P. T. Muthukumarappan (Eds.); pp. 146–170). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22971-5>
- Shaik, F., Mohammed, N., Ahmed, F., & Rao, L. N. (2023). Advanced technologies for the treatment of pesticides. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2690, No. 1). AIP Publishing.
- Taher, M. A., Nyeem, M. A. B., Ahammed, M. M., Hossain, M. M., & Islam, M. N. (2017). Moringa oleifera (Shajna): the wonderful indigenous medicinal plant. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 3(1), 20- 30. <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v3i1.32032>
- Tavakoli B., Alizadeh O., Dorosti F. (2021). Integrated chemical coagulation with natural base coagulant – electro-proxone process and ultrafiltration membrane for treatment of compost leachate, *Caspian Journal of Environmental Sciences*, Vol. 20 (1): pp. 203-216, doi: 10.22124/CJES.2022.5427.
- Titchou, FE; Zazou, H.; Afanga, H.; Gaayda, JE; Akbour, RA; Nidheesh, PV; Hamdani, M.(2021). Eliminación de contaminantes orgánicos de las aguas residuales mediante procesos de oxidación avanzada y su combinación con procesos de membrana. química Ing. Proceso. Proceso Intensif., 169, 108631.
- Trigo Guzmán, C. (2020). Potencialidad de la hoja de moringa (*Moringa oleifera*) como ingrediente alimentario (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia). <http://hdl.handle.net/10251/149889>
- UNEP. (2022). Solid waste management. <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/solid-waste-management>
- Vera-Zelada, P., Martínez-Sovero, G., Vera-Zelada, L. A., Minchán-Sap, J. R., & 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.e510>
- VIQUA. (2021). Disinfection of water by ultraviolet light. <https://viqua.com/uv/uv-system-components/>
- Vitaqua. (29 de Octubre de 2022). Vitaqua . Obtenido de Vitaqua : <https://vitaqua.es/que-es-laconductividad-en-el-agua-y-como-afecta-al-tratamiento/>

- Von Buchwald F., Martínez, P. (2018). Producción de lixiviados, comparación del método de tchobanoglous con experimentos en lisímetros, Rev. del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM, Vol 21 N° 42, 2018: 6Waste Atlas Report. (2013).
- Wang, F., Smith, DW y El-Din, MG (2003). Aplicación de métodos avanzados de oxidación para el tratamiento de lixiviados de vertederos: una revisión. Revista de ingeniería y ciencia ambiental, 2(6), 413–427. doi:10.1139/s03-058.
- Youcai, Z. (2018). “Leachate Generation and Characteristics,” in Pollution Control Technology for Leachate from Municipal Solid Waste, E. Inc., Ed. 2018, pp. 1-30.
- Zafra-Mejía, C, Romero-Torres, D. (2019). Tendencias tecnológicas de depuración de lixiviados en rellenos sanitarios iberoamericanos, Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 18(35) p, pp. 125-147, ISSN (en línea): 2248-4094, <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a8>.

VIII. ANEXOS

8.1. Datos experimentales de la investigación

Tabla 9. Efecto del tiempo de aplicación de polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa) en 500 ml de lixiviado.

Tratamiento	Tiempo	Repetición	DQO final mg/L	DQO final promedio mg/L
Polvo de Semilla de Moringa (PSM)	30 min	1R	9453	9966.7
		2R	10584	
		3R	9863	
Polvo de Semilla de Moringa (PSM)	1 hora	1R	7590	7499
		2R	6857	
		3R	8050	
Polvo de Semilla de Moringa (PSM)	1.5 horas	1R	5590	5454
		2R	4982	
		3R	5790	

Tabla 10. Efecto del tiempo de aplicación de fotooxidación con radiación UV en 500 ml de lixiviado.

Tratamiento	Tiempo	Repetición	DQO final mg/L	DQO final promedio mg/L
Fotooxidación Ultravioleta	30 min	1R	13488	13496.7
		2R	13508	
		3R	13494	
Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	1R	12369	12374.3
		2R	12365	
		3R	12389	
Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas	1R	11339	11347
		2R	11342	
		3R	11360	

Tabla 11. Efecto del tiempo de aplicación de polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa) y fotooxidación con radiación UV en 500 ml de lixiviado.

Tratamiento	Tiempo	Repetición	DQO final mg/L	DQO final promedio mg/L
Polvo de Semilla de Moringa (PSM) + Fotooxidación Ultravioleta	30 min	1R	13503	13503.30
		2R	13515	
		3R	13492	
Polvo de Semilla de Moringa (PSM) + Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	1R	11444	11446.67
		2R	11462	
		3R	11434	
Polvo de Semilla de Moringa (PSM)+ Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas	1R	10155	10165.33
		2R	10168	
		3R	10173	

8.2. Análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software Infostat

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DQO final (mg/L)	27	0.99	0.99	2.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	173783363.63	8	21722920.45	225.29	<0.0001
Tratamiento	173783363.63	8	21722920.45	225.29	<0.0001
Error	1735572.67	18	96420.70		
Total	175518936.30	26			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=888.35494

Error: 96420.7037 gl: 18

Tratamiento	Tiempo	Medias	n	E.E.	
Polvo de Semilla de Moringa	1.5 horas	5454	3	179.28	A
Polvo de Semilla de Moringa	1 hora	7499	3	179.28	B
Polvo de Semilla de Moringa	30 min	9966.67	3	179.28	C
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas	10165.33	3	179.28	C
Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas	11346.67	3	179.28	D
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	11446.67	3	179.28	D
Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	12374.33	3	179.28	E
Fotooxidación Ultravioleta	30 min	13496.67	3	179.28	F
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	30 min	13503.33	3	179.28	F

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

Porcentaje de remoción de DQO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Porcentaje de remoción de ..	27	0.99	0.99	7.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8105.32	8	1013.17	224.69	<0.0001
Tratamiento	8105.32	8	1013.17	224.69	<0.0001
Error	81.17	18	4.51		
Total	8186.49	26			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.07511

Error: 4.5093 gl: 18

Tratamiento	Tiempo	Medias	n	E.E.	
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	30 min	7.8	3	1.23	A
Fotooxidación Ultravioleta	30 min	7.83	3	1.23	A
Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	15.5	3	1.23	B
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	1 hora	21.8	3	1.23	C
Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas	22.53	3	1.23	C
Polvo de Semilla de Moringa + Fotooxidación Ultravioleta	1.5 horas	30.57	3	1.23	D
Polvo de Semilla de Moringa	30 min	31.9	3	1.23	D
Polvo de Semilla de Moringa	1 hora	48.8	3	1.23	E
Polvo de Semilla de Moringa	1.5 horas	62.77	3	1.23	F

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

8.3. Imágenes de la investigación



Figura 13. Recolección y segregación de los residuos sólidos domiciliarios.



Figura 14. Lisímetro utilizado para la generación de lixiviados.



Figura 15. Carga del lisímetro con residuos sólidos orgánicos.



Figura 16. Trituración de semillas de *Moringa oleifera* utilizadas en la investigación



Figura 17. Torta de la semilla de *Moringa oleifera*.



Figura 18. Colección de lixiviados generados con el lisímetro.



Figura 19. Medición de parámetros fisicoquímicos del lixiviado.



Figura 20. Medición del oxígeno disuelto para determinar la DBO_5 .



Figura 21. Incubando la muestra por 5 días.



Figura 22. Determinación de la DQO por método del refluo abierto.



Figura 23. Evaporando el lixiviado en la estufa a 105 °C hasta obtener un peso Constante.

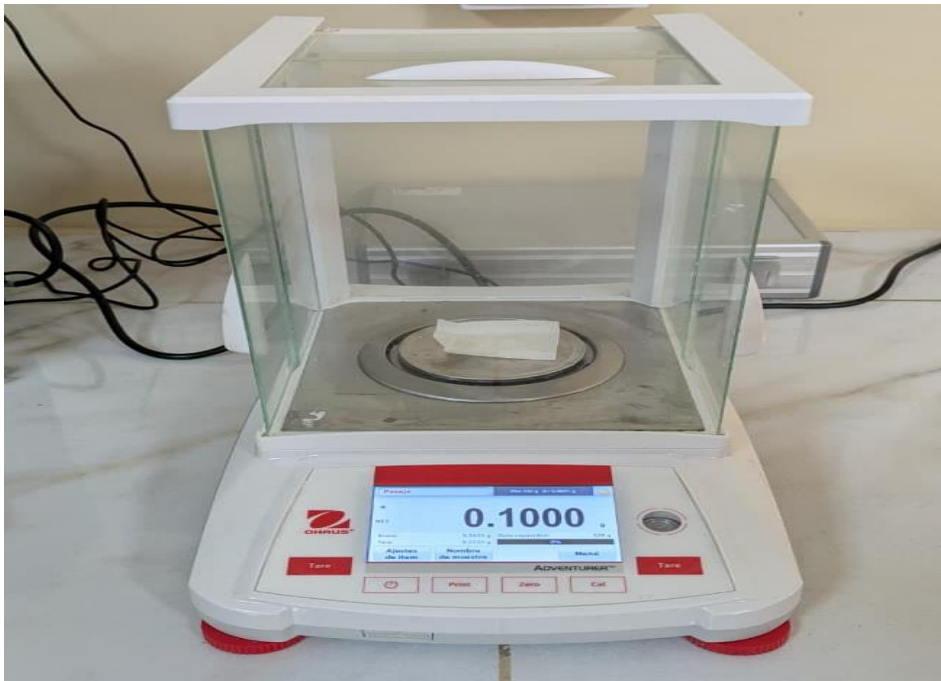


Figura 24. Medición en la balanza analítica del polvo de semilla de *Moringa oleifera*.



Figura 25. Aplicación del polvo de semilla de *Moringa oleífera* en el lixiviado para su tratamiento en Test de jarras.



Figura 26. Añadiendo el polvo de semilla de *Moringa oleífera* en el lixiviado para su Tratamiento con la lámpara UV.



Figura 27. Sistema experimental para la aplicación de la fotooxidación del Lixiviado con radiación UV.



Figura 28. Filtrado de la muestra a 1.5 horas.

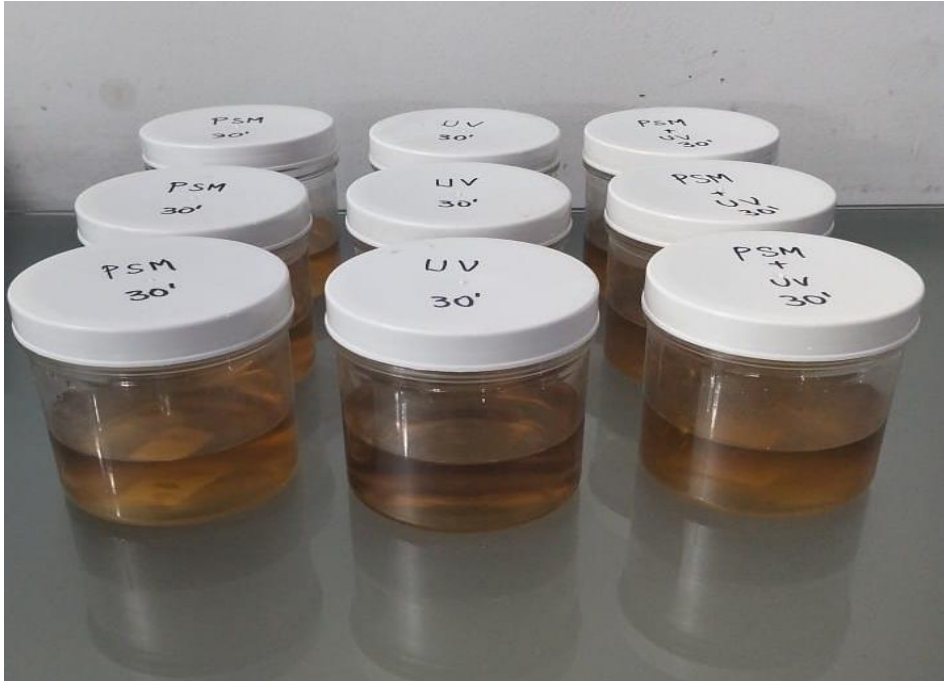


Figura 29. Muestras de lixiviado después de los tratamientos con un tiempo de 30 Minutos.

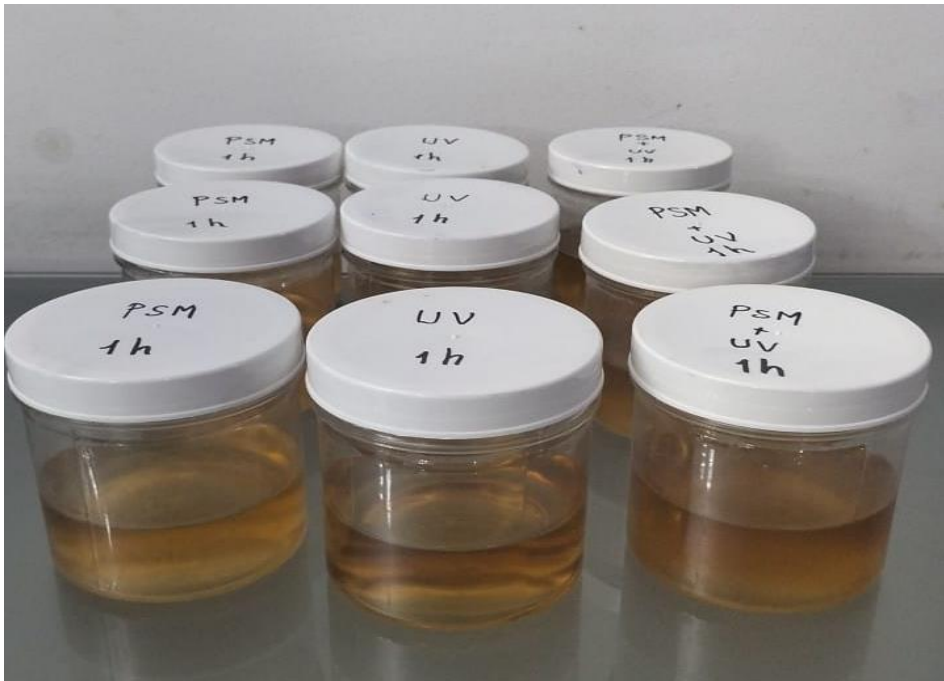


Figura 30. Muestras de lixiviado después de los tratamientos con un tiempo de 1 Hora.

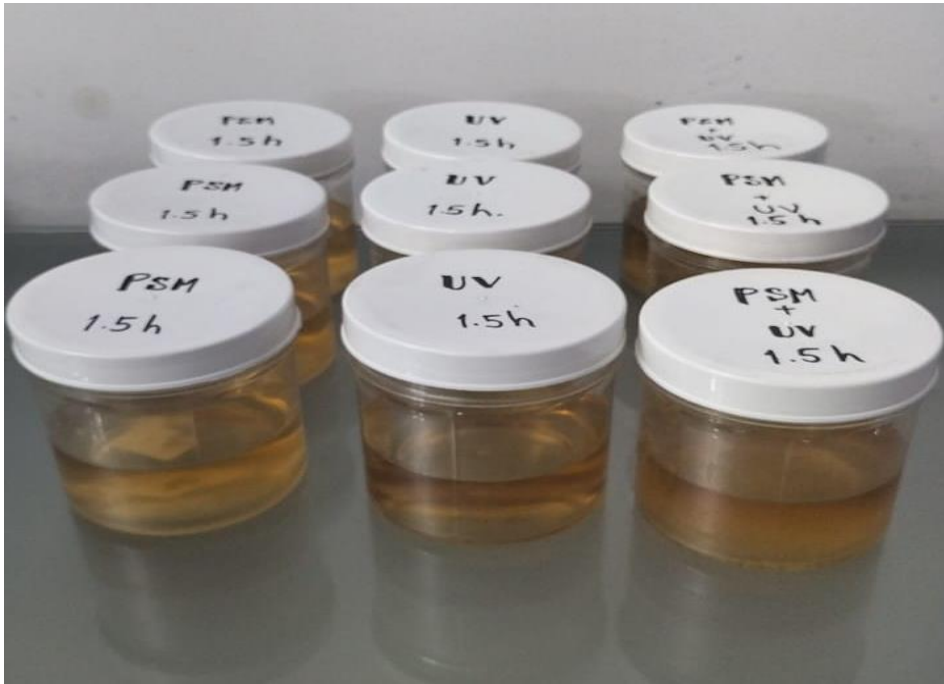


Figura 31. Muestras de lixiviado después de los tratamientos con un tiempo de 1.5 Horas.