

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



**INFLUENCIA DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE UN AGUA RESIDUAL  
SINTÉTICA EN LA REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA CON SEMILLAS DE**  
*Moringa oleifera (MORINGA)*

**Tesis**

**Para optar el grado de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**Geraldine Fiorella Lopez Nieve**

**Tingo María – Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 011-2025-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 13 de diciembre 2024, a horas 8:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“INFLUENCIA DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE UN AGUA RESIDUAL  
SINTÉTICA EN LA REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA CON SEMILLAS  
DE *Moringa oleifera* (MORINGA)”**

Presentado por la Bachiller: **LOPEZ NIEVE GERALDINE FIORELLA**, 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, 10 de enero de 2025

  
**Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO**  
**PRESIDENTE**

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

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



  
**Dr. JOSE LUIS PAREDES SALAZAR**  
**ASESOR**



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 062 - 2025 - CS-RIDUNAS

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

### CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental


Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
INFLUENCIA DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE UN AGUA RESIDUAL SINTÉTICA EN LA REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA CON SEMILLAS DE Moringa oleifera (MORINGA)	Geraldine Fiorella Lopez Nieve	<b>18 %</b> <b>Dieciocho</b>

Tingo María, 24 de febrero de 202519

C.C. Archivo

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

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



#### TESIS

<b>Universidad</b>	: Universidad Nacional Agraria de la Selva		
<b>Facultad</b>	: Facultad de Recursos Naturales Renovables		
<b>Escuela Profesional</b>	: Ingeniería Ambiental		
<b>Título de proyecto de tesis</b>	: Influencia del nivel de contaminación de un agua residual sintética en la remoción de carga orgánica con semillas de <i>Moringa oleifera</i> (Moringa)		
<b>Autor</b>	: Geraldine Fiorella Lopez Nieve		
<b>Asesor del proyecto de tesis</b>	: Ing. MSc. José Luis Paredes Salazar		
<b>Objetivo general</b>	: Determinar la influencia del nivel de contaminación de un agua residual sintética en la remoción de carga orgánica con semillas de <i>Moringa oleifera</i> (Moringa).		
<b>Área de investigación</b>	: Ciencia y tecnología ambiental - PIBIOT		
<b>Grupo de investigación</b>	: Ciencia y tecnología ambiental		
<b>Línea de investigación</b>	: Tecnologías para reducir la contaminación		
<b>Lugar de Ejecución</b>	: Tingo María, Leoncio Prado, Huánuco		
<b>Duración del Trabajo : Fecha de inicio:</b>	01/06/2023	<b>Fecha de Término:</b>	01/12/2023
<b>Financiamiento</b>	: <b>Propio (X)</b> <b>FEDU ( )</b> <b>Externo ( )</b>		
<b>Presupuesto</b>	: S/. 4 280.00		

## DEDICATORIA

*A Dios, por sanar muchas emociones en mi corazón, por haber sujetado de mi en cada etapa que fui pasando durante mi periodo de formación, por darme salud, la fortaleza y la sabiduría para lograr lo que tiene planificado para mí.*

*A mi hermosa madre Fiorela, por su amor, tolerancia y apoyo incondicional, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y por permitirme tener unos bellos hermanos que me motivan a seguir creciendo. Mi tía María Nieve que fue una muy buena consejera, brindándome el soporte, respetando mis tiempos, pero siempre empujándome para alcanzar todos mis anhelos.*

*A mis abuelitos Sabina y Víctor Nieve que siempre a pesar de la distancia me dieron palabras de fortaleza e hicieron llegar su cariño para seguir avanzando con mis objetivos y metas.*

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, alma mater en mi formación como ingeniera, por cada profesional que fue parte de moldearme para ser buena profesional y darme la oportunidad de aprender y de cristalizar mis anhelos.
- A mí asesor Ing. José Luis Paredes, asesor del presente proyecto, por su constante seguimiento, por darme el soporte con su valioso tiempo y conocimientos durante el desarrollo y la ejecución de mi tesis.
- A todas las personas que Dios fue poniendo en mi vida, familiares, mejores amigos, conocidos, colegas; son diferentes experiencias compartidas y diferentes aprendizajes de cada uno de ellos. Hoy puedo decir que soy una mejor persona en lo personal y lo profesional.

## INDICE

	Página
I. INTRODUCCION .....	13
1.1. Objetivos.....	14
1.1.1. Objetivo General:.....	14
1.1.2. Objetivos específicos .....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Contaminación del agua .....	16
2.3. Contaminantes de las aguas residuales .....	16
2.4. Sólidos suspendidos en aguas residuales.....	17
2.5. Métodos analíticos para contaminantes orgánicos .....	17
2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	17
2.7. Indicador de la contaminación.....	17
2.8. La turbiedad del agua.....	18
2.9. La Moringa oleífera .....	18
2.10. Aplicaciones de Moringa oleifera en el tratamiento de aguas residuales....	19
III. MATERIALES Y METODOS .....	20
3.1. Descripción de la zona de estudio .....	20
3.1.1. Ubicación de la zona de estudio .....	20
3.1.2. Clima.....	20
3.2. Materiales y métodos.....	20
3.2.1. Materiales y equipos .....	20
3.2.2. Reactivos.....	21
3.3. Metodología.....	21
3.3.1. Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de Moringa oleífera (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica. ....	21

3.3.2.	Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de Moringa oleífera (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales.....	23
3.3.3.	Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de Moringa oleífera (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos totales .....	25
3.4.	Criterios de estudio .....	27
3.4.1.	Nivel de investigación .....	27
3.4.2.	Tipo de investigación.....	27
3.4.3.	Método de investigación.....	27
3.4.4.	Diseño de investigación.....	27
3.4.5.	Variables de investigación.....	27
3.4.6.	Análisis estadístico .....	29
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1.	Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de Moringa oleífera (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica. ....	30
4.2.	Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de Moringa oleífera (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales.....	34
4.3.	Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de Moringa oleífera (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos totales.....	37
4.4.	Resultados del análisis estadístico .....	41
V.	CONCLUSIONES .....	42
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	43
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	44

VIII. Anexos.....	48
8.1. Datos experimentales de la investigación.....	48
8.2. Análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software Infostat.....	51
8.3. Imágenes de la investigación.....	54

## INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición del agua residual sintética.....	21
2. Variables de investigación.....	28
3. Niveles para los factores de la investigación.....	28
4. Matriz de diseño de la investigación .....	28
5. Características físicoquímicas básicas del agua residual sintética. ....	30
6. Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO, por aplicación del polvo de semillas de moringa.....	31
7. Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de SST, por efecto de la aplicación de semillas de moringa. ....	34
8. Remoción de carga orgánica de un agua residual con diferentes concentraciones de DQO y de sólidos suspendidos, mediante la aplicación de polvo de semillas de moringa, medidas en función a la reducción de DQO.....	37
9. Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO, por efecto de la adición del polvo de semillas de moringa. ....	48
10. Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales, por efecto de la adición del polvo de semillas de moringa.....	49
11. Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO y diferentes concentraciones de SST, por efecto de la adición del polvo de semillas de moringa .....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
12. La Moringa oleífera y sus partes, donde A: hoja, B: Flor, C: Diagrama floral, D: Fruto, F: Semilla.....	18
13. Ubicación política del lugar de ejecución.....	20
14. Esquema experimental de agua residual con materia orgánica. ....	23
15. Esquema experimental de agua residual con sólidos suspendidos.....	24
16. Esquema experimental de agua residual con materia orgánica y sólidos suspendidos para 1000 ppm. ....	25
17. Esquema experimental de agua residual con materia orgánica y sólidos suspendidos para 2000 ppm. ....	25
18. Esquema experimental de agua residual con materia orgánica y sólidos suspendidos para 4000 ppm. ....	26
19. Agua residual sintética utilizada en la investigación.....	31
20. Eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual con tres concentraciones distintas de DQO, por aplicación de polvo de semillas de moringa.....	33
21. Eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual con la misma concentración de DQO y tres concentraciones diferentes de sólidos totales, por aplicación de semillas de moringa.....	36
22. Porcentaje de reducción de DQO, en los tratamientos del agua residual con distintas concentraciones de sólidos suspendidos y sus respectivos testigos, mediante la aplicación de polvo de semillas de moringa. ....	40
23. Reducción de DQO, en los tratamientos del agua residual con distintas concentraciones de sólidos suspendidos y sus respectivos testigos, mediante la aplicación de polvo de semillas de moringa. ....	40
24. Materiales para la preparación del agua residual sintética. ....	54
25. Trituración de las semillas de moringa para retirar la cáscara .....	54
26. Trituración de las semillas de moringa sin cáscara .....	55
27. Semillas de moringa sin cáscara molidas en el mortero.....	55
28. Polvo de semillas de moringa antes de extracción de aceite .....	56
29. Extracción del aceite de semillas de moringa.....	56
30. Secado en la estufa del polvo de semillas de moringa. ....	57
31. Implementación del sistema experimental .....	57

32. Aplicación de los tratamientos de la investigación .....	58
33. Obtención de muestras para análisis de DQO .....	58
34. Dilución del polvo de semillas de moringa para su aplicación. ....	59
35. Obtención de muestras de los tratamientos .....	59
36. Digestor para el análisis de DQO .....	60
37. Digestión de las muestras para la determinación de la DQO .....	60
38. Preparación para la titulación de las muestras adicionando ferroína.....	61
39. Titulación de la muestra con sulfato ferroso de amonio.....	61

## RESUMEN

En la presente investigación, se evaluó la influencia del nivel de contaminación de un agua residual en la remoción de carga orgánica mediante la aplicación del polvo de semillas de moringa, para lo cual se preparó el agua residual en laboratorio, con diferentes concentraciones de DQO y Sólidos Suspendidos Totales(SST), condiciones que simulan niveles de contaminación y posteriormente se les aplicó el polvo de semillas de moringa para evaluar la remoción de carga orgánica en función a la reducción de la DQO. El agua residual preparada a base de azúcar, levadura, urea y sales inorgánicas fue caracterizada y acondicionada a valores de DQO de 4136mg/L,2054mg/L,1096mg/L y a concentraciones de 50 ppm, 100ppm y 200 ppm de sólidos suspendidos totales, utilizando arcilla. Seguidamente se procedió a aplicar los tratamientos con un dispositivo de agitación eléctrica, utilizando el polvo de semillas de moringa, que fue obtenido mediante un proceso de extracción de aceite, secado y pulverizado, y aplicado a una dosis de 100 mg/L en unidades experimentales de 500 mL, con tres valores diferentes de DQO, luego con tres valores diferentes de SST y finalmente con tres valores diferentes de DQO y SST. Las mayores eficiencias de reducción de DQO, fueron 82,76%, con el agua residual de mayor valor de DQO, 80.25% con el agua residual de menor concentración de SST y 90.08% con el agua residual de mayor DQO y menor concentración de SST. El análisis de varianza fue realizado con un intervalo de confianza del 95% y demostraron mediante una prueba de Duncan que las eficiencias de reducción de DQO son significativamente diferentes en todos los casos a excepción de la evaluada en función a la concentración de SST, donde a 100 ppm no difiere de las concentraciones restantes.

**Palabras clave:** Tratamiento del agua, compuesto orgánico, calidad del agua, producto natural.

## ABSTRACT

In the present investigation, the influence of the level of contamination of wastewater on the removal of organic load was evaluated by applying moringa seed powder, for which the wastewater was prepared in the laboratory, with different concentrations of COD and Total Suspended Solids (TSS), conditions that simulate pollution levels and subsequently the moringa seed powder was applied to evaluate the removal of organic load based on the reduction of COD. The wastewater prepared from sugar, yeast, urea and inorganic salts was characterized and conditioned at COD values of 4136mg/L, 2054mg/L, 1096mg/L and at concentrations of 50 ppm, 100ppm and 200 ppm of total suspended solids. using clay. The treatments were then applied with an electric stirring device, using moringa seed powder, which was obtained through a process of oil extraction, drying and pulverizing, and applied at a dose of 100 mg/L in experimental units. of 500 mL, with three different COD values, then with three different TSS values and finally with three different COD and TSS values. The highest COD reduction efficiencies were 82.76%, with the wastewater with the highest COD value, 80.25% with the wastewater with the lowest TSS concentration and 90.08% with the wastewater with the highest COD and lowest TSS concentration. The analysis of variance was performed with a 95% confidence interval and demonstrated through a Duncan test that the COD reduction efficiencies are significantly different in all cases except for that evaluated based on the TSS concentration, where a 100 ppm does not differ from the remaining concentrations.

**Keywords:** *Water treatment, organic compound, water quality, natural product.*

## I. INTRODUCCION

La problemática de la contaminación de las fuentes de agua se produce por diversos factores en nuestro país, que van desde la deficiente educación y concientización ambiental hasta la falta de gestión y aplicación de tecnologías eficientes, que impliquen un nuevo panorama para el mejoramiento de la calidad de las aguas.

Durante las últimas décadas, se han realizado diversas investigaciones para generar nuevas alternativas en la reducción de contaminantes de las aguas; en las cuales se ha procurado aprovechar algunos recursos naturales, con diversas propiedades, entre ellas resaltan algunas especies vegetales fitorremediadora y otras con propiedades coagulantes y floculantes.

Aunque los resultados de las investigaciones son alentadores para el aprovechamiento de las especies vegetales investigadas a escala de laboratorio, es importante conocer el método y las condiciones más adecuadas para su aplicación a mayores escalas. Uno de los recursos con excelentes propiedades para la clarificación del agua, proviene de la semilla de Moringa (Moringa Oleífera), sin embargo, su aplicación en polvo o en solución, o en aguas con características fisicoquímicas variables, podría tener diferentes eficiencias en remoción de contaminantes.

La materia orgánica en el agua, cuando está presente en concentraciones elevadas puede generar daños a los ecosistemas acuáticos, ya que implica el consumo de oxígeno disuelto, reduciendo así su disponibilidad para la supervivencia de especies. Puede estar disuelta o como sólidos suspendidos y al entrar en contacto con un coagulante en concentraciones controladas puede tener un buen efecto de desestabilización de cargas que rodean a los sólidos suspendidos, llegando a remover sólidos suspendidos entre ellos los de naturaleza orgánica y muy posible ejercer un efecto de absorción de contaminantes iónicos de naturaleza inorgánica.

Ante la información existente sobre el efecto de clarificación del agua de la moringa (Moringa oleífera) y su capacidad de absorción, es importante investigar cómo aplicar estas semillas para extender al máximo su potencial de depuración, formulándose la siguiente pregunta: ¿Cómo influye el nivel de contaminación de un agua residual sintética en la remoción de carga orgánica con semillas de Moringa oleifera (Moringa)?, planteándose la siguiente hipótesis: El nivel de contaminación de un agua residual influye indirecta significativamente en la remoción de carga orgánica con semillas de Moringa oleifera (Moringa).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General:**

Determinar la influencia del nivel de contaminación de un agua residual sintética en la remoción de carga orgánica con semillas de *Moringa oleifera* (Moringa).

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Determinar la influencia del polvo de semillas de *Moringa oleifera* (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica.

Determinar la influencia del polvo de semillas de *Moringa oleifera* (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales, a escala de laboratorio.

Determinar la influencia del polvo de semillas de *Moringa oleifera* (Moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos totales, a escala de laboratorio.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Rondón et al. (2017) trabajaron con semilla de moringa para el tratamiento de agua residual en una planta de tratamiento municipal, trabajaron con la semilla desaceitada, para evaluar la eficiencia utilizaron la DQO, que alcanzó como valor mínimo 80 mg/L, con un dosis de semilla de moringa de 69,7 mg/L, el porcentaje de reducción máximo alcanzado fue mayor a 90 %.

Mera et al. (2016) usaron el polvo de semilla de moringa para el tratamiento de efluentes del proceso de beneficio de café y aguas de residuales del proceso de pelado de vegetales por el método químico. Estos investigadores utilizaron un test de jarras con diferentes para aplicar una coagulación y floculación de las aguas materia de estudio. Las eficiencias de remoción de turbidez con una dosis de 4 g/600 mL, fueron de 80,9% y 73,5% para el efluente del beneficio de café con polvo de semilla de moringa y sulfato de aluminio respectivamente. La eficiencia para el agua del pelado químico con semillas de moringa fue 66,75% y 63,5% con el sulfato de aluminio.

Gonzales y Fandiño (2018), investigaron el tratamiento de aguas residuales de curtiembre, con semillas de moringa diluidas en una solución de hidróxido de sodio, probando diferentes dosis de la misma, como indicadores de eficiencia utilizaron el pH, cromo, DQO, SST. La remoción de cromo se logró con una dosis de 50 ml de solución patrón. Para el caso de la DQO y los SST la eficiencia no fue significativa.

#### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Vela (2016), aplicó un tratamiento para reducir la turbidez de las aguas del río Alto Chicama, con semilla de Moringa oleífera como coagulante natural. La turbidez inicial del agua fue 297 NTU trabajando con un test de jarras a diferentes condiciones de operación, obtuvieron como resultado una eficiencia de reducción de turbidez de 93,10%, con una dosis de 20 mL, una agitación rápida de 300 rpm por 2 minutos y una agitación lenta de 80 rpm por 15 minutos.

Mejía et al. (2020), realizaron una investigación para evaluar el polvo el efecto de Moringa oleífera en la calidad del agua residual, estos autores trabajaron con muestras del agua residual de la PTAR de Puente Piedra-Lima y probaron la semilla de moringa en polvo mezclada en una solución con cloruro de sodio, adicionalmente realizaron pruebas con semillas sometidas a una extracción en un equipo Soxhlet, donde se removió el aceite y otros

compuestos. El coagulante químico sulfato de aluminio, con dosis de la PTAR fue utilizado para comparación. Con una dosis de 0.74 g/L de la solución con cloruro de sodio se alcanzó 87.3% y 88.8% de remoción de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST), mientras que la DBO5 y DQO de 25.9% y 26.3% respectivamente. El coagulante obtenido con extracción Soxhlet, fue aplicado con una dosis de 0.5 g/L, obteniéndose eficiencias de remoción de 97.8%, 89.99%, 51.4% y 35.3% de turbidez, SST, DQO y DBO5 respectivamente.

De la Sota (2019), realizó una investigación bibliográfica, sobre el uso de las semillas de moringa en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, esta autora señala que la aplicación de semillas de moringa, es una alternativa de bajo costo y alta eficiencia en la remoción de metales pesados, tintes y otras sustancias orgánicas, así mismo menciona que el porcentaje de remoción de contaminantes de efluentes de la industria textil, va de 82% a 90%.

## **2.2. Contaminación del agua**

Según la Organización Mundial de la Salud el agua se considera contaminada “cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural” (Guadarrama et al.,2016)

El Perú posee una de las mayores reservas de agua entre los 20 países que posee de mayor disponibilidad de agua del mundo. El agua es vital para el desarrollo de la vida, sin embargo, el impacto generado por la contaminación física, química o biológica la convierte en un agente de alto riesgo para la salud de las personas, los agentes infecciosos son una prueba de ello; por tanto, la aplicación de tecnologías, para la eliminación de contaminantes requieren control y monitoreo a fin de que cumpla con los estándares de calidad según el uso al cual será destinado (Gonzáles et al.,2014).

## **2.3. Contaminantes de las aguas residuales**

Son las materias contaminantes o formas de energía que llegan a impactar las aguas por efecto de su uso, generando así las aguas residuales, este acto, genera en el agua en forma directa o indirecta, cambios que alteran su calidad y limita sus posteriores usos (Díaz, et al., 2018). Estas pueden ser aquellas que han sido utilizadas por el hombre en sus actividades, o las aguas vertidas como residuos líquidos luego de su uso.

Según Guadarrama et al. (2016), menciona que los contaminantes del agua se pueden clasificar por su naturaleza y su efecto, así pues pueden de naturaleza microbiológica entre lo que se ubican algunas bacterias, virus y parásitos, que utilizan los desechos orgánicos como sustrato. Una segunda clasificación son los contaminantes de naturaleza química entre los que se encuentran las sustancias químicas inorgánicas tales como ácidos y los compuestos de

metales tóxicos principalmente. Finalmente están los nutrientes vegetales cuya presencia incrementan en forma descontrolada las plantas acuáticas, que al término de su ciclo de vida se descomponen y consumen el oxígeno y afectan la vida de las especies acuáticas.

#### **2.4. Sólidos suspendidos en aguas residuales**

La relación entre la cantidad de partículas sólidas retenidas en un medio filtrante, con referencia a un volumen de agua en la que están inmersos, definen a los sólidos suspendidos Quispe (2021), son sólidos que pueden ser de procedencia animal y vegetal o de las actividades humanas que implican la síntesis de compuestos orgánicos.

Mediante el proceso de sedimentación se pueden separar las partículas por acción de la fuerza de gravedad y su peso específico. Este proceso es aplicado para la eliminación de sólidos suspendidos totales del agua, el cual se realiza por el descenso de partículas por asentamiento gravitacional.

#### **2.5. Métodos analíticos para contaminantes orgánicos**

Los contaminantes orgánicos debido a su degradación generan la disminución del oxígeno, y se clasifican según la evaluación de la demanda de oxígeno y evaluación del contenido de carbono, de lo mencionado, se derivan métodos como la demanda teórica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda total de oxígeno, mediante las cuales y de forma indirecta se puede cuantificar la concentración de materia orgánica oxidable dentro del agua contaminada (Menéndez y Dueñas, 2018).

#### **2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La demanda bioquímica de oxígeno se define como aquella cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos presentes en un determinado volumen de muestra para oxidar de la materia orgánica presente en un periodo de cinco días (Gargallo, 2018).

Gargallo (2018) hace referencia a la mala práctica ambiental que se ha desarrollado a lo largo de la historia y se refiere específicamente a la utilización de las aguas superficiales como vertederos de aguas servidas, este hecho disminuye el oxígeno molecular disponible ya que, lo consume para la oxidación de la materia orgánica, afectando así a las condiciones fisicoquímicas de los ecosistemas acuáticos, ya que disminuye el oxígeno que utilizan los peces y otros organismos acuáticos para su supervivencia, e incluso varía el pH de un cuerpo de agua, lo cual genera efectos no deseados en el agua.

#### **2.7. Indicador de la contaminación**

Raffo y Ruiz (2014), afirman que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica sea disuelta presente en el agua, existirá un mayor consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, de aquí se puede inferir relación que existe entre la concentración del oxígeno

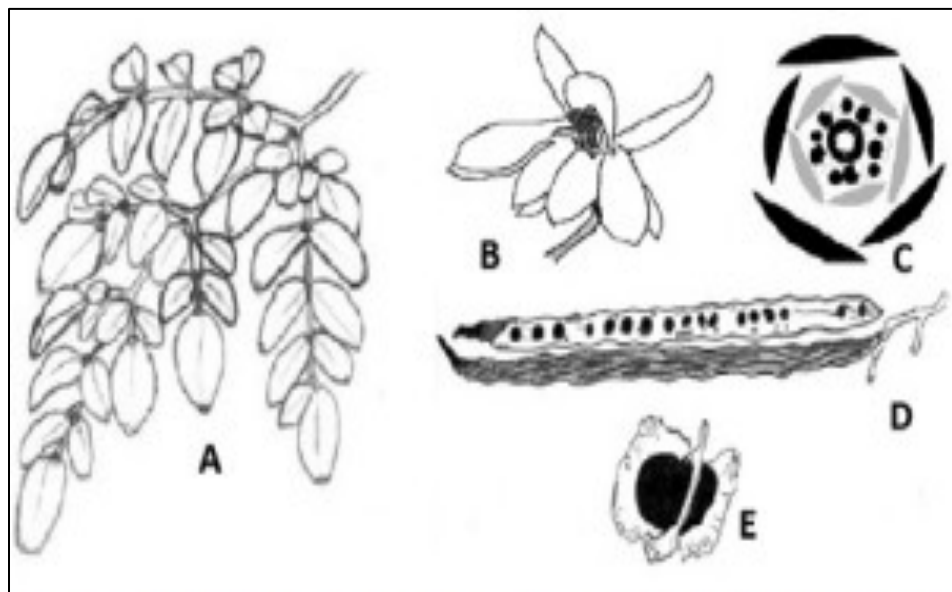
disuelto y nivel de contaminación en el agua. La reposición del oxígeno molecular que se consume por aerobiosis de los microorganismos, puede llevarse a cabo por un contacto aire agua, el cual según la presión atmosférica puede ser relativamente significativo. Por tanto la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que es un análisis de laboratorio realizado en condiciones de incubación en oscuridad a una temperatura aproximada de 20°C por cinco días, es un indicador de la contaminación del agua.

## 2.8. La turbiedad del agua

La turbiedad nos permite cuantificar la transmitancia de luz en un cuerpo, la cual puede verse mermada por la presencia de partículas suspendidas de tamaño coloidal que pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica. Es recomendable que cuando se realiza la medición de turbidez, se considere la fuente de luz, el método de medición utilizado, así como las características del material suspendido para absorción de luz. Los materiales suspendidos finalmente terminan depositándose en los cuerpos de agua o descomponiéndose, alterando la calidad fisicoquímica del agua (Trujillo et al., 2014).

## 2.9. La *Moringa oleífera*

*Moringa oleífera* es una especie originaria de la India, con gran capacidad de adaptación a climas tropicales, esta es la causa por la cual su cultivo se ha extendido por diversas zonas tropicales en el mundo. Como parte de una descripción superficial, se puede mencionar que pueden crecer hasta 12 m de altura, posee hojas varias veces pinnadas, flores en panículas, y semillas oleaginosas (González, 2018).



**Figura 1.** La *Moringa oleífera* y sus partes, donde A: hoja, B: Flor, C: Diagrama floral, D: Fruto, F: Semilla

Fuente: Gonzales (2018)

Para mencionar su composición, según las partes tales como hojas, fruto inmaduro y semillas, se puede decir que las proteínas lípidos y carbohidratos están presentes en mayor porcentaje en las semillas que en las hojas o frutos inmaduros, destacando el porcentaje de lípidos y proteínas. Adicionalmente se debe mencionar que las hojas tienen mayor concentración de calcio y del amino ácido lisina. La energía, es considerable tanto en hojas, fruto inmaduro y semilla, siendo mayor en la semilla (Gonzales, 2018).

## **2.10. Aplicaciones de *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales**

*Moringa oleífera* pertenece a la familia Moringaceae (Liu et al., 2018), es una especie que demanda de tres o cinco años para desarrollarse, presenta resistencia a las sequías; además en períodos de estrés hídrico es una planta que no fija nitrógeno debido a la pérdida de hojas, su altura puede alcanzar de 10 a 12m, las semillas son de tono pardo y de formas redondas, con alas de color blanco que cubren la semilla.

Aldas y Merino (2020), mencionan que *M. oleífera* ha sido aplicada en diferentes tipos de aguas residuales entre ellas, industriales donde se evidencia su potencial para la remoción de materia orgánica mediante biocoagulación sin embargo, presentan la desventaja de incrementar la concentración de sólidos disueltos totales.

Las semillas son consideradas floculantes naturales y su aplicación en efluentes fluviales y turbias para la eliminación del material suspendido de color negro y comparado con otros floculantes, *Moringa oleífera* resultó con mayor eficiencia en un rango de pH 5-8, por tanto se recomienda para remoción de tintes y colorantes presentes en aguas residuales industriales (Tie, et al., 2015).

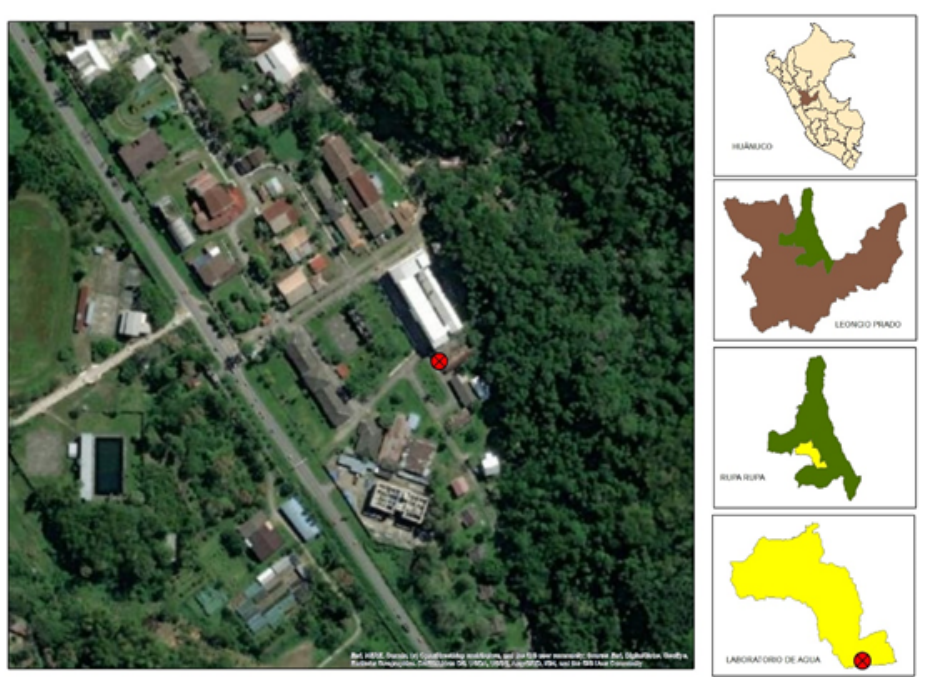
Presenta un enorme potencial como coagulante en aguas residuales industriales y el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* a diversos tamaños de partícula y con la dosis óptima de 7500 mg/L puede alcanzar una eficiencia de remoción de color y turbidez, de 87% y 80% respectivamente (Paz et al. 2017).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción de la zona de estudio

##### 3.1.1. Ubicación de la zona de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicada políticamente en el distrito de Rupa, Provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. Con coordenadas UTM: E: 390283 m y N: 8970638 m.



**Figura 2.** Ubicación política del lugar de ejecución.

##### 3.1.2. Clima

El distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado se ubica a una altura de 663 msnm, perteneciendo a la Selva Alta. Su clima es cálido y altamente lluvioso, presenta una temperatura promedio anual de 25° C, con una máxima 30.5° C y una mínima 18.5° C; una humedad relativa de 78.5%, con una máxima de 80% y una mínima de 77.5%. La precipitación anual de 3352.9 mm.

#### 3.2. Materiales y métodos

##### 3.2.1. Materiales y equipos

Los materiales para utilizar serán vasos de precipitación de 500 mL, fiolas de 1L marca pirex, 01 Mortero de porcelana y semillas de moringa marca Be Natural. 01 equipo

agitador (mixer) con 150 rpm de velocidad regulable, oxímetro digital marca La Motte modelo DO6 Plus con medición en las unidades mg/L, %, o ppm y compensación de temperatura automática, una cámara de incubación aislada de madera con recubrimiento aislante y control de temperatura, una balanza analítica digital marca Ohaus modelo AX223/E con 0.001 g de precisión y un peso máximo de 220g, 01 equipo multiparamétrico marca Hanna Modelo HI9828.

### 3.2.2. Reactivos

Sacarosa, Levadura, Urea, Cloruro de Calcio, Sulfato de Magnesio, Fosfato ácido de potasio, Agua destilada, cacao en polvo, Extracto de carne y vegetales, Hidróxido de sodio, Ácido clorhídrico al 37%.

## 3.3. Metodología

### 3.3.1. Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de moringa (*Moringa oleífera*) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica.

Para este objetivo, se procedió a preparar el agua residual sintética base de la investigación mediante la metodología utilizada por Amézquita (2003), en la formulación del agua residual se utilizó azúcar, levadura, urea, sales de grado reactivo para aportar fuentes de nitrógeno, fósforo, carbono y minerales, en las cantidades que se detallan en la Tabla 2, con la cual se obtuvo un agua con una concentración máxima aproximada de 4000 ppm de DQO, a partir de esta concentración de DQO, se diluyó el agua a las concentraciones de 2000 ppm y 1000 ppm de DQO.

**Tabla 1.** Composición del agua residual sintética

Componente	Fórmula	Cantidad en mg /L	
		2000 ppm	4000 ppm
Azúcar		1.7	3.4
Levadura		0.392	0.784
Urea	NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>	0.124	0.248
Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>	0.0055	0.011
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>	0.0045	0.009
Fosfato ácido de potasio	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.0065	0.013
Fosfato diácido de potasio	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.0055	0.011

Componente	Fórmula	Cantidad en mg /L	
		2000 ppm	4000 ppm
Cloruro Férrico	FeCl <sub>3</sub>	0.0005	0.001

Fuente: Amézquita (2003)

Para la obtención del polvo de semillas de moringa, en primer lugar se removió el aceite de la semilla triturando y prensando la semilla, con lo que se obtuvo la torta de la semilla. Para el acondicionamiento de las semillas y se pesaron, se trituraron y se agregó el 10% del volumen en agua y se calentó lentamente durante 10 minutos.

Después de este tratamiento fue necesario colarlos a través de una tela a un recipiente limpio. Luego se dejó reposar para que el aceite se separe del agua. Una vez que se extrajo el aceite, y quedó la torta, que se secó al ambiente por 48 horas y posteriormente se completó el secado a la estufa a 70°C por un tiempo de 2 horas, se trituró en un mortero y se tamizó el polvo de semillas de moringa (Paniagua y Chora ,2016).

Finalmente se aplicaron los tratamientos con el polvo de semillas de moringa, utilizando una solución que se preparó al 1 %, es decir, 1g polvo de semilla por cada 100 mL de agua destilada, de la cual se utilizarán 10 mL en cada jarra es decir una dosis de 100 mg/L (Rondón et al.,2017).

Se utilizó un equipo de mezcla, con vasos de precipitación de 500 mL, donde se colocó el agua residual sintética de 1000 ppm, 2000 ppm y 4000 ppm, así mismo se consideraron las mismas concentraciones de agua residual, pero sin el tratamiento del polvo de semillas de moringa, los que fueron considerados como testigos (ver figura 2). Posteriormente se aplicó un tiempo de agitación rápida de 2 minutos y un tiempo de agitación lenta de 15 minutos y 1 hora de sedimentación (Rodríguez et al.,2005).

Para determinar la eficiencia de la remoción de carga orgánica, se realizó un análisis de DQO tomando muestras de cada tratamiento y calculando la variación de este valor respecto a su valor inicial.

### 3.3.1.1. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

Para determinar la DQO, se utilizó el método normalizado de oxidación al dicromato (reflujo abierto), el cual se desarrolla calentando en condiciones de reflujo total (abierto), un volumen de muestra determinado, añadiéndole un exceso conocido de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) y acidificando el medio con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), durante dos horas.

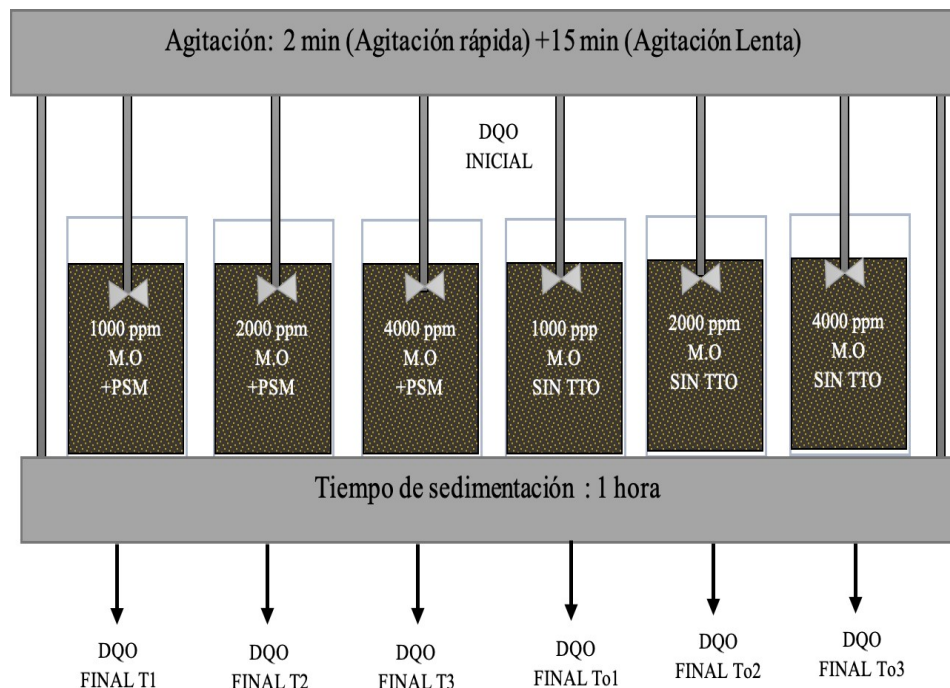
Mediante la marcha descrita se logra oxidar la materia orgánica en la que contiene la muestra y en forma paralela se consume el dicromato que se reemplaza por el ión crómico, siendo un indicador de esta reacción el cambio de color de amarillo a un tono verdoso. El sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) es empleado como catalizador; luego se determina el dicromato remanente mediante titulación con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal [ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ] (Ramalho,2013).

Para determinar la eficiencia de la remoción de carga orgánica, se procederá mediante la variación de la DQO en función a la siguiente fórmula:

$$\text{Efic. de remoción de CO} = \frac{\text{DQO inicial de AR} - \text{DQO final (MO+PSM)}}{\text{DQO inicial del AR}} \times 100 \dots (1)$$

Donde:

- DQO inicial (AR): Demanda química de oxígeno inicial del agua residual sintética
- DQO final (MO + PSM): Demanda química de oxígeno final del agua residual sintética después de aplicar el tratamiento (polvo de semillas de moringa)



**Figura 3.** Esquema experimental de agua residual con materia orgánica.

### 3.3.2. Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de moringa (Moringa oleífera) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales.

Se utilizó el agua residual sintética base cuya preparación fue mencionada y referenciada en el anterior ítem, como nos interesa saber la remoción de la carga orgánica a

diferentes concentraciones de sólidos solo se usó la concentración de 500 ppm de agua residual sintética y se adicionarán 50 ppm, 100ppm y 200 ppm de arcilla.

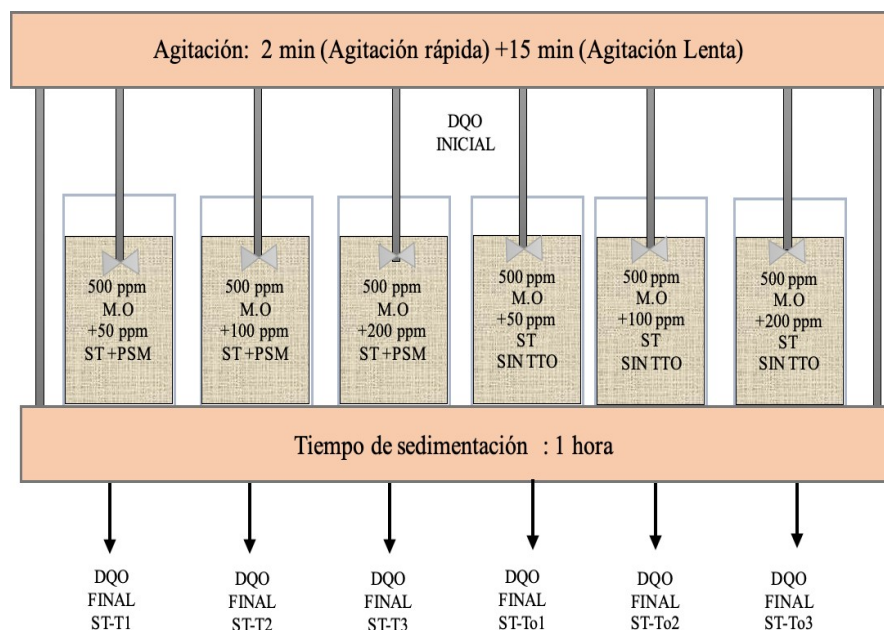
Luego, se agitó para uniformizar la concentración SST del agua residual. Seguidamente se procedió a aplicar el tratamiento con el polvo de semillas de moringa, con el equipo de mezcla, utilizando una solución que se preparó al 1 %, es decir, 1g polvo de semilla por cada 100 mL de agua destilada, de la cual se utilizó 10 mL en cada jarra es decir una dosis de 100 mg/L (Rondón et al.,2017), además se consideraron tres testigos con las mismas concentraciones de agua residual y arcilla pero sin tratamiento de polvo de semillas de moringa (ver figura 3).

Posteriormente se aplicó un tiempo de agitación rápida de 2 minutos y un tiempo de agitación lenta de 15 minutos y 1 hora de sedimentación (Rodríguez et al.,2005). Para determinar la eficiencia de la remoción de carga orgánica, se realizó un análisis de DQO tomando muestras de cada tratamiento y calculando la variación de este valor respecto a su valor inicial, con la siguiente ecuación:

$$\text{Efic. de remoción de CO} = \frac{\text{DQO inicial de AR} - \text{DQO final (MO+PSM)}}{\text{DQO inicial del AR}} \times 100 \dots (2)$$

Donde:

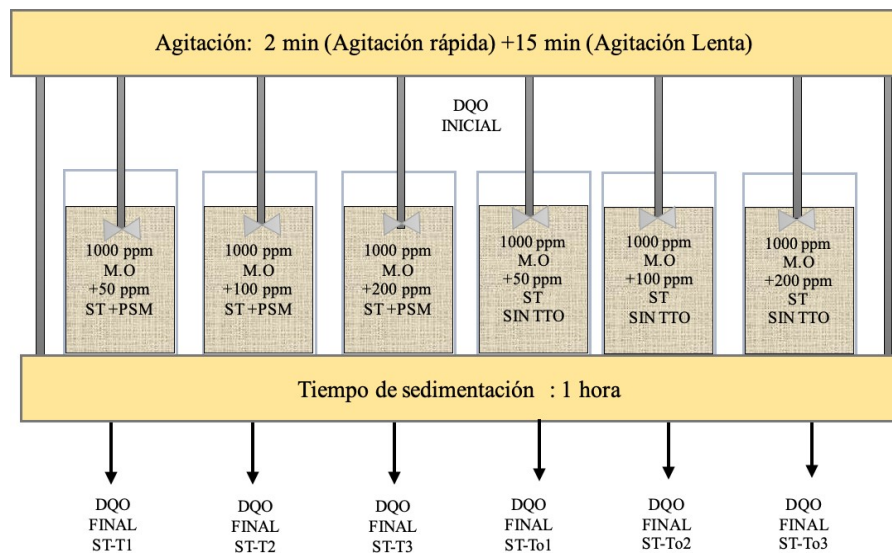
- DQO inicial (AR): Demanda química de oxígeno inicial del agua residual sintética a una concentración de 500 ppm y diferentes concentraciones de Sólidos Totales
- DQO final (ST + PSM) : Demanda química de oxígeno final del agua residual sintética después de aplicar el tratamiento a diferente concentración de sólidos totales (polvo de semillas de moringa).



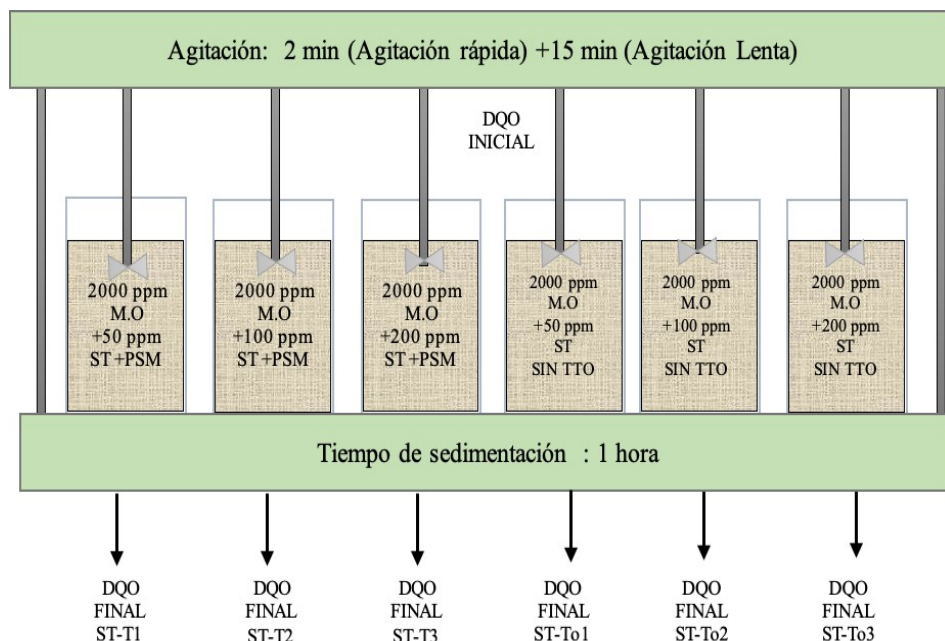
**Figura 4.** Esquema experimental de agua residual con sólidos suspendidos.

### 3.3.3. Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de moringa (*Moringa oleífera*) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos totales

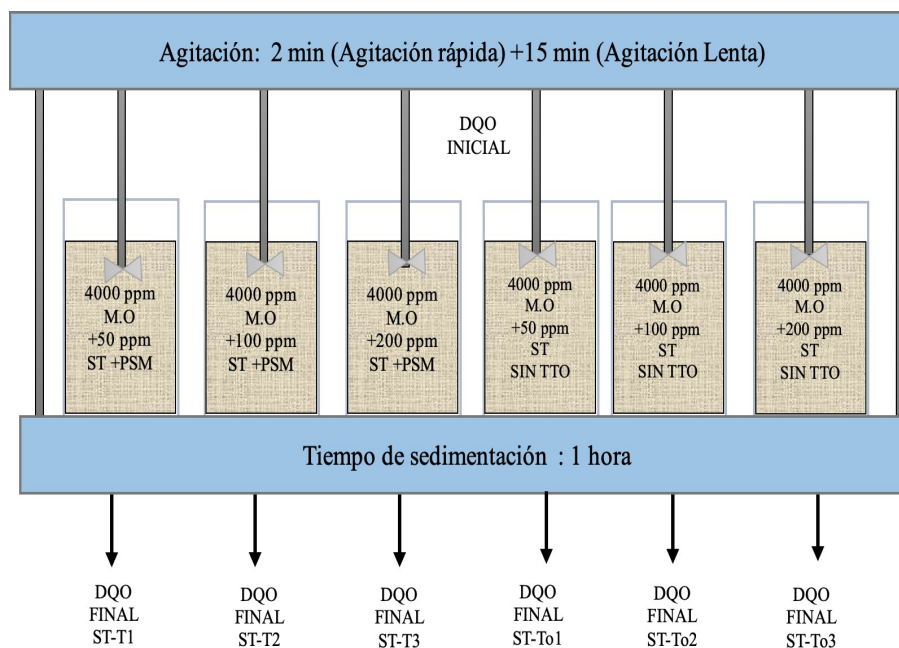
Se utilizó el agua residual sintética base cuya preparación fue mencionada y referenciada en los anteriores ítems en concentraciones de 1000 ppm, 2000 ppm y 4000 ppm de DQO y se le adicionarán 50 ppm, 100ppm y 200 ppm de arcilla (ver figura 5, 6 y 7).



**Figura 5.** Esquema experimental de agua residual con materia orgánica y sólidos suspendidos para 1000 ppm.



**Figura 6.** Esquema experimental de agua residual con materia orgánica y sólidos suspendidos para 2000 ppm.



**Figura 7.** Esquema experimental de agua residual con materia orgánica y sólidos suspendidos para 4000 ppm.

Luego se agitó para uniformizar las concentraciones agua residual. Seguidamente se procedió a aplicar el tratamiento con el equipo de mezcla y el polvo de semillas de moringa, utilizando una solución que se preparó al 1 %, es decir, 1g polvo de semilla por cada 100 mL de agua destilada, de la cual se utilizaron 10 mL en cada jarra es decir una dosis de 100 mg/L (Rondón et al.,2017).

Posteriormente se aplicó un tiempo de agitación rápida de 2 minutos y un tiempo de agitación lenta de 15 minutos y 1 hora de sedimentación (Rodríguez et al.,2005).

Para determinar la eficiencia de la remoción de carga orgánica, se realizó un análisis de DQO tomando muestras de cada tratamiento y calculando la variación de este valor respecto a su valor inicial, con la siguiente ecuación:

$$\text{Efic. de remoción de CO + ST} = \frac{\text{DQO inicial de AR} - \text{DQO final (MO+ST+PSM)}}{\text{DQO inicial del AR}} \times 100 \dots (3)$$

Donde:

- DQO inicial (AR): Demanda química de oxígeno inicial del agua residual sintética a diferente concentración de agua residual sintética y diferentes concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales
- DQO final (MO+ ST + PSM) = Demanda química de oxígeno final del agua residual sintética después de aplicar el tratamiento (polvo de semillas de moringa) a diferentes concentraciones de DQO y SST

### **3.4. Criterios de estudio**

#### **3.4.1. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es explicativo, dado que se efectuó una recolección de datos según las variables en estudio establecidas, a fin de evaluar la hipótesis con base en los resultados numéricos (Hernández et al., 2010).

#### **3.4.2. Tipo de investigación**

Esta una investigación de tipo aplicada, la cual se caracteriza o, por el planteamiento de objetivos, que conllevan a la resolución de problemas prácticos a fin de cubrir las necesidades de la sociedad. Por otro lado, estudia hechos o fenómenos que son utilizados, también utiliza conocimientos generados en las investigaciones básicas, y busca nuevos conocimientos especiales de posibles aplicaciones prácticas. Estudia problemas de interés social (Gomero y Moreno, 1997).

#### **3.4.3. Método de investigación**

El método de investigación fue inductivo ya que utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos aceptados como válidos y también es analítico, porque se estudiaron y conocieron los resultados obtenidos.

#### **3.4.4. Diseño de investigación**

Considerando la manipulación de las variables independientes, el diseño fue experimental y factorial mixta de 3x3 (Hernández et al., 2014).

#### **3.4.5. Variables de investigación**

##### **Variable independiente**

El nivel de contaminación del agua residual sintética

##### **Variable dependiente**

La eficiencia de remoción de materia orgánica en el agua residual.

##### **Variable interviniente**

Aplicación de polvo de la semilla moringa.

**Tabla 2.** Variables de investigación

<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Independiente	Nivel de contaminación del agua residual sintética. Se refiere a la alteración de los parámetros del agua por actividades antropogénicas que pueden causar daño a la salud o al medio ambiente si no reciben tratamiento previo.	Concentración de materia orgánica y concentración de Sólidos Totales.	mg/L de DQO y mg/L de ST del agua residual sintética antes al inicio.
Dependiente	Remoción de la materia orgánica. Uno de los principales contaminantes de las aguas residuales es la materia orgánica que puede limitar el oxígeno del agua y contribuir a una serie de problemas en el tratamiento del mismo.	Tratamiento para remover la concentración de materia orgánica y de Sólidos Totales.	mg/L de DQO del agua residual después de cada tratamiento a diferentes concentraciones de M.O y Sólidos Totales.

**Tabla 3.** Niveles para los factores de la investigación

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>		
	<b>Nivel (1)</b>	<b>Nivel (2)</b>	<b>Nivel (3)</b>
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3

Donde: Concentración de materia orgánica del agua residual sintética (A), A1:1000 ppm de DQO, A2:2000 ppm de DQO, A3: 4000 ppm de DQO, Concentración de Sólidos totales (B), B1:50 ppm de ST, B2: 100 ppm de ST, B3: 200 ppm de ST

**Tabla 4.** Matriz de diseño de la investigación

<b>Nº</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Eficiencia de remoción de carga orgánica</b>
	<b>(mg/L de DQO)</b>	<b>(mg/L de SST)</b>	<b>(%)</b>
1	1	1	-

N°	A	B	Eficiencia de remoción de carga orgánica
	(mg/L de DQO)	(mg/L de SST)	(%)
2	1	2	-
3	1	3	-
4	2	1	-
5	2	2	-
6	2	3	-
7	3	1	-
8	3	2	-
9	3	3	-

Donde: Concentración de materia orgánica del agua residual sintética (A), Concentración de SST en el agua residual sintética (B). A cada tratamiento se le realizó tres réplicas.

#### 3.4.6. Análisis estadístico

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

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica.

En la Tabla 5, se pueden observar algunas características fisicoquímicas del agua residual sintética, donde se observa que los valores obtenidos en cuanto a la DQO, son aproximados, en referencia a los valores planteados inicialmente, esto puede explicarse por la calidad del agua utilizada o por la favorable solubilidad de los materiales utilizados en la preparación.

**Tabla 5.** Características fisicoquímicas básicas del agua residual sintética.

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Agua residual sintética		
		ARS1	ARS2	ARS3
pH	Unidades de pH	6.23	6.96	7.83
Temperatura	°C	24.60	24.98	25.37
DQO	mg/L	1096	2054	4136
Sólidos Totales	mg/L	142	264	582
Conductividad	μS/cm	2106	4205	8365

Donde: ARS1: Agua residual sintética para 1096 ppm de DQO, ARS2: Agua residual sintética para 2054 ppm de DQO, ARS3: Agua residual sintética para 4136 ppm de DQO

Por otro lado, también se observa que tanto la concentración de sólidos totales y la conductividad y el pH son directamente proporcionales a la concentración de la DQO, este es un efecto de la dilución tanto de iones como de otros compuestos en el agua residual sintética utilizada, así mismo del pH que alcanzaron el cual es favorable para la solubilidad de las sustancias agregadas.

En otras investigaciones en la que se han utilizado aguas residuales sintéticas, a fin de mantener una calidad estándar en cuanto a las características fisicoquímicas, se han producido valores aproximados del DQO, como es el caso de Torres et al. (1996), quienes tuvieron una variación entre el valor de DQO deseado y el obtenido, de 500 mg/l, el cual presentó entre 400-665 mg/l equivalente a una media de  $536 \pm 54$ , y un 10 % de coeficiente de variación.

Kargol et al. (2023), realizaron una investigación, para elaborar un agua residual sintética, preparada de materiales disponibles y evaluaron sus características y su costo. Estos

investigadores utilizaron alimento concentrado para perros en dos marcas diferentes, como parte de su metodología, realizaron una hidratación de los pellets y luego esta solución fue autoclaveada, y evaluada. Como parte de la evaluación, mencionan el inconveniente de la formación de sólidos suspendidos y también la alta concentración de nitrógeno total que fue 3150 mg/l, probablemente debido a la disolución completa de las partículas y liberación de grandes cantidades de nitrógeno orgánico en la solución.

La conductividad electrolítica es uno de los estándares de calidad del agua que se ha utilizado ampliamente en diversos campos, incluido el seguimiento del medio acuático. Estima la concentración total de sustancia ionizada en una solución electrolítica. El valor de la conductividad electrolítica tiene una relación con los sólidos totales disueltos (TDS), la relación entre TDS y conductividad eléctrica, define la concentración de iones en el (Fransiska, 2021).



**Figura 8.** Agua residual sintética utilizada en la investigación

**Tabla 6.** Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO, por aplicación del polvo de semillas de moringa.

Tratamiento	Concentración Inicial de DQO del ARS (mg/L)	Concentración final de DQO del ARS (mg/L)	Eficiencia de reducción de DQO (%)
T1	1096.00	471.37	56.99
T2	2054.00	615.50	70.03
T3	4136.00	713.13	82.76

<b>Tratamiento</b>	<b>Concentración Inicial de DQO del ARS (mg/L)</b>	<b>Concentración final de DQO del ARS (mg/L)</b>	<b>Eficiencia de reducción de DQO (%)</b>
To1	1096.00	1039.00	5.20
To2	2054	2037	0.83
To3	4136	4089	1.14

Donde: T1, T2 y T3, son los tratamientos aplicados al agua residual sintética (ARS), mediante la adición de polvo de semillas de moringa y To1, To2 y To3, son los testigos de cada tratamiento.

En la Tabla 7, se puede observar que la eficiencia de reducción de DQO, por aplicación del polvo de semillas de moringa es directamente proporcional a la concentración de la DQO del agua residual, esto podría explicarse por la presencia de sólidos suspendidos en el agua, los cuales son de naturaleza coloidal, que al entrar en contacto con las partículas de semillas de moringa, reducen su potencial zeta y terminan sedimentando. Así también es posible que los flóculos formados en estos sistemas desarrollen un mecanismo de adsorción de amplia gama de compuestos, debido a la presencia de diversos grupos funcionales en la semilla de moringa, que al desplazarse por todo el medio acuoso en su tiempo de sedimentación, vayan fijado en su superficie sustancias que forman parte de la DQO.

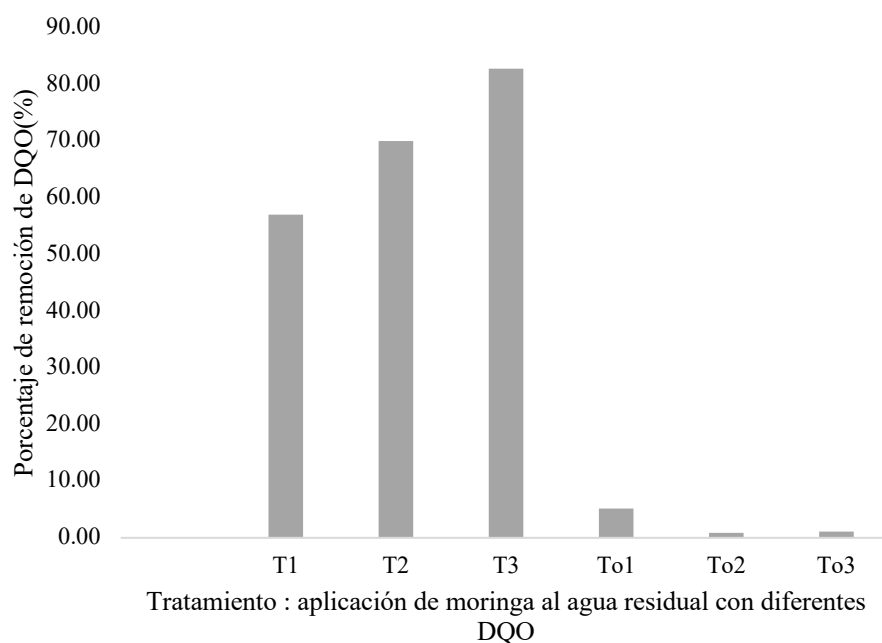
Otro resultado que se puede observar es la reducción de la DQO en los testigos, este efecto se puede explicar por la colisión espontánea de sólidos suspendidos presentes en cada solución, que flocculan espontáneamente y sedimentan, contribuyendo a la reducción de carga orgánica.

Los procesos fisicoquímicos como la coagulación y la floculación pueden minimizar la contaminación y proporcionar agua limpia para su reutilización. Estos procesos se aplican comúnmente como una fase de pretratamiento o como un paso de postratamiento, según la naturaleza de la muestra que se está tratando y el plan de tratamiento general utilizado. Todo el ciclo de tratamiento de coagulación-floculación consta de dos tratamientos diferentes y consecutivos. El primero es la coagulación, que es el mecanismo por el cual se desestabiliza una determinada suspensión o solución coloidal. El segundo subproceso, llamado floculación, se refiere a la incorporación de partículas desestabilizadoras para que se junten, hagan contacto y formen grandes aglomerados, que normalmente pueden separarse más fácilmente mediante la sedimentación por gravedad. La coagulación suele terminar en cuestión de segundos y la floculación tarda entre 20 y 45 min. Las partículas desestabilizadas resultantes quedan

suficientemente adheridas y se depositan en la siguiente unidad de tratamiento. El ingrediente más importante en la purificación del agua es un coagulante natural, como la semilla de *Moringa oleifera*, que se ha utilizado para tratar aguas residuales porque no es perjudicial para los humanos y no tiene inconvenientes notable( Wendesen y Million , 2021).

Muchos estudios hacen referencia a la participación de proteínas catiónicas en la adsorción e integración de partículas desestabilizadas durante el proceso de coagulación de las semillas de *Moringa oleifera.*, así el proceso de coagulación mediante ha sido descrito que se produce por la formación de puentes y la floculación de impurezas (partículas cargadas negativamente) se debe a la asociación de polímeros cargados positivamente a las superficies de partículas a través de fuerzas de Coulomb. Además resulta en partículas aglomeración debido a la neutralización de la carga superficial y reducción de repulsión electrostática ( Wendesen y Million , 2021).

Sulaiman et al. (2019) menciona que el tratamiento de aguas residuales en serie desde coagulación-floculación hasta sedimentación-filtración utilizando las semillas de *Moringa oleifera*, revelaron turbidez máxima y eliminación de materiales en suspensión. El polvo de las semillas genera menos volumen de lodo y promueven la eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO).



**Figura 9.** Eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual con tres concentraciones distintas de DQO, por aplicación de polvo de semillas de moringa.

#### 4.2. Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales.

Con los resultados de la Tabla 7, se puede observar la influencia de la presencia de sólidos suspendidos en el agua, en la reducción de carga orgánica por efecto de las semillas de moringa, ya que en esta etapa de la investigación, se mantuvo constante la DQO.

**Tabla 7.** Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de SST, por efecto de la aplicación de semillas de moringa.

Tratamiento	Concentración Inicial de DQO del ARS (mg/L)	Concentración de ST en el ARS (mg/L)	Concentración final de DQO del ARS (mg/L)	Eficiencia de reducción de DQO (%)
ST1	500.00	50.00	98.77	80.25
ST2	500.00	100.00	133.00	73.40
ST3	500.00	200.00	168.23	66.35
STo1	500.00	50.00	495.87	0.83
STo2	500.00	100.00	465.20	6.96
STo3	500.00	200.00	420.73	15.85

Donde: ST1, ST2 y ST3, son las concentraciones de sólidos suspendidos de los tratamientos realizados con aplicación del polvo de semilla de moringa y STo1, STo2 y STo3, son los testigos de los tratamientos.

Los resultados muestran mayor eficiencia de reducción de DQO, cuando los sólidos suspendidos están en la mas baja concentración, de aquí se podría inferir que a concentraciones más bajas de carga orgánica, las partículas de semilla de moringa ejercen un mayor potencial de adsorción, mientras que, cuando la concentración de sólidos suspendidos incrementa, el mecanismo que se produce es la coagulación-floculación la cual según los resultados, reduce la DQO pero en menor proporción.

Los testigos también presentaron reducción de DQO, siendo más elevada cuando mayor fue la concentración de sólidos suspendidos, este podría deberse al desarrollo de una coagulación -floculación espontánea.

Los coagulantes se unen a las partículas coloidales y materia orgánica disuelta, lo que facilita su eliminación. mediante sedimentación, flotación o filtración (Asmaa et al.,2022).

En la presente investigación, se utilizó una dosis de polvo de semillas de moringa de 100 mg/L, la cual por los resultados obtenidos es adecuada para la remoción de

contaminantes, reduciendo en este caso un máximo de 80.25% de la DQO, en el tratamiento con menor cantidad de sólidos suspendidos.

Kasmuri et al. (2023), realizaron una investigación para determinar la cantidad de dosis de coagulante de diferentes tipos de productos de origen vegetal, evaluaron su eficacia mediante la lectura de la concentración de DQO. Estos investigadores demostraron que *Moringa oleífera*, ha sido eficaz para disminuir drásticamente el valor de la DQO. Cuando la dosis de coagulante es de 60 mg/L, el valor de DQO es de 8,33 mg/L. La otra especie que se utilizó fue el maíz, que también se encuentran entre los valores decrecientes cuando la dosis de coagulante es de 10 mg/L y el valor de DQO es de 10 mg/L. Los resultados respecto a la demanda química de oxígeno (DQO) presentaron una tasa de reducción del 95% utilizando semillas de *Moringa oleífera*. y una tasa de reducción de 100% respecto a los sólidos suspendidos totales utilizando semillas mixtas de *Moringa oleífera* y semillas de maíz para la muestra de efluente.

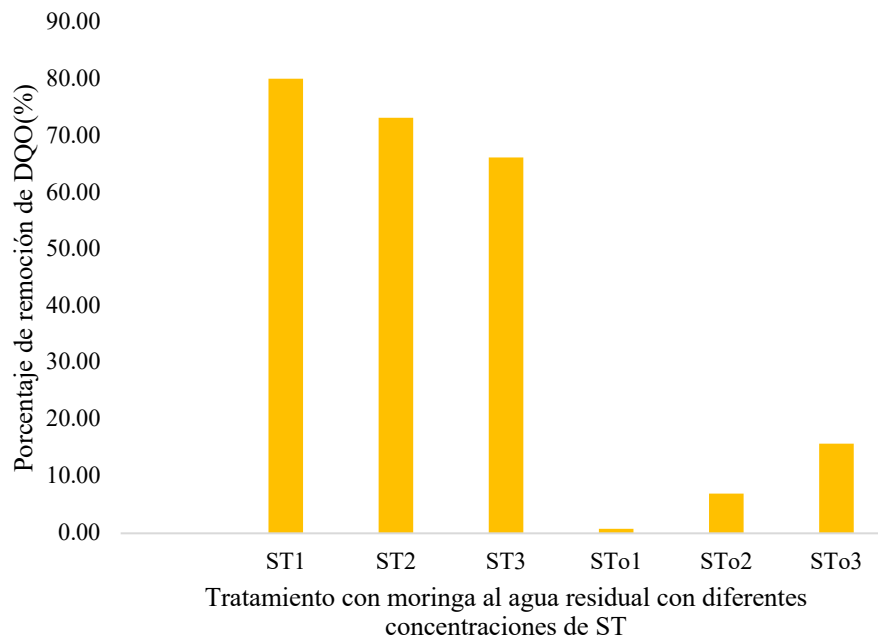
Aziz y Suriati (2019), realizaron un estudio para evaluar el impacto de la aplicación de polvo de las semillas de moringa en los parámetros fisicoquímicos en agua de río, como parte de los resultados, demostraron que la DQO aumenta cuando aumenta la concentración del polvo de semilla de moringa. En otras palabras, la DQO es directamente proporcional a la cantidad de polvo de semillas de moringa utilizada. La proteína de las semillas de moringa aumenta el valor de DQO.

Mohd et al. (2009), menciona que las partículas suspendidas y coloides se eliminan del agua mediante procesos de coagulación y floculación que desarrollan diferentes mecanismos como: atracción electrostática, sorción (relacionada con grupos amina protonados) y puentes (relacionado con el polímero de alto peso molecular). Estos investigadores evaluaron la eficacia del quitosano para coagular suspensiones minerales, y en sus resultados reportan que el proceso se mejora debido a la presencia de solutos inorgánicos o debido a la adición de materiales extraídos de suelos a pH alto.

Los resultados de esta investigación demostraron que cuando menor es la concentración de sólidos suspendidos, mayor es la reducción de la DQO, al respecto podemos decir que el exceso de partículas en suspensión interrumpe el proceso de coagulación-floculación de las semillas de moringa, ya que las partículas excedentes podrían colmatar los flóculos formados y generar una reestabilización.

Para la dosis óptima de quitosano de 30 mg/l, se registró la mayor reducción de parámetros, que fueron la reducción del 94,90% y del 72,50% para turbidez y DQO respectivamente. En el rango de dosis de quitosano de 12 mg/l a 30 mg/l, el porcentaje de

reducción para DQO y la turbidez aumentó, este fenómeno podría explicarse en función de la densidad de carga, ya que el quitosano es un coagulante que tiene una alta densidad de carga, con una rápida desestabilización de partículas y requiere menos cantidad de coagulante para desestabilizar las partículas. El porcentaje de reducción de DQO y turbidez fue menor cuando la concentración de dosificación de quitosano estaba en el rango de 30 mg/l a 66 mg/l. Este bajo rendimiento se debió al fenómeno del exceso de polímero que se adsorbe en la superficie. superficies coloidales y produciendo coloides reestabilizados. Por lo tanto, no hubo sitios disponibles en las superficies de las partículas para la formación de puentes entre partículas. Las partículas coloidales reestabilizadas pueden cargarse positivamente y causar la repulsión electrostática entre los sólidos en suspensión (Mohd et al.,2009).



**Figura 10.** Eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual con la misma concentración de DQO y tres concentraciones diferentes de sólidos totales, por aplicación de semillas de moringa

**4.3. Determinación de la eficiencia del polvo de semillas de *Moringa oleífera* (moringa) para la remoción de carga orgánica en un agua residual a diferentes concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos totales.**

En la Tabla 8, se puede observar que la mayor reducción de DQO, se obtiene cuando el agua residual tiene la mayor DQO y la menor concentración de sólidos suspendidos, esto podría explicarse porque la menor concentración de sólidos suspendidos favorece que las partículas de semillas de moringa ejerzan más adsorción que coagulación- floculación.

**Tabla 8.** Remoción de carga orgánica de un agua residual con diferentes concentraciones de DQO y de sólidos suspendidos, mediante la aplicación de polvo de semillas de moringa, medidas en función a la reducción de DQO.

Tratamiento ARS+Moringa	Repeticiones	Concentración Inicial de DQO del ARS (mg/L)	Concentración de ST en el ARS (mg/L)	Concentración final de DQO del ARS (mg/L)	Eficiencia
					de reducción de DQO (%)
ST-T1		1096.00	50.00	646.57	41.01
ST-T01	Testigo	1096.00	50.00	991.40	9.54
ST-T2		1096.00	100.00	581.30	46.96
ST-T02	Testigo	1096.00	100.00	962.80	12.15
ST-T3		1096.00	200.00	520.00	52.55
ST-T03	Testigo	1096.00	200.00	936.40	14.56
ST-T4		2054.00	50.00	795.20	61.29
ST-T04	Testigo	2054.00	50.00	1972.20	3.98
ST-T5		2054.00	100.00	666.87	67.53
ST-T05	Testigo	2054.00	100.00	1947.40	5.19
ST-T6		2054.00	100.00	548.97	73.27
ST-T06	Testigo	2054.00	200.00	1918.70	6.59
ST-T7		4136.00	50.00	410.17	90.08
ST-T07	Testigo	4136.00	50.00	3980.10	3.77
ST-T8		4136.00	50.00	516.13	87.52
ST-T08	Testigo	4136.00	100.00	3920.7	5.21
ST-T9		4136.00	200.00	719.3	82.61
ST-T09	Testigo	4136.00	200.00	3822.7	7.57

Sin embargo es importante mencionar que la concentración de carga orgánica en el agua también influye en la eficiencia de reducción de DQO, ya que el menor valor de reducción de DQO, se obtuvo en el tratamiento que tuvo la menor concentración de DQO y de sólidos suspendidos, por tal razón se puede decir que la carga orgánica es adsorbida y fijada en multicapas cuando la concentración está presente en exceso.

Al-Jadabi et al. (2023), mencionan los mecanismos que se desarrollan cuando se usa la semilla de moringa como coagulante y parten de la importancia de la medida del potencial zeta que tiene como objetivo determinar el mecanismo del proceso de coagulación, que depende de fuerzas electrostáticas entre cargas transportadas por partículas coloidales. Por otro lado, numerosos estudios demostraron que los mecanismos dominantes de eliminación de contaminantes mediante el extracto de semilla de Moringa oleífera parecen consistir en la adsorción y neutralización de carga de coloides/partículas coloidales y desestabilizadas, con un valor de proteína activa PI (punto isoeléctrico) superior a 9,6. y peso de la molécula a <6,5 kDa.

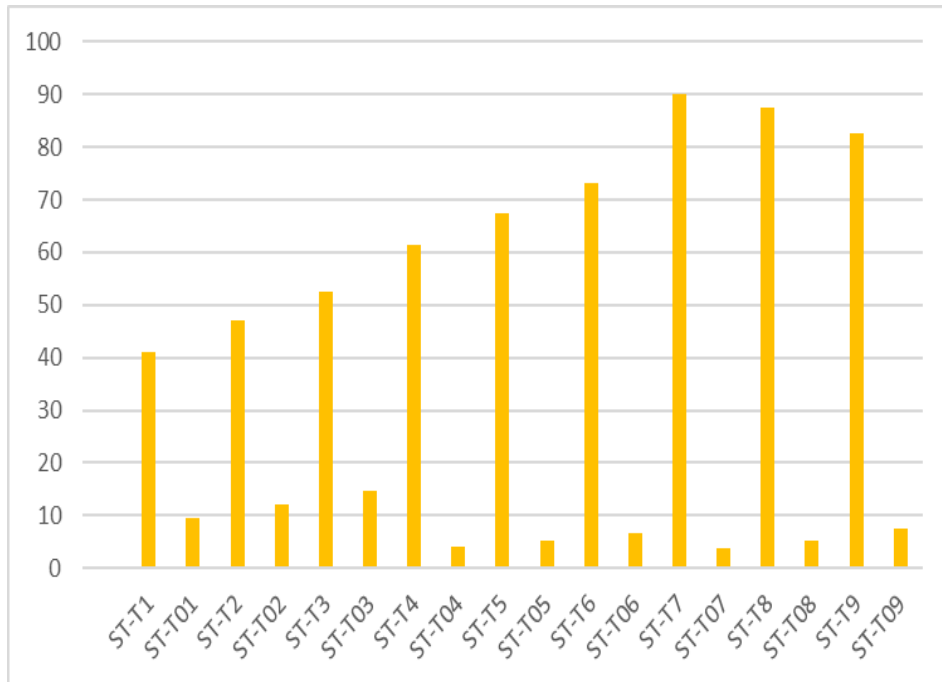
Así, la formación de flóculos provocados por la colisión de partículas conducirá a la saturación interpartículas de los diferentes sectores cargados de coagulación observada. El mecanismo de coagulación de los componentes orgánicos no proteínicos propuesto es el de un proceso en forma de red, similar a los procesos de coagulación por barrido. En el sistema acuoso, el aumento de los valores de pH debido a la disponibilidad de aminoácidos básicos en la proteína de la semilla de Moringa oleífera juega un papel en aceptar un protón del agua con la liberación de un grupo hidroxilo, lo que aumenta los valores de pH. El poder de adsorción del nivel de pH oscila entre 5 y 8,67. Además, el efecto de las aguas residuales puede desempeñar un papel importante entre los coloides hidrofóbicos y las proteínas de Moringa oleífera. Se informó que la coagulación era el mecanismo adecuado para eliminar la tetraciclina del agua contaminada como resultado de su interacción con los sitios de unión de lectinas.

Safaa et al. (2023) realizaron una investigación para evaluar la efectividad del tratamiento de los efluentes de una planta de aceite de oliva, mediante procedimiento de flotación y coagulación utilizando Moringa oleífera. El análisis fisicoquímico del efluente mostró altos niveles de demanda química de oxígeno (DQO) original con una concentración de aproximadamente 230,4 g/L, turbidez y polifenoles con una concentración inicial de alrededor de 5,4 g/L. Después de la flotación natural, los polifenoles, la turbidez y la DQO se redujeron en un 16,6%, 50% y 31,2%, respectivamente. La turbidez, los sólidos suspendidos, la DQO, los

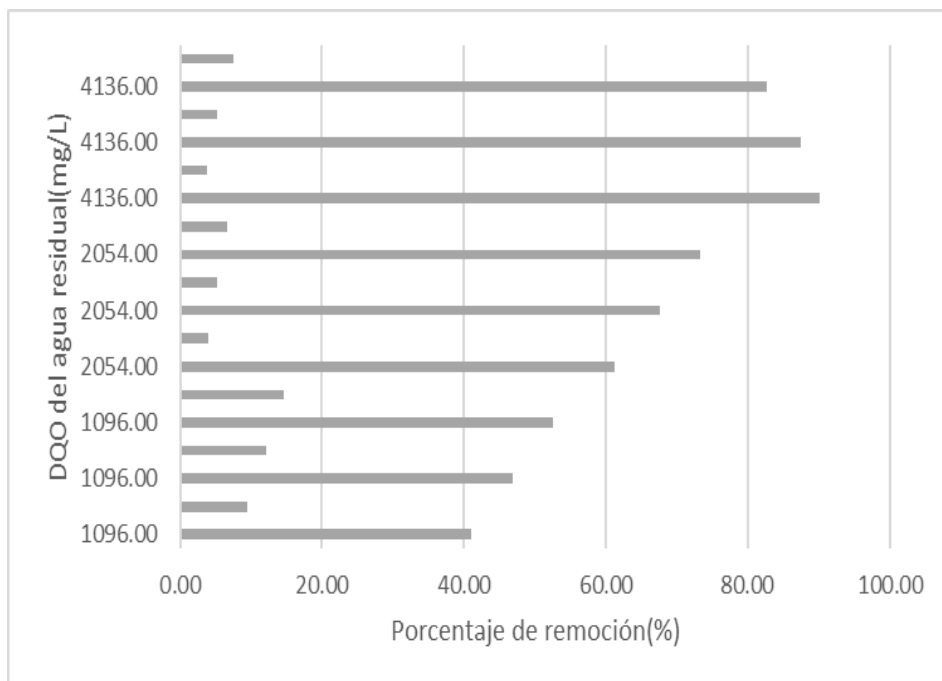
polifenoles y los nitratos se eliminaron mediante flotación y coagulación naturales con *Moringa oleifera* con porcentajes de aproximadamente 83%, 74,5%, 57,6%, 65,6% y 73,3%, respectivamente. Al comparar el valor de la reducción de DQO en esta investigación vemos que el valor máximo fue 90.08%, el cual es superior, sin embargo es necesario mencionar que las concentraciones de DQO del agua residual sintética fue mucho menor.

Rahmadyanti et al. (2020), determinaron la efectividad de la combinación entre semillas de *Moringa oleifera* como coagulante natural en unidades de coagulación- floculación y un humedal artificial de flujo subterráneo vertical para tratar las aguas residuales del proceso de café. Para eso añadieron semillas de *Moringa oleifera* en polvo de 100 mg/L en un humedal artificial vertical de flujo subterráneo con un tiempo de retención de 8 días obteniendo un efluente con pH cercano a neutro de  $6,65 \pm 0,04$ , la reducción TSS a  $99,63 \pm 0,10\%$ , DQO de  $98,06 \pm 0,04\%$  y DBO a  $97,67 \pm 0,24\%$ .

Al-Gheethi et al. (2017), reportaron los resultados de su investigación basada en el tratamiento de aguas residuales de lavandería mediante coagulación, utilizando coagulantes químicos (sulfato ferroso) y naturales. (Semillas de *Moringa oleifera*). El agua residual fue sometida a un proceso de tratamiento con procesos de aireación, coagulación y sedimentación. Las dosis de coagulantes fueron 30, 60, 90 y 120 mg L<sup>-1</sup> y el proceso de coagulación se realizó a temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante una hora. Las aguas residuales de la lavandería tenían altas concentraciones de turbidez (57,8-68,1 NTU) y demanda química de oxígeno (DQO) (423-450 mg L<sup>-1</sup>) con un pH entre 7,96 y 8.37. Las semillas de *M. oleifera* exhibieron una alta eficiencia para la eliminación de turbidez (83,63%) con 120 mg L<sup>-1</sup> de dosificación, mientras que 30 mg L<sup>-1</sup> de FeSO<sub>4</sub> fue el mejor para la eliminación de DQO (54,18%). Estos investigadores sugieren aumentar el período del proceso de coagulación con semillas de *M. oleifera* para mejorar su eficiencia.



**Figura 11.** Porcentaje de reducción de DQO, en los tratamientos del agua residual con distintas concentraciones de sólidos suspendidos y sus respectivos testigos, mediante la aplicación de polvo de semillas de moringa.



**Figura 12.** Reducción de DQO, en los tratamientos del agua residual con distintas concentraciones de sólidos suspendidos y sus respectivos testigos, mediante la aplicación de polvo de semillas de moringa.

#### 4.4. Resultados del análisis estadístico

Los análisis de varianza realizados a los resultados de cada etapa de la investigación demuestran con un intervalo de confianza de 95%, que la remoción de carga orgánica de un agua residual sintética, por efecto de la aplicación de polvo de semillas de moringa presenta diferencia significativa, en las tres concentraciones de DQO, así también presenta diferencia significativa, en las tres concentraciones de Sólidos suspendidos.

Sin embargo, en el análisis de varianza de los tratamientos con diferentes concentraciones de DQO y diferentes concentraciones de Sólidos suspendidos, la eficiencia de reducción presenta diferencia significativa en función a las tres concentraciones de DQO, pero en referencia a la concentración de sólidos suspendidos, la eficiencia de reducción sólo difieren entre los 50 ppm y las 200 ppm, ya que la reducción de DQO a 100ppm no presenta diferencia significativa con las otras dos concentraciones. Finalmente el factor de correlación de 0.94 entre la concentración inicial de la DQO y la eficiencia de remoción de carga orgánica (Ver anexo 8.2).

## V. CONCLUSIONES

La remoción de carga orgánica de un agua residual sintética utilizando semillas de moringa, es directamente proporcional a la concentración de DQO.

La remoción de carga orgánica de un agua residual sintética utilizando semillas de moringa, es inversamente proporcional a la concentración de Sólidos Suspendidos.

La mayor remoción de carga orgánica de un agua residual sintética utilizando semillas de moringa se obtuvo cuando la mayor concentración de DQO y menor concentración de Sólidos Suspendidos.

La menor remoción de carga orgánica de un agua residual sintética utilizando semillas de moringa se obtuvo cuando la menor concentración de DQO y menor concentración de Sólidos Suspendidos.

La remoción de carga orgánica del agua residual sintética se produce espontáneamente en un bajo porcentaje como lo evidencian los testigos.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

Aplicar los resultados de esta investigación en un agua residual real y evaluar las ventajas y desventajas de las semillas de moringa en el tratamiento de aguas residuales

Realizar una investigación para evaluar la optimización de la dosis de semillas de moringa según las características de las aguas residuales

Investigar el manejo de adecuado de la semilla de moringa para favorecer el desarrollo del potencial requerido, es decir como coagulante y adsorbente,

Realizar una investigación para la determinación de las propiedades y composición de las semillas de moringa y aislar los componentes activos que son los ejercen los mecanismos de depuración de aguas residuales.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aldas, C., Ruiz, K. (2020). Aplicación de la Moringa oleífera como biocoagulante en dos plantas de tratamiento de aguas domésticas en Samborondón 2021. Tesis para optar el título profesional de Ing. Ambiental. Universidad Agraria del Ecuador.
- Al-Gheethi A. Mohamed RMSR., Wurochekke A., Nurulainee NR., Mas Rahayu J., Amir Hashim MK. (2017). Efficiency of Moringa oleifera Seeds for Treatment of Laundry Wastewater. *MATEC Web of Conferences* 103, 06001, DOI: 10.1051/mateconf/201710306001.
- 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*.; 15(5):4280. <https://doi.org/10.3390/su15054280>
- Aziz Qannaf Aziz Zaid, Suriati Binti Ghazali(2019). Preliminary Investigation of Water Treatment Using Moringa Oleifera Seeds Powder as Natural Coagulant: A Case Study of Belat River, Malaysia. *The International Journal of Engineering and Science*,8(2),pp 79-85, DOI:10.9790/1813-0802017985.
- Asmaa A. Amina, Hanan A. Solimanb, Khalid S. Hashemc (2022). *Moringa oleifera* seeds extract improves the quality of treated wastewater of Byad-Elarab plant, Beni-Suef, Egypt. *Egypt. J. Chem.*, 65, No. SI:13B pp. 887 – 894.
- Amézquita Serrano, B.E. (2003). Estudio del desempeño de un filtro percolador con empaque estructurado. Tesis Licenciatura, Universidad de las Américas, Puebla.
- De la Sota, G. (2019). “Uso de las semillas de Moringa oleifera Lam. Como coagulante para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil”. Tesis para optar el título profesional de Ing. Ambiental. Universidad Científica del Sur.
- Díaz, E., Alvarado, A., Camacho, K. (2018). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera,
- Fransiska Sri Herwahyu Krismastuti (2021). The stability study of electrolytic conductivity synthetic wastewater. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1011 012012 14(1):78-97. doi:10.1088/1757-899X/1011/1/012012.

- Gargallo, S. (2018). Determinación de contaminantes orgánicos semivolátiles por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Universitat de Girona. [https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/176372/TFM\\_Sara\\_Gargallo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/176372/TFM_Sara_Gargallo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gonzales F. (2018). Un estudio transversal de *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) Revisión. *Dominguezia* - Vol. 34(1).
- González Leyva, J. K., & Fandiño Mican, M. C. (2018). Evaluación de la semilla de moringa como coagulante en aguas residuales de curtiembre. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario en la Universidad de La Salle [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/737](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/737)
- Gonzales G., Zevallos A., Gonzales-Castañeda C, Nuñez D, Gastañaga C, Cabezas C. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* ;31(3):547-56.
- Guadarrama-Tejas, R., Kido-Miranda, J., Roldan-Antunez, G., Salas Salgado, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* 2016, 2-5: 1-10
- Hernández R., Fernández C. Baptista M. (2010). *Metodología de la Investigación*, Mcgraw-Hill/ Interamericana editores, s.a. de c.v. Quinta Edición.
- Kargol AK, Burrell SR, Chakraborty I, Gough HL (2023) Synthetic wastewater prepared from readily available materials: Characteristics and economics. *PLOS Water* 2(9): e0000178. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000178>.
- Kasmuri, N., Shokree N., Zaini N., Ismai, N., Miskon, M., Ramli N., Nayono, S. (2023). Treatment of Wastewater by Moringa Oleifera and Maize Seeds as Plant-Based Coagulant. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1140 012010, doi:10.1088/1755-1315/1140/1/012010.
- Liu, Y., Wang, X. Y., Wei, X. M., Gao, Z. T., & Han, J. P. (2018). Values, properties and utility of different parts of *Moringa oleifera*: An overview. *Chinese Herbal Medicines*, 10(4), 371-378. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2018.09.002>
- Mohd H., Pei Li, T., Zainura Z. (2009). Coagulation and flocculation treatment of wastewater in textile industry using chitosan. *Journal of Chemical and Natural Resources Engineering*, 4(1):43-53.

- Mejía Carrillo, P. W., Urquía Collantes, K., Cabello Torres, R. J., Valdiviezo Gonzales, L. G. (2020). Evaluation of Moringa oleifera in the water treatment with high turbidity and organic. *Ingeniería del agua*, 24(2), 119-127. <https://doi.org/10.4995/Ia.2020.12274>
- Mera C., Gutierrez M., Montes C., Paz J. (2016). Efecto de la Moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol 14 No. 2 (100-109) Julio - Diciembre 2016. DOI:10.18684/BSAA(14)100-109.
- 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.
- Quispe, E. (2021). Remoción de sólidos suspendidos para mejorar la calidad de agua superficial en el sector Pampilla de la cuenca Azángaro, Ananea 2021. Tesis para optar el título profesional de Ing. Ambiental. Universidad Continental. 69 p.
- Rahmadyanti E., Wiyono, A. Aritonang N. (2020). Combination of phytocoagulant moringa oleifera seeds and constructed wetland for coffee processing wastewater treatment, *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(1), 728-745.
- Raffo, E., Ruiz E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. [fecha de Consulta 9 de Febrero de 2022]. ISSN: 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640855010>.
- Rodríguez S., Muñoz R., García O., Fernández E. (2005) Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *Ciencias Químicas*, Vol. 36, No. Especial.
- Rondón M., Díaz Y., Rodríguez S., Guerra B., Fernández E, Tabio D. (2017). Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. XXXVIII, No. 2, p.87-101.
- SENAMHI. 2019. Condiciones de tiempo. Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú. [En línea]: SENAMHI, ([http://www.senamhi.gob.pe/main\\_mapa.php?t=dHi](http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi)). Artículo, 25 Junio del 2019.
- Sulaiman, M., Zhigila, D., Kabiru Mohammed, Danladi Mohammed Umar, Babale Aliyu, Fazilah Abd Manan. (2019). Moringa Oleifera Seed as Alternative Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment: A Review. *Journal of Advanced Research in Materials Science* 56, Issue 1, 11-21.
- Tie, J., Jiang, M., Li, H., Zhang, S., & Zhang, X. (2015). A comparison between Moringa oleifera seed presscake extract and polyaluminum chloride in the removal of direct black

19 from synthetic wastewater. *Industrial Crops and Products*, 74, 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.004>.

Torres, P., Foresti, E. y Vazoller, R. (1996). Composición y uso de agua residual doméstica en reactores a escala de laboratorio. <https://pdfs.semanticscholar.org/3998/fa6b7ce807b703698efd93e19202cac39f00>.  
pdf?ga=2.227726873.507727672.1579124487-1993341462.1574778564.

Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S., Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1),17-34. [fecha de Consulta 9 de Febrero de 2022]. ISSN: 0120-100X. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342031331003>.

Vela, C. (2016). Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural Moringa oleífera en aguas obtenidas del rio Alto Chicama, puente Ingón. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad César Vallejo. Trujillo-Perú.

Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology, *Heliyon*, 7, 11, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>.

## VIII. Anexos

### 8.1. Datos experimentales de la investigación

**Tabla 9.** Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO, por efecto de la adición del polvo de semillas de moringa.

Tratamiento	Repeticiones	Concentración Inicial de DQO del ARS (mg/L)	Concentración final de DQO del ARS (mg/L)	Eficiencia de reducción de DQO (%)
T1	1R	1096.00	480.70	56.14
T1	2R	1096.00	476.10	56.56
T1	3R	1096.00	457.30	58.28
T2	1R	2054.00	648.10	68.45
T2	2R	2054.00	602.30	70.68
T2	3R	2054.00	596.10	70.98
T3	1R	4136.00	728.20	82.39
T3	2R	4136.00	698.40	83.11
T3	3R	4136.00	712.80	82.77
To1	1R	1096.00	1041.00	5.02
To1	2R	1096.00	1027.00	6.30
To1	3R	1096.00	1049.00	4.29
To2	1R	2054.00	2035.00	0.93
To2	2R	2054.00	2052.00	0.10
To2	3R	2054.00	2024.00	1.46
To3	1R	4136.00	4098.00	0.92
To3	2R	4136.00	4057.00	1.91
To3	3R	4136.00	4112.00	0.58

**Tabla 10.** Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales, por efecto de la adición del polvo de semillas de moringa

Tratamiento	Repeticiones	Concentración Inicial de DQO del ARS (mg/L)	Concentración de SST en el ARS (mg/L)	Concentración final de DQO del ARS (mg/L)	Eficiencia de reducción de DQO(%)
ST1	1R	500.00	50.00	100.90	79.82
ST1	2R	500.00	50.00	98.60	80.28
ST1	3R	500.00	50.00	96.80	80.64
ST2	1R	500.00	100.00	136.80	72.64
ST2	2R	500.00	100.00	132.70	73.46
ST2	3R	500.00	100.00	129.50	74.10
ST3	1R	500.00	200.00	164.00	67.20
ST3	2R	500.00	200.00	172.50	65.50
ST3	3R	500.00	200.00	168.20	66.36
STo1	1R	500.00	50.00	498.30	0.34
STo1	2R	500.00	50.00	495.70	0.86
STo1	3R	500.00	50.00	493.60	1.28
STo2	1R	500.00	100.00	469.20	6.16
STo2	2R	500.00	100.00	465.80	6.84
STo2	3R	500.00	100.00	460.60	7.88
STo3	1R	500.00	200.00	423.80	15.24
STo3	2R	500.00	200.00	420.10	15.98
STo3	3R	500.00	200.00	418.30	16.34

**Tabla 11.** Remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO y diferentes concentraciones de SST, por efecto de la adición del polvo de semillas de moringa

Tratamiento ARS+Moringa	Repeticiones	Concentración Inicial de DQO del ARS (mg/L)	Concentración de ST en el ARS (mg/L)	Concentración final de DQO del ARS (mg/L)	Eficiencia de reducción de DQO(%)
ST-T1	1R	1096.00	50.00	648.10	40.87
	2R	1096.00	50.00	638.90	41.71
	3R	1096.00	50.00	652.70	40.45
ST-T01	Testigo	1096.00	50.00	991.40	9.54
	1R	1096.00	100.00	568.50	48.13
	2R	1096.00	100.00	591.20	46.06
ST-T02	3R	1096.00	100.00	584.20	46.70
	Testigo	1096.00	100.00	962.80	12.15
	1R	1096.00	200.00	521.20	52.45
ST-T3	2R	1096.00	200.00	516.30	52.89
	3R	1096.00	200.00	522.50	52.33
	Testigo	1096.00	200.00	936.40	14.56
ST-T4	1R	2054.00	50.00	796.10	61.24
	2R	2054.00	50.00	804.60	60.83
	3R	2054.00	50.00	784.90	61.79
ST-T04	Testigo	2054.00	50.00	1972.20	3.98
	1R	2054.00	100.00	645.70	68.56
	2R	2054.00	100.00	669.70	67.40
ST-T5	3R	2054.00	100.00	685.20	66.64
	Testigo	2054.00	100.00	1947.40	5.19
	1R	2054.00	200.00	510.80	75.13
ST-T6	2R	2054.00	200.00	546.80	73.38
	3R	2054.00	200.00	589.30	71.31
	Testigo	2054.00	200.00	1918.70	6.59
ST-T7	1R	4136.00	50.00	424.40	89.74
	2R	4136.00	50.00	410.80	90.07
	3R	4136.00	50.00	395.30	90.44
ST-T07	Testigo	4136.00	50.00	3980.10	3.77
	1R	4136.00	100.00	512.8	87.60
	2R	4136.00	100.00	524.9	87.31
ST-T8	3R	4136.00	100.00	510.7	87.65
	Testigo	4136.00	100.00	3920.7	5.21
	1R	4136.00	200.00	709.3	82.85
ST-T9	2R	4136.00	200.00	712.4	82.78
	3R	4136.00	200.00	736.2	82.20
	Testigo	4136.00	200.00	3822.7	7.57

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

Análisis de la varianza para la eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO, por efecto de la aplicación de polvo de semillas de moringa.

### Eficiencia de remoción de DQO(%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Eficiencia de remoción de ..	9	0.99	0.99	1.51

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	995.68	2	497.84	449.03	<0.0001
Concentración Inicial de ..	995.68	2	497.84	449.03	<0.0001
Error	6.65	6	1.11		
Total	1002.33	8			

### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 1.1087 gl: 6

Concentración Inicial de ..	Medias	n	E.E.	
1096.00	56.99	3	0.61	A
2054.00	70.04	3	0.61	B
4136.00	82.76	3	0.61	C

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

### Concentración final de DQO del ARS

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Concentración final de DQ..	9	0.97	0.97	3.31

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	88757.81	2	44378.90	112.59	<0.0001
Concentración Inicial de ..	88757.81	2	44378.90	112.59	<0.0001
Error	2364.93	6	394.16		
Total	91122.74	8			

### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 394.1556 gl: 6

Concentración Inicial de ..	Medias	n	E.E.	
1096.00	471.37	3	11.46	A
2054.00	615.50	3	11.46	B
4136.00	713.13	3	11.46	C

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

Análisis de la varianza para la eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales, por efecto de la aplicación de polvo de semillas de moringa.

#### Eficiencia de remoción de DQO(%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Eficiencia de remoción de ..	9	0.99	0.99	0.94

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	289.56	2	144.78	304.36	<0.0001
Concentración de ST en el ..	289.56	2	144.78	304.36	<0.0001
Error	2.85	6	0.48		
Total	292.41	8			

#### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.4757 gl: 6

Concentración de ST en el ..	Medias	n	E.E.	
200.00	66.35	3	0.40	A
100.00	73.40	3	0.40	B
50.00	80.25	3	0.40	C

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

#### Concentración final de DQO del ARS

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Concentración final de DQ..	9	0.99	0.99	2.59

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7238.93	2	3619.46	304.36	<0.0001
Concentración de ST en el ..	7238.93	2	3619.46	304.36	<0.0001
Error	71.35	6	11.89		
Total	7310.28	8			

#### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 11.8922 gl: 6

Concentración de ST en el ..	Medias	n	E.E.	
50.00	98.77	3	1.99	A
100.00	133.00	3	1.99	B
200.00	168.23	3	1.99	C

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

Análisis de la varianza para la eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual con diferentes concentraciones de DQO y Sólidos Suspendedos Totales, por efecto de la aplicación de polvo de semillas de moringa.

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Eficiencia de remoción de ..	27	0.95	0.94	6.25

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7294.71	4	1823.68	104.21	<0.0001
Concentración Inicial de ..	7164.03	2	3582.01	204.68	<0.0001
Concentración de ST en el ..	130.68	2	65.34	3.73	0.0402
Error	385.01	22	17.50		
Total	7679.72	26			

#### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 17.5003 gl: 22

Concentración Inicial de ..	Medias	n	E.E.	
1096.00	46.84	9	1.39	A
2054.00	67.36	9	1.39	B
4136.00	86.74	9	1.39	C

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

#### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 17.5003 gl: 22

Concentración de ST en el ..	Medias	n	E.E.	
50.00	64.13	9	1.39	A
100.00	67.34	9	1.39	A B
200.00	69.48	9	1.39	B

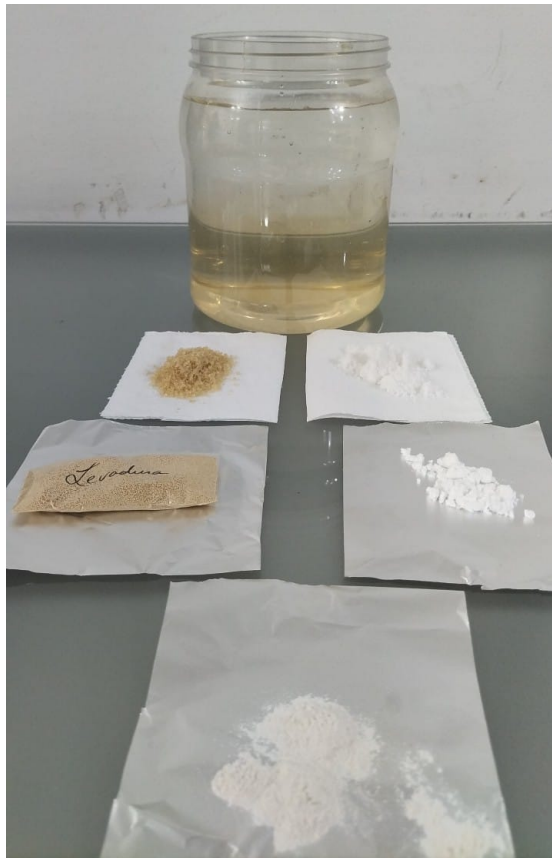
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

#### Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Efic de remoción ..	Conc Inicial DQO..	Conc de ST
Efic de remoción ..	1.00	0.00	0.54
Conc Inicial DQO..	0.94	1.00	1.00
Conc de ST ..	0.12	0.00	1.00

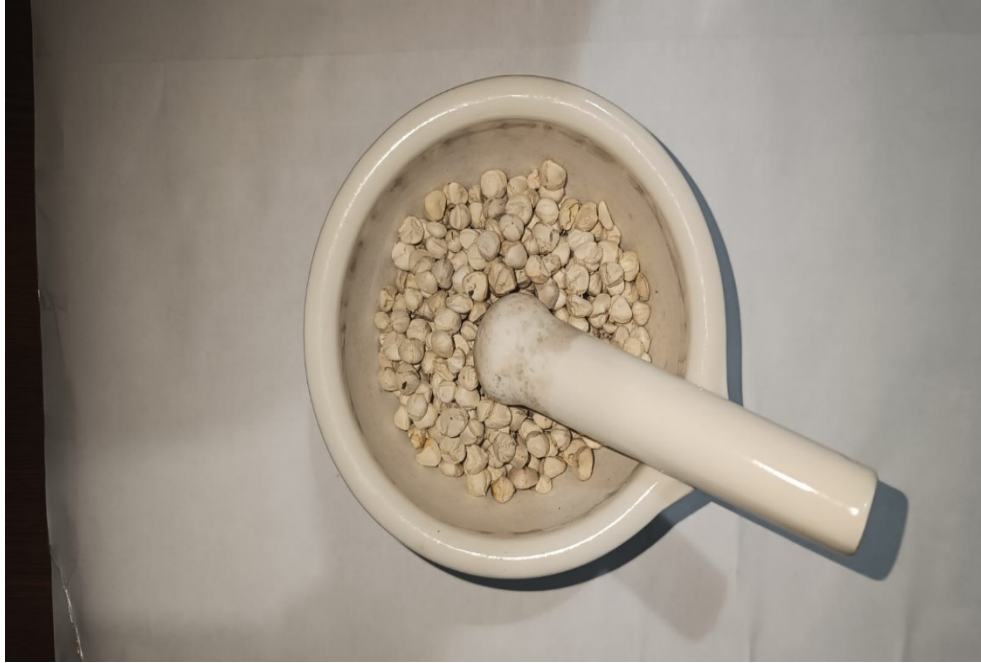
### 8.3. Imágenes de la investigación



**Figura 13.** Materiales para la preparación del agua residual sintética.



**Figura 14.** Trituración de las semillas de moringa para retirar la cáscara



**Figura 15.** Trituración de las semillas de moringa sin cáscara



**Figura 16.** Semillas de moringa sin cáscara molidas en el mortero



**Figura 17.** Polvo de semillas de moringa antes de extracción de aceite



**Figura 18.** Extracción del aceite de semillas de moringa



**Figura 19.** Secado en la estufa del polvo de semillas de moringa.



**Figura 20.** Implementación del sistema experimental



**Figura 21.** Aplicación de los tratamientos de la investigación



**Figura 22.** Obtención de muestras para análisis de DQO



**Figura 23.** Dilución del polvo de semillas de moringa para su aplicación.



**Figura 24.** Obtención de muestras de los tratamientos



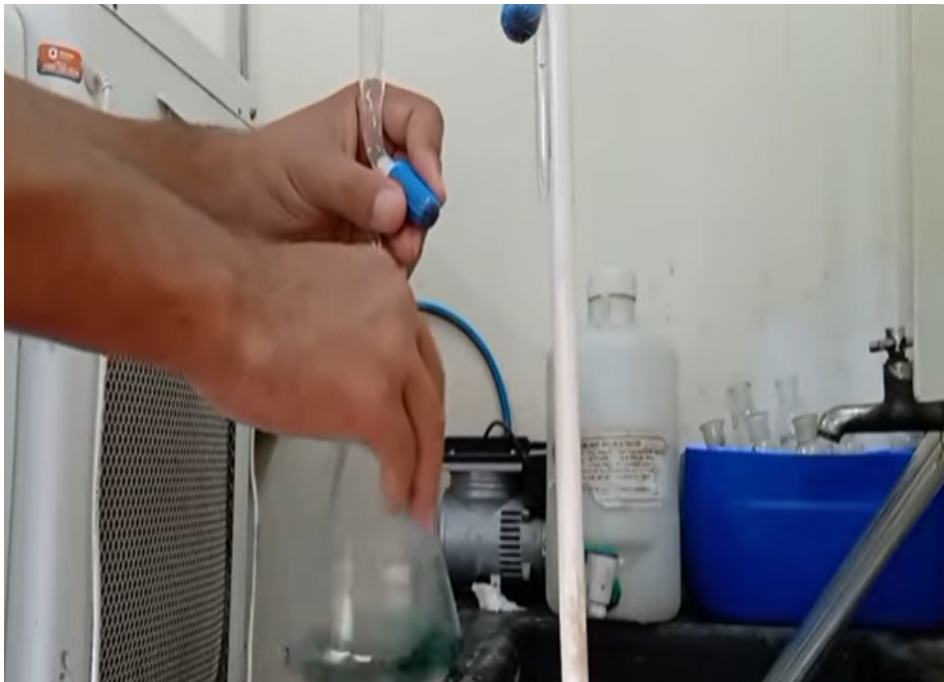
**Figura 25.** Digestor para el análisis de DQO



**Figura 26.** Digestión de las muestras para la determinación de la DQO



**Figura 27.** Preparación para la titulación de las muestras adicionando ferroína



**Figura 28.** Titulación de la muestra con sulfato ferroso de amonio.