



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



***Moringa oleifera* para remoción de hierro, turbiedad y color del agua  
en la quebrada Almendrillo, Moyobamba**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario**

**AUTORA:**

**Windy Stefany Dávila Tuesta**

**ASESOR:**

**Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna**

**Código N° 6057022**

**Moyobamba – Perú**

**2022**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



*Moringa oleifera* para remoción de hierro, turbiedad y color del agua  
en la quebrada Almendrillo, Moyobamba

**AUTORA:**

**Windy Stefany Dávila Tuesta**

**Sustentada y aprobada el 29 de diciembre del 2022, por los siguientes jurados:**

**Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia**

**Presidente**

**Ing. M.Sc. Juan José Pinedo Canta**

**Miembro**

**Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález**

**Secretario**

**Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna**

**Asesor**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO**  
**PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO**

Siendo las **3: 00 pm** de la tarde del día **jueves 29 de diciembre del 2022** en la ciudad de Moyobamba, según la Directiva N° 01-2020-UNSM-T, aprobado con Resolución N° 367-2020-UNSM/CU-R de fecha 29 de mayo del 2020, sobre Sustentación de Tesis de Pregrado según la Modalidad No Presencial (forma virtual) de la Facultad de Ecología, se reunieron virtualmente los miembros de jurado de tesis integrado por:

<b>Lic. Dr. FABIÁN CENTURIÓN TAPIA</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>Ing. M.Sc. GERARDO CÁCERES BARDÁLEZ</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>Ing. M.Sc. JUAN JOSÉ PINEDO CANTA</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>Ing. M.Sc. SANTIAGO ALBERTO CÁSPAS LUNA</b>	<b>ASESOR</b>

Para evaluar la sustentación de la tesis titulado: "**Moringa oleífera para remoción de hierro, turbiedad y color del agua en la quebrada Almendrillo, Moyobamba**", presentado por la Bachiller en Ingeniería Sanitaria: **Windy Stefany Dávila Tuesta**, según **Resolución N° 045-2022-UNSM/CFT/FE Moyobamba, 28 de febrero del 2022**. Los señores miembros del jurado, después de haber escuchado la sustentación virtual, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran: **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de: **BUENO** y nota **DIECISEIS (16)**

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 17:07 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.

.....  
**Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia**  
presidente

.....  
**Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález**  
secretario

.....  
**Ing. M.Sc. Juan José Pinedo Canta**  
Miembro

.....  
**Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna**  
Asesor

## Declaratoria de autenticidad

**Windy Stefany Dávila Tuesta**, con DNI N° 71883715, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autora de la tesis titulada: ***Moringa oleifera* para remoción de hierro, turbiedad y color del agua en la quebrada Almendrillo, Moyobamba.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 29 de diciembre del 2022.



.....  
**Windy Stefany Dávila Tuesta**

DNI N° 71883715

## Dedicatoria

A mi madre Pilar Tuesta Vásquez,  
por apostar todo por nosotros, sus hijos;  
incluso cuando las cosas se ponen difíciles.

A mi padre Wildor Dávila Bravo,  
por marcar alto el estándar  
cuando de amar se trata.

A mis hermanos Leydy, Andrea y Joel,  
por ser mi compañía y maestros  
en este camino llamado vida.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por preservar mi vida y permitir que hoy esté a punto de cumplir una de mis metas más importantes.

A nuestra casa de estudios y docentes, por su aporte en mi formación como profesional y el desarrollo de esta investigación.

A mi asesor, Ing. M.SC. Santiago Alberto Casas Luna, por siempre atender amablemente mis consultas y por su tiempo para guiar la presente investigación.

## Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice general.....	viii
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	x
Resumen .....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 Antecedentes de la investigación .....	3
1.2 Bases teóricas.....	6
1.3 Definición de términos básicos .....	15
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
2.1 Materiales.....	16
2.2 Métodos.....	17
CAPÍTULO III.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	20
3.1 Resultados .....	20
3.2 Discusión .....	34
CONCLUSIONES .....	36
RECOMENDACIONES.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
ANEXOS .....	433



## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Clasificación taxonómica de la Moringa oleifera</i> .....	6
<b>Tabla 2.</b> <i>Principales macronutrientes en la semilla de Moringa oleifera</i> .....	9
<b>Tabla 3.</b> <i>Coordenadas de ubicación del punto de muestreo</i> .....	17
<b>Tabla 4.</b> <i>Detalle de equipos de medición empleados</i> .....	19
<b>Tabla 5.</b> <i>Parámetros físico químicos de hierro, turbiedad y color antes de aplicar el coagulante natural de semilla de Moringa oleifera</i> .....	20
<b>Tabla 6.</b> <i>Eficiencia del albumen de Moringa oleifera como coagulante en la remoción del parámetro de hierro (%)</i> .....	26
<b>Tabla 7.</b> <i>Eficiencia del albumen de Moringa oleifera como coagulante en la remoción del parámetro de turbiedad (%)</i> .....	27
<b>Tabla 8.</b> <i>Eficiencia del albumen de Moringa oleifera como coagulante en la remoción del parámetro de color (%)</i> .....	27
<b>Tabla 9.</b> <i>Análisis de varianza para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de hierro en agua de la quebrada Almendrillo, Moyobamba. .</i>	28
<b>Tabla 10.</b> <i>Prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de hierro</i> .....	29
<b>Tabla 11.</b> <i>Análisis de varianza para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de turbiedad</i> .....	30
<b>Tabla 12.</b> <i>Prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de turbiedad</i> .....	31
<b>Tabla 13.</b> <i>Análisis de varianza para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de color</i> .....	32
<b>Tabla 14.</b> <i>Prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni para el efecto de la Moringa oleifera para remoción de color</i> .....	33

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Distribución mundial de la Moringa oleifera .....	7
<b>Figura 2.</b> Esquema de etapas de adsorción de partículas suspendidas .....	12
<b>Figura 3.</b> Proceso de sedimentación discontinuo.....	13
<b>Figura 4.</b> Proceso de obtención del albumen desengrasado de Moringa oleifera.....	18
<b>Figura 5.</b> Parámetros medios marginales de hierro post aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (mg/L) .....	21
<b>Figura 6.</b> Parámetros medios marginales de turbiedad post aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (UNT).....	22
<b>Figura 7.</b> Parámetros medios marginales de color post aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (UNT).....	23
<b>Figura 8.</b> Parámetros medios marginales de hierro antes y después de la aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (UNT) .....	24
<b>Figura 9.</b> Parámetros medios marginales de turbiedad antes y después de la aplicación Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (UNT) ....	25
<b>Figura 10.</b> Parámetros medios marginales de color antes y después de la aplicación de la aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación.....	25

## Resumen

En la presente investigación se evaluó la eficiencia de la *Moringa oleifera* a partir de la aplicación de biocoagulante a base su albumen. Se aplicaron 6 distintos tratamientos de 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50; y 0.60g/L, en muestras de agua obtenidas de la quebrada Almendrillo del Centro Poblado Juningue. Para la aplicación de Prueba de Jarras de consideró tiempo de mezcla rápida de 300RPM durante 1.5 minutos, mezcla lenta a 75RPM durante 10 minutos y tiempos de sedimentación de 20 y 40 minutos. Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles (LMP) de parámetros de calidad organoléptica, establecidos en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano. De lo que se concluye que los parámetros iniciales se encontraron por encima de los LMP establecidos: concentración de 0.82 mg/L para hierro, turbiedad 23.7 UNT y color 190 UCV. Posterior a la aplicación de los tratamientos, se encontró que la concentración de coagulante de 0.60g/L y con tiempo de sedimentación de 40 minutos logra la mayor reducción del contenido de hierro en el agua, expresado en 93.7% de eficiencia. Para el parámetro de turbidez, con concentración de 0.20g/L y tiempo de sedimentación de 40 minutos, se alcanzó eficiencia de reducción del 73.2%. Para el color, con concentración de 0.20g/L y con tiempo de sedimentación de 20 minutos, se alcanzó una eficiencia del 53.7%. Sin embargo, para los dos últimos parámetros mencionados, no se lograron resultados por debajo de los LMP establecidos.

**Palabras clave:** *Moringa oleifera*, eficiencia, biocoagulante, remoción., hierro, color, turbiedad baja.

## Abstract

In the present investigation, the efficiency of *Moringa oleifera* was evaluated from the application of a biocoagulant based on its albumen. Six different treatments of 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50; and 0.60g/L were applied to water samples obtained from the Almendrillo stream in the village of Juningue. For the application of the Jar Test, a fast mixing time of 300RPM for 1.5 minutes, slow mixing at 75RPM for 10 minutes and sedimentation times of 20 and 40 minutes were considered. The results obtained were compared with the maximum permissible limits (MPL) of organoleptic quality parameters established in the Regulation of Water Quality for Human Consumption. It is concluded that the initial parameters were found to be above the established MPL: concentration of 0.82 mg/L for iron, turbidity 23.7 UNT and color 190 UCV. After the application of the treatments, it was found that the coagulant concentration of 0.60 g/L and a sedimentation time of 40 minutes achieved the greatest reduction of iron content in the water, expressed in 93.7% efficiency. A reduction efficiency of 73.2% was achieved for the turbidity parameter, with a concentration of 0.20 g/L and a sedimentation time of 40 minutes. For color, with a concentration of 0.20g/L and a sedimentation time of 20 minutes, an efficiency of 53.7% was achieved. However, results below the established MPLs were not achieved for the last two aforementioned parameters.

**Key words:** *Moringa oleifera*, efficiency, biocoagulant, removal, iron, colour, low turbidity



## Introducción

En el Perú, en el año 2017 en términos de agua potable, 737 723 personas consideradas más pobres no fueron beneficiadas con mejoras en este servicio. De éstos el 9,8% se abastecieron de agua de fuentes superficiales sin algún tipo de tratamiento, al igual que 93 983 pobladores pobres ubicados en zonas rurales (UNICEF, 2019).

En las zonas rurales del distrito de Moyobamba para el año 2019, se registraron 138 centros poblados, de las cuales 97 cuentan con sistemas de abastecimiento de agua sin tratamiento o sin cloración (MPM, 2021, p. 81), siendo el centro poblado Juningue una de las comunidades donde se realiza el consumo del agua sin tratamiento; la cual es obtenida de la quebrada Almendrillo, por medio de una conexión simple de tubería. Al ver esta necesidad latente y de alta demanda se hace necesario encontrar soluciones en métodos no convencionales, de bajo costo, de fácil manejo, amigables con el ambiente y con la salud de las personas.

En este sentido, en la presente investigación se pretende como objetivo general, evaluar la eficiencia de *Moringa oleifera* como una alternativa de tratamiento para la reducción de carga contaminante del agua para consumo humano, específicamente de los parámetros de hierro, color y turbiedad. Los objetivos específicos son como se detallan: a) identificar los parámetros iniciales de hierro, turbiedad y color, b) determinar los valores de los parámetros de hierro, turbiedad y color post aplicación del coagulante mediante prueba de jarras, c) comparar los parámetros físico químicos de hierro, turbiedad y color del agua de la quebrada Almendrillo antes y después del uso del biocoagulante y d) determinar la eficiencia del albumen de *Moringa oleifera* como coagulante en la remoción de los parámetros hierro, turbidez y color del agua para consumo humano en zona rural (Centro Poblado Juningue). Se plantea la hipótesis de que el efecto coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* será eficiente en la remoción de turbidez, hierro y color para clarificar el agua para consumo humano en zonas rurales de la quebrada Almendrillo, del centro poblado Juningue.

Esta investigación es de tipo experimental con intervención y enfoque cuantitativo. Se realizó muestreo por conveniencia y diseño completamente al azar. Para la obtención del biocoagulante se procedió al desengrasado del albumen triturado, usando etanol al 95% y tiempo de secado de 24 horas a 90°C. Los tratamientos aplicados fueron definidos con base

en bibliografía consultada y se determinaron concentraciones de 0.10g; 0.20g; 0.30g; 0.40g; 0.50g y 0.60g por litro de muestra de agua en prueba de jarras, en el que el principio es la coagulación-floculación donde se busca la desestabilización de partículas dispersas en el agua, para luego aglomerarlas.

El presente informe de investigación se encuentra estructurado de la siguiente manera:

**Capítulo I:** contiene los antecedentes a nivel internacional, nacional y local en las que se detallan resultados de otras experiencias de investigación en las que se trabajó con la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante para reducir los indicadores de parámetros físico-químicos y la definición de términos básicos.

**Capítulo II:** en este apartado se detallan los materiales, equipos y métodos empleados para llevar a cabo la investigación. Cabe resaltar que la obtención del coagulante y el procedimiento experimental se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología en Moyobamba, empleando muestras de agua superficial de la quebrada Almendrillo, ubicada en el Centro Poblado Juningue.

**Capítulo III:** muestran los resultados obtenidos antes y después de la aplicación de los tratamientos, las comparaciones gráficas de resultados en función de las concentraciones del coagulante y el tiempo de sedimentación, presenta también el análisis de varianza y la eficiencia calculada para cada parámetro en correspondencia a los objetivos planteados. Las discusiones fueron desarrolladas tomando los resultados de investigaciones ejecutadas anteriormente.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Antecedentes de la investigación

#### Internacionales

Moreno (2018), en su tesis “Aplicación de semilla de *Moringa oleifera* Lam, como alternativa coagulante de agua almacenada en el municipio de Zirándaro, Gro”, indica que: Con el objetivo de evaluar la eficiencia de floculación de esta semilla en el tratamiento de agua de un estanque que se emplea con fines de consumo humano, en el Estado de Guerrero-México; se pusieron a prueba soluciones al 100% de *Moringa oleifera* y Sulfato de Aluminio y soluciones compuestas al 70/30% (*Moringa oleifera*/Sulfato de aluminio y viceversa) en muestras de 500ml (p. 45). Para la obtención de la harina desengrasada de *Moringa oleifera* se utilizó el método soxhlet en un laboratorio externo (p. 46). Se desarrollaron 5 réplicas con los 4 tratamientos mencionados (p. 49). Los resultados para el parámetro de turbiedad con como siguen: la solución al 100% de *Moringa oleifera* alcanzó eficiencia del 97%; la de 100% Sulfato de Aluminio, 99%; la compuesta por 70/30 (Sulfato de Aluminio/MO), con 99% de eficiencia y la compuesta por 70/30 (MO/ Sulfato de Aluminio), 98% (p. 62).

Acebo y Tumbaco (2018), en su tesis “Eficiencia de biocoagulante a base de semilla de *Moringa oleifera* para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación el Río Guayas”-Guayaquil, Ecuador, proponen el uso del coagulante con agregado de NaCl al 1% como coadyuvante. Realizaron 6 ensayos en prueba de jarras con muestras de 1 litro, sometidas a mezcla rápida durante 60 segundos a 100 rpm, velocidad de mezcla lenta de 45 rpm, durante 10 minutos y tiempo de sedimentación de 20 minutos (p. 40). Los parámetros tomados en su estudio fueron pH, turbiedad y color. Los resultados que obtuvieron son los siguientes: a) de una turbidez inicial de 1820 NTU, se logró su remoción al 100% con la dosis de 0.5ml, demostrando así que el extracto de *Moringa oleifera* es eficiente en aguas con altos niveles de turbiedad (p. 55); b) de color inicial 550Pt/Co, con eficiencia de remoción de 100%, demostrando que el coagulante tiene propiedades absorbentes; c) en cuanto al pH, el coagulante en cuestión no altera significativamente éstos niveles, lo cual es una ventaja frente a los coagulantes químicos, ya que no existe la necesidad de hacer correcciones de acidez o alcalinidad, previas a aplicar tratamiento al agua. (p. 56)

Acevedo (2019), en su tesis “Uso de semillas de *Moringa oleifera* como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Río Negro, Río de Oro y quebrada Floridablanca, Santander” en Bucaramanga-Colombia, pone a prueba 12 distintas concentraciones (en muestras de 1 litro) (p. 33) en peso/volumen que van desde 3,5 mg/L hasta los 170 mg/L (p. 35), sometidas mediante prueba de jarras en las siguientes condiciones: mezcla rápida a 200rpm durante 1 minuto, mezcla lenta a 40 rpm durante 20 minutos y tiempo de sedimentación de 30 minutos (p. 36). Los parámetros que tuvo en cuenta fueron el de turbidez, color y pH. Los resultados mostrados corresponden a los mayores resultados de eficiencia. De este modo, se resultados de turbidez son: a) en el Río de Oro, con un valor de turbidez inicial de 130NTU a una concentración de 170mg de biocoagulante, se obtuvo una reducción de en un 96,8%; b) para el Río Negro, con un valor inicial de 27,8 NTU, se obtuvo una reducción de la turbidez de 87,7% aplicando concentración de coagulante de 5,5 mg; c) para la quebrada Floridablanca partiendo de un valor inicial de 194 NTU, aplicando una concentración de 170mg de coagulante, se obtuvo un porcentaje de reducción de la turbidez de 97,6% (p. 48). En cuanto a los resultados del parámetro de color: a) en el Río de Oro se obtuvo 242 UPC inicial, luego de aplicar 4.5 mg de biocoagulante, alcanzó una remoción de 69,8% (p. 39); b) en el Río Negro se obtuvo 30 UPC inicial, luego de aplicar 5mg de biocoagulante, obtuvo una remoción de 53% (p. 40); c) en las muestras de la quebrada Floridablanca se obtuvo 550 UPC inicial, aplicando de 17mg de coagulante se logró remover el color en 89,8% (p. 45). Para el parámetro pH, su comportamiento se mantuvo en un rango entre 7 a 7.5 en todos los ensayos, demostrando así que el coagulante a base de semillas de *Moringa oleifera* no altera significativamente a diferencia de los coagulantes químicos (p. 49).

## **Nacionales**

Carrizales y Enríquez (2019), en su tesis “Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica”, corroboran la bibliografía que indica lo siguiente: a) para turbiedad menor a 50 UNT las dosis óptimas se encuentran entre 10 a 50 mg/L (p. 79); b) la aplicación de este coagulante no afecta significativamente los valores de temperatura y pH, por lo que no son factores decisivos en la determinación de dosis óptimas. Además, para el caso específico del pH se encontró dentro del rango 6.5-8.5, establecido por la D.S 031-2010-SA de “Calidad de Agua para Consumo Humano (p. 80).



Castillo y Avendaño (2020), en su artículo científico “Efecto de las semillas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río Sama”, indican que en su investigación aplicaron dosis de 0,1 y 0,2 g/L de coagulante, con velocidades de mezcla de 20 y 30 rpm, con tiempo de floculación de 20 y 30 minutos.

Obtuvieron los siguientes resultados: con la dosis de 0,20 g/L, a velocidad de 30 rpm, floculación a 30 minutos y sedimentación en 90 minutos, el coagulante en cuestión remueve el 92,37% y 98,88% de turbidez, teniendo en cuenta las mediciones iniciales de 48,6 NTU y 424 NTU, respectivamente. El aumento del tiempo de sedimentación de 1 hora a 1.5 horas, mejora notablemente el resultado de clarificación (p. 55).

Campos (2020), en su tesis “Efecto coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* para clarificar agua del canal Monsefú, Centro Poblado Callanca, distrito Monsefú”, pone a prueba dosis de 0,20g; 0,40g y 0,60g en 3 muestras de 500mL. Dado que no contó con equipo de prueba de jarras, el procedimiento de incorporación y mezcla de coagulante al agua se hizo con una batidora, considerando: tiempo de mezcla rápida durante 5 minutos, tiempo de mezcla lenta por 20 minutos y sedimentación de 2 horas (p. 24). Los parámetros físico-químicos analizados fueron: turbidez, pH y conductividad, cuyos resultados iniciales de medición fueron 413 NTU, 8 y 818 $\mu$ S/cm, respectivamente (p. 25). Campos, llega a las siguientes conclusiones: a) el mejor porcentaje de eficiencia en la remoción de la turbidez fue de 88,74% con la dosis de 0,40g de coagulante (p. 31); b) en el caso del pH, se observa una ligera variación no significativa en las muestras con dosis de 0,20g y 0,40g. La muestra con dosis de 0,60g se mantiene con 8 de pH, al igual que la muestra testigo; c) para el parámetro de conductividad, observó un incremento en las dosis de 0,40g y 0,60g con valor final de 834  $\mu$ S/cm en ambos casos y una ligera reducción con la dosis de 0,20g con valor final de 815  $\mu$ S/cm (p.26).

## **Locales**

Bravo (2021), en su tesis de maestría “Uso de semilla de *Moringa oleifera* como biocoagulante natural para mejorar la calidad del agua proveniente del río Ahuashiyacu – Tarapoto”, empleó solución madre de la semilla con de NaCl al 1% (p. 22) y aplicó dosis entre 40mg/L a 140mg/L en prueba de jarras con, con mezcla rápida de 100 rpm en un minuto, mezcla lenta de 40 rpm durante 10 minutos y tiempos de sedimentación con (intervalos de 5 minutos) de 5 a 30 minutos (p. 23). Se realizaron análisis de parámetros

físico-químicos que incluyeron turbidez, pH, color, dureza total, alcalinidad, sólidos totales disueltos y conductividad. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: a) La dosis de 100 mg/L logró una eficiencia de remoción de turbidez del 97.06% en un tiempo de sedimentación de 20 minutos (p. 26); b) La capacidad de remoción del color fue del 92.3% con una dosis de 100 mg/L, logrando reducir el color inicial de 65 UCV a un mínimo de 5 UCV (p. 33); c) No se observaron efectos significativos en el pH y la alcalinidad. “La dureza disminuyó en un 12% en comparación con su valor inicial, mientras que la conductividad y los sólidos totales disueltos aumentaron significativamente debido a la presencia de iones de cloruro de sodio” (p. 41).

## 1.2 Bases teóricas

### *Moringa oleifera*

Es la más conocida de 13 las especies que forman parte de la familia Moringaceae (Cannet Romero et al., 2016, p. 1). Es un árbol muy versátil, excepcionalmente nutritivo y con una variedad de usos potenciales. Es la especie más ampliamente cultivada de la familia Moringácea (ver Tabla 1), que tiene de 10 a 12 especies nativas distribuidas desde la región Norte de África hasta el Sudeste de Asia (Parrotta, 1993). Tales especies son parte de un grupo pequeño de plantas dentro del orden Brassicales. Es originaria del norte de la India y actualmente abunda en todo el Trópico (José, 2017, p. 3).

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica de la Moringa oleifera*

<b>Reino:</b>	<b>Plantae</b>
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Dilleniidae
Orden:	Brassicales
Familia:	Moringaceae
Género:	<i>Moringa</i>
Especie:	<i>Moringa oleifera</i>

Fuente: (Kasolo et al, citado por José, 2017)

### Origen y distribución geográfica

Sus raíces originarias se comparten en África oriental y de las Indias Orientales. Fue introducida en general en América tropical confines ornamentales (Alfaro, 2008, p. 17).

Según Parrota (citado por Chepote, 2018), este árbol se puede considerar de condiciones tropicales y subtropicales, ya que se desarrolla en temperaturas ente 25-35°C (p. 3). “En su hábitat natural crece hasta los 1 400 m de altitud, a lo largo de los ríos más grandes en suelos aluvionales arenosos o guijosos” (Troup, citado por Pérez., et.al., 2010).

Según Reyes (2006), “la moringa es resistente a la sequía y tolera una precipitación anual de 500 a 1 500 mm, además, crece en un rango de pH de suelo entre 4,5 y 8, excepto en arcillas pesadas, y prefiere suelos neutros o ligeramente ácidos” (p. 13)



**Figura 1.** Distribución mundial de la Moringa oleifera.  
Fuente: sembrando.org.pe/programa-moringa.php

En el Perú se iniciaron las pruebas de siembra en el departamento de Ica, en la Pampa de Villacurí en el año 2009. “Este es un cultivo de fácil manejo, que provee de subproductos de las hojas y semillas principalmente, suscitando el interés económico al cultivo por el procesamiento mínimo de sus hojas y semillas” (Chepote, 2018, p. 1).

### **Descripción botánica**

La moringa es un árbol perenne caducifolio. Presenta rápido crecimiento, aproximadamente 3m en sus primeros 12 meses, pudiendo llegar hasta 5 m en condiciones ideales; en etapa adulta llega a los 10 o 12 m de altura máxima. El árbol produce vainas colgantes color marrón, triangulares, de 30 a 120 cm de largo por 1.8 cm de ancho, divididas longitudinalmente en 3 partes cuando se secan; llegan alcanzar de 20 a 45 cm de largo (en ocasiones hasta 120 cm). En su interior contiene incrustadas aproximadamente

20 semillas globulares de 1 cm de diámetro. Su rusticidad lo hace muy fácil de cultivar (Alfaro y Martínez, 2008, p 18.).



**Fotografía 1.** Hojas y semillas y árbol joven de Moringa oleifera.

Fuente: <https://www.flickr.com/search/?text=moringa>



**Fotografía 2.** Vainas y flores de Moringa oleifera.

Fuente: <https://www.flickr.com/search/?text=moringa>

### **Semillas de *Moringa oleifera* y valor nutricional**

Luego de la siembra de la planta, se pueden recoger los frutos de la primera cosecha entre los 10 a 12 meses. La cosecha se realiza manualmente, cuando las vainas han madurado y son de color marrón e inicia su proceso de dehiscencia (abertura natural de frutos para dar salida a las semillas). “El rendimiento de semilla aproximado a obtener el primer año es de 1000 kg/ha, El segundo año aumenta a 2000 kg/ha y al tercer año obteniendo 2500 kg /ha, manteniendo este rendimiento en promedio como producción anual” (Chepote, 2018) (p. 18), esto es según experiencia de pruebas de siembra en el departamento de Ica-Perú.

En la actualidad, su uso más importante y difundido es el de complemento alimenticio; ya que según investigaciones su contenido en proteínas, vitaminas y minerales es alto. Dentro de ellos destaca el hierro, que es un oligoelemento imprescindible para el desarrollo de funciones vitales del organismo (Romero et al., 2016, p. 1). La semilla llega a contener de 31-47% de aceites. De acuerdo con investigaciones llevadas a cabo en Brasil, se obtuvo un índice de acidez de 7.95 mg KOH/g al extraer aceites de semillas secas (39%) mediante el uso de hexano. El contenido de ácidos grasos encontrados fue el siguiente: 7% de ácido palmítico, 2% de palmitoleico, 4% de esteárico, 78% de oleico, 1% de linoleico, 4% de araquídico y 4% de behénico (Tobías, 2010, p. 135).

**Tabla 2**

*Valores nutricionales de las semillas de Moringa oleifera*

<b>Análisis proximal</b>	<b>Contenido en semillas</b>
Humedad %	47,2
Proteínas %	17,5
Grasas %	15,1
Cenizas %	2,1
Carbohidratos %	18,1
Energía Kcal/100	439
Calcio mg/100g	3,4
Potasio mg/100g	18,3
Hierro mg/g	7,1
Carotenos $\mu$	114,4
Vitamina C mg/100g	0,1

Fuente: Tobías 2010, p. 138

### ***Moringa oleifera* en el tratamiento de agua**

Las semillas bien trituradas producen proteínas solubles con carga neta positiva. Su acción floculante no depende de los niveles de pH en el agua. Sin duda, esto representa una ventaja en países de bajos recursos donde no se cuenta con los medios y equipos para medir los niveles de pH. Con la aplicación de semillas de *Moringa oleifera* se pueden aclarar diferentes tipos de aguas con diferentes grados de turbidez. Se considera que este tratamiento de las aguas es una tecnología de bajo costo y fácil manejo para potabilizar el agua y mejorar las condiciones sanitarias de las comunidades rurales de los países en desarrollo (Tobías, 2010, p. 135 y 136).

Hay estudios realizados por Fink (1984), Gassen (1990) y Gassenschmidt (1991) sugiriendo que el componente coagulante activo de *Moringa oleifera* debería ser un péptido catiónico (Tumbaco y Acebo, 2018, p. 26). Los péptidos catiónicos se definen

como moléculas codificadas por un genoma (no sintético) que se estructuran con 12-50 aminoácidos y tienen al menos dos cargas positivas excedentes. Estas están dadas por restos de lisina y arginina, además del 50% de los aminoácidos hidrofóbicos, a los cuales se les atribuye el mecanismo de acción en el proceso de coagulación y floculación (Alfaro, 2005, p. 53). Muyibi y Okufu (1995) reportaron que *Moringa oleifera* no era un coagulante eficiente para el agua con baja turbidez (Tumbaco y Acebo, 2018, p. 26).

Las semillas maduras contienen entre 38-40% de aceite ben, llamado así por su alta concentración de ácido behénico (Paniagua y Chora, 2016). Según Cerón, 2015 “el aceite debe ser extraído para poder aprovechar al máximo las proteínas que son vitales para el proceso de coagulación en el agua” (p. 28).

Por otro lado, “el uso de biocoagulantes al ser sustancias orgánicas no incrementan la toxicidad de los lodos que se generan por la suspensión de los sólidos, caso contrario con la aplicación de sales de aluminio y de hierro” (Del Valle, 2017).

Otras experiencias de tratamiento de diferentes tipos de aguas son los siguientes: tratamiento de aguas de río con sólidos suspendidos, subterráneas contaminadas por efluentes sintéticos (Lijesh y Malhotra, 2016), efluentes de procesos de curtiembre, residuos de aceite de palma, desechos de la industria del concreto (Santos, 2016), industria del papel (Area et al., 2010) e industria textil (Beltrán et al., 2012); así como para remover color, turbidez, coloides fecales, helmintos y bacterias como *Echerichia coli*. Remueve calcio, magnesio, hierro, manganeso, estonio, aluminio (Bichi, 2013), cadmio (Abedini y Alpour, 2015), nitratos (Rezende et al., 2016) y surfactantes aniónicos como detergentes (Beltrán et al., citados por Velásquez, et al., 2016, p. 109).

### **Coagulantes**

Son materiales químicos que se agregan al agua con el objetivo de realizar el asentamiento de todas las partículas suspendidas dando paso a la formación de flóculos (Pradilla, citado por Cogollo, 2011). Sin embargo, actualmente se conoce que los agentes responsables de la coagulación no son solamente de naturaleza química, sino que también se encuentran y son obtenidos de las raíces, tallos o frutos de plantas.

En las últimas décadas se han ampliado las investigaciones sobre el empleo de nuevos coagulantes y coadyuvantes orgánicos e inorgánicos, para conseguir mejores resultados en la remoción de materia orgánica y sólidos en suspensión (Aguilar, 2002).

## **Inorgánicos**

Se conocen las que son sales de aluminio, que forman flóculos ligeros en peso. Los más usados son el Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_3)$ , que es comúnmente llamado alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Aluminio Sódico. También se tiene otro grupo que son las sales de hierro: Cloruro Férrico  $FeCl_3$  y los Sulfatos de Hierro Férrico  $Fe(SO_4)_3$  y Ferroso  $FeSO_4$ , los cuales forman flóculos más pesados y en efecto, con mayor velocidad de sedimentación que las sales de aluminio (Restrepo, 2009, p. 9).

Éstas sustancias químicas empleadas para el tratamiento de aguas con fines de consumo humano, de las que se sospecha que algunas de ellas podrían causar enfermedades graves como en el caso del aluminio, que se postula como causante de Alzheimer (Marín, 2003)

## **Orgánicos**

Según Lee et al., y Ganjidoust et al., citados por Guzmán et al., 2013 mencionan que los coagulantes orgánicos representan una alternativa viable con gran potencial, aunque no han sido explotadas suficientemente (p. 254). En general, presentan una mínima o ninguna toxicidad y en muchos casos son productos empleados para la alimentación con alto contenido de carbohidratos y proteínas solubles en agua. “Algunos de ellos generan efectos de coagulación o floculación que actúan de manera similar a los coagulantes inorgánicos” (Yin, citado por Guzmán, 2013, p. 254).

## **Proceso de coagulación y floculación**

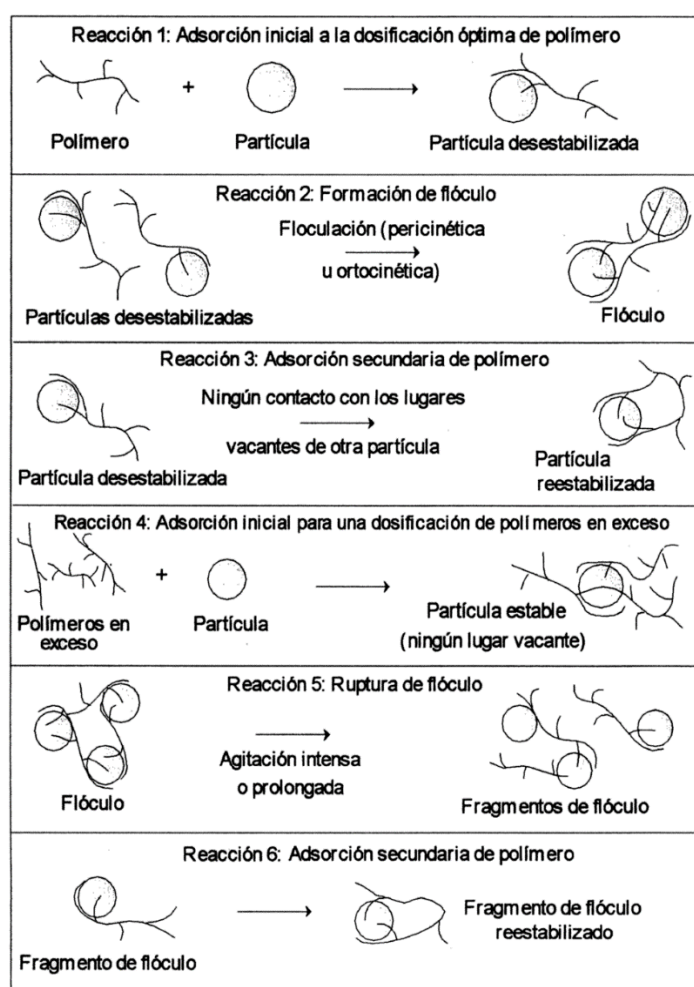
De acuerdo a CEPIS, 2004 son las dos primeras fases de alteración de algunas características del agua con el fin de remover una variedad de impurezas, solubles e insolubles; de las que destacan las partículas coloidales, sustancias húmicas y microorganismos en general, las cuales presentan carga superficial negativa.

La coagulación se produce a través del agregado de sales de hierro, aluminio o coagulantes orgánicos. Este proceso es el resultado de los siguientes fenómenos:

- Químico, que consiste en la reacción del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas de carga negativa). Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.

- Físico, es el transporte de las especies hidrolizadas para su contacto con coloides contenidos en el agua. Dicho proceso es muy rápido, desde décimas de segundo a 100 segundos, y está relacionado con otras características del agua como el pH, temperatura, cantidad de partículas, entre otros. Su unidad de tratamiento es denominada “mezcla rápida”.

Desde este momento en adelante, se precisa de agitación lenta, para lograr la coalición de partículas suspendidas y de esta forma obtener los flóculos. A esta etapa del proceso se le denomina “floculación” (p. 153).



**Figura 2.** Esquema de etapas de adsorción de partículas suspendidas  
Fuente: (Aguilar, 2002)

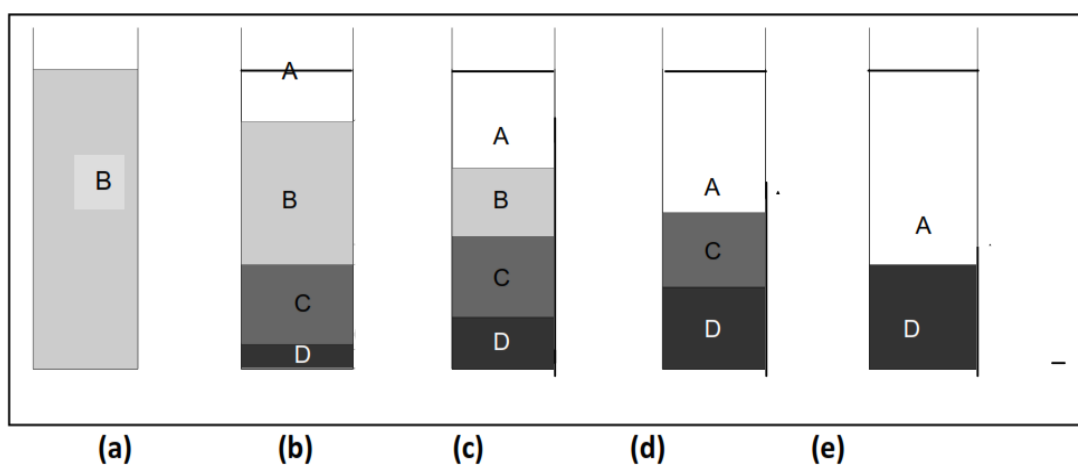
En la figura 2, se muestran las diferentes etapas de adsorción desde la aplicación del polímero (para este caso ejemplificado) hasta la formación del flóculo. En la reacción 1, la partícula polimérica entra en contacto con la partícula coloide, dejándola desestabilizada.



En la reacción 2, otras partículas desestabilizadas se unen para formar el flóculo; formando el complejo partícula-polímero-partícula, donde el polímero actúa como puente. En la reacción 3, el polímero ya no actúa como puente, dado que, con el tiempo, los segmentos pudieron ser adsorbidos en otros lugares de la partícula inicial. En la reacción 4, se produce un coloide estabilizado, dado que la dosificación del polímero es suficiente para la saturación de las superficies coloidales. En las reacciones 5 y 6, donde el coloide estabilizado (flóculo) será fragmentado por la agitación prolongada y dará paso a la adsorción secundaria para la reestabilización del flóculo (Aguilar, 2002, p. 42).

### Sedimentación

Para Oliva et al., 2018 es el proceso de remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la gravedad. Existen 2 formas principales de sedimentación: A) sedimentación discreta, donde las partículas sedimentan por sí solas, prácticamente sin interacción con otras; las cuales no sufren cambios en su forma, tamaño o densidad. B) sedimentación de flocculentas; que se da por la aglomeración de partículas desestabilizadas por acción del coagulante. Éstas cambian de forma, tamaño y densidad durante su descenso (p. 18). C) Sedimentación por caída libre e interferida: dado que la concentración de partículas en el agua es baja, éstas descienden sin interferir, entendiéndose como un efecto de “caída libre”. D) sedimentación zonal: cuando existe altas concentraciones de partículas y se producen colisiones entre ellas generando una posición fija, produciendo un depósito masivo. También es conocido como “depósito”, “caída interferida” o “sedimentación zonal” (CEPIS, 2004, p. 4).



**Figura 3.** Proceso de sedimentación discontinuo

Fuente: (Martín, Salcedo y Font, 2011)

En la figura 3, se describe un proceso de sedimentación discontinuo, contemplando sus diferentes fases. En la fase inicial (a), se observa la mezcla homogénea del agua y el coagulante. La fase (b) deja ver en el fondo de la probeta los primeros lodos concentrados (D), que son partículas coloidales con continuo contacto. Sobre esta zona aparece la capa (C) que es de concentración y tamaño variable, en la que los sedimentan sin tener contacto continuo y la otra capa (B), en la que la concentración es más o menos igual a la fase inicial. En la parte superior, se observa a capa (A) con el líquido libre de sólidos. En la fase (c) y con el transcurrir del tiempo, el espesor de las capas varía, hasta que la zona (B) desaparece y desde este momento la expansión de la capa (C) también disminuye hasta desaparecer en la fase (e), donde se distinguen claramente y de forma diferenciada dos capas: una en la que se encuentra el líquido clarificado (capa A) y una que concentra la capa D completamente sedimentada (Martín, Salcedo y Font, 2011, p. 4).

### **Prueba de jarras**

Para Lorenzo, 2006 es la técnica más usada para la determinación de dosis de químicos y otros parámetros. Con ella se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. Su versatilidad debe radicar en utilizar varias jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variar la velocidad de agitación que se representa en r.p.m (revoluciones por minuto). Los factores que influyen en este proceso son de naturaleza química e hidráulica: como el pH, temperatura, concentración del coagulante, secuencia de aplicación de la sustancia coagulante, grado de agitación y tiempo de sedimentación (p. 14).

### **Calidad de agua para consumo humano**

El Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, establecido por el Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), se encuentra en el D.S. N° 031-2010-SA. Este reglamento establece los límites máximos permitidos para los parámetros de calidad organoléptica del agua. Los límites máximos permitidos son los valores máximos aceptables para los parámetros que reflejan la calidad del agua. Los parámetros organolépticos son aquellos físicos, químicos y/o microbiológicos cuya presencia en el agua para consumo humano puede ser percibida por el consumidor a través de sus sentidos (ver Anexo 3).

### 1.3 Definición de términos básicos

**Coagulación:** “consiste en la aglomeración de partículas, demasiado pequeñas para sedimentar por la fuerza de la gravedad, en agregados mayores de tal forma que aumente su velocidad de sedimentación” (Isla de Juana, 2007, p. 51).

**Color:** El color del agua se origina tanto por la presencia de materia orgánica, como sustancias húmicas y taninos, como por la presencia de metales como hierro y manganeso, así como residuos industriales altamente pigmentados. “La medición del color es de suma importancia, ya que un agua con un color elevado tiende a ser rechazada por parte de los consumidores, quienes buscan otras fuentes de suministro que a menudo pueden ser inseguras” (FUNASA, 2013, p. 51).

**Hierro:** es uno de los minerales más abundantes de la corteza de la tierra, este es muy frecuente en las aguas subterráneas. “El hierro no es considerado peligroso para la salud, cuando el nivel de hierro en el agua excede los 0.3 mg/l recomendados por la OMS, el agua comienza a presentar sabor metálico y un olor ofensivo” (Truque, 2011, p. 17).

**Sedimentación:** “es el proceso físico mediante el cual las partículas en suspensión presentes en el agua son removidas o separadas del fluido, debido al efecto de la gravedad. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido” (Chulluncuy, 2011, p. 160).

**Turbidez:** conocida también como turbiedad, es una medida de opacidad a la luz en una muestra de agua. Esta provocada por materias no disueltas como sólidos en suspensión, coloides, algas, etc. Se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). No mide la concentración de sólidos en suspensión en el agua, aunque para algunos tipos de agua se puede obtener la correlación fiable (Isla de Juana, 2007, p. 254)

## CAPÍTULO II

### MATERIAL Y MÉTODOS

#### 2.1 Materiales

##### Materiales

Vasos de Precipitados de 1l, pipetas graduadas de 100ml, mortero de porcelana, agua destilada, libreta de campo, formato de registro de muestreo, envases para transportar las muestras, papel filtro cualitativo, EPPs (Guantes de goma, mascarillas, botas), cámara y laptop.

##### Equipos

- GPS: marca GPSMAP 64s, número de referencia 010-01199-10, clasificación de resistencia al agua IPX7, tipo de pantalla TFT transflectiva de 65.000 colores, dimensiones de la unidad 6,1 x 16,0 x 3,6 cm, tamaño de pantalla 3,6 x 5,5 cm; 6,6 cm de diagonal, resolución de pantalla 160 x 240 píxeles, interfaz high speed mini USB and NMEA 0183 compatible.
- Equipo de Prueba de Jarras: marca Phipps & Bird PB-900 Series Programmable Jar Testers, frecuencia 50/60 Hz, voltaje 120/240 V. Versión de sobremesa de seis palas Cuenta con paletas de acero inoxidable de 2,54 × 7,62 cm (1 × 3 pulg.), con una separación de 15,24 cm (6 pulg.), alimentación: 24 VCC con adaptador de 100–240 VCA.
- Balanza analítica: marca Velab Balanza analítica, de capacidad máxima 220g y mínima 0.1 mg
- Turbidímetro: marca TurbiQuant 1100 IR, MERCK Modelo TurbiQuant® 1100 IR, unidades de medida NTU/FNU, intervalo: 0,01–1100 NTU, fuente de luz: IR LED, calibración automática 1-3 puntos, cubetas: 25x45 mm, volumen de muestra: 15 mL.
- Colorímetro: marca HACH Colorímetro portátil multiparamétrico DR900, interfaz USB tipo Mini IP67, rango de longitud de onda 420 nm, 520 nm, 560 nm, 610 nm.
- Espectrofotómetro: marca HACH Espectrofotómetro portátil DR1900, rango de longitud de onda 340 - 800 nm, interfaz Mini USB IP67 (con módulo opcional).
- Agitador magnético VWR: modelo N°98VW7CHSEVA, SN: 141223010.
- Filtro al vacío: Marca Vacuubrand GMBH

## 2.2 Métodos

### a) Determinación del punto de muestreo

Para esta investigación se definió un punto de muestreo, teniendo en cuenta los criterios de accesibilidad, representatividad e identificación (DIGESA, 2007, p. 4). Considerando, además, que se ubicó antes de una captación de tubería simple, con la cual se abastecen los pobladores. Se presenta el detalle como sigue:

**Tabla 3**

*Coordenadas de ubicación del punto de muestreo*

Coordenadas del punto de muestreo		
Punto de muestro	Este	Norte
Punto A	28966122	9332244

Fuente: elaboración propia, 2022

Para la georreferenciación se empleó GPS y Coordenadas WGS84, Zona 18S. (ver Anexo 1 y 2).

### b) Obtención del coagulante a base del albumen de *Moringa oleifera*

Se aplicó la metodología aplicada por Tumbaco y Acebo, mencionado por Bravo, 2022.

Las semillas de *Moringa oleifera* fueron obtenidas de un punto de venta en el mercado de Moyobamba y se adquirió ½kg. El procedimiento para la obtención de coagulante a base del albumen de *Moringa oleifera*, es como se detalla:

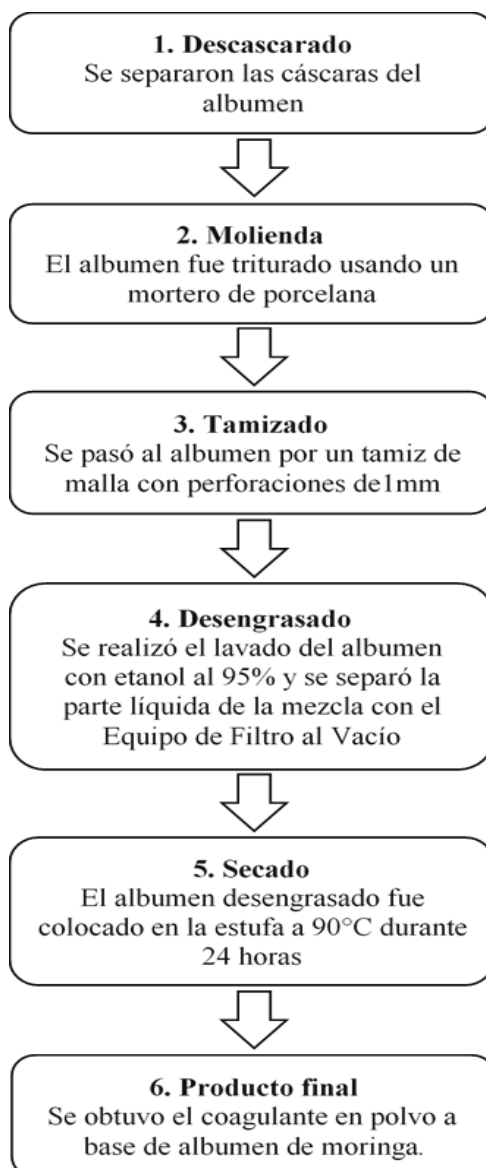
**Descascarado:** se procedió a retirar la cáscara de 150gr. de semillas para dejar el albumen al descubierto. (Ver Anexo 4).

**Molienda:** usando un mortero se realizó la trituration del albumen por única vez.

**Tamizado:** posteriormente, se pasó el albumen molido por un tamiz de malla de acero inoxidable, de perforaciones de 1mm.

**Desengrasado:** se pesaron 50gr del albumen y se vaciaron en un vaso de precipitados. Luego se agregó 200mL de etanol al 95% y se usó al agitador magnético para la mezcla durante 2 minutos (lavado). El paso siguiente fue usar el Equipo de filtrado al vacío para separar la parte líquida que contiene las grasas del albumen. Se repitieron otras 4 veces el proceso del lavado del albumen. (ver Anexo 4)

**Secado:** el albumen libre de grasas fue vaciado en una lámina de papel aluminio para luego ser ingresado en una bandeja a la estufa a 90°C durante 24 horas. Luego de este procedimiento se obtuvieron 32gr de coagulante, aproximadamente (ver Anexo 4).



**Figura 4.** Proceso de obtención del albumen desengrasado de Moringa oleífera

### c) Recojo de muestra y análisis de calidad del agua inicial

Se recolectaron 64 litros de agua en baldes de 25 y 20 litros, pertenecientes a la quebrada Almendrillo, que se ubica en el Caserío Juningue. Este procedimiento se realizó durante máximas avenidas en el mes de abril. En el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología-Moyobamba se realizaron análisis para determinar los valores iniciales de los indicadores de turbidez, color y hierro (ver Anexo 4, fotografía 1)

#### d) Aplicación de tratamientos

Se realizaron 5 repeticiones en el Equipo de Prueba de Jarras, colocando 6 muestras de agua en vasos de precipitados de 1 litro de capacidad para la aplicación de 6 tratamientos de concentraciones 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 y 0,60 g/L. la mezcla rápida se aplicó a 300 RPM, durante 1.5 minutos, mezcla lenta a 75 RPM durante 10 minutos y tiempo de sedimentación de 20 y 40 minutos. (ver Anexo 4, fotografía 6)

#### e) Técnica de procesamiento y análisis de datos

Posteriormente a la aplicación de los tratamientos, se procedió a la medición de los valores finales de los parámetros de color, hierro y turbiedad.

A continuación, se presenta el detalle de los equipos:

**Tabla 4**

*Detalle de equipos de medición empleados*

<b>Parámetro</b>	<b>Equipo</b>
Color (UCV)	Colorímetro portátil multiparamétrico DR900, marca HACH.
Hierro (mg/L)	Espectrofotómetro portátil DR1900, marca HACH
Turbidez (NTU)	Turbidímetro 1100 IR , MERCK Modelo TurbiQuant 1100 IR, marca TurbiQuant.

Fuente: elaboración propia, 2022

#### f) Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se empleó el software estadístico SPSS, aplicando ANOVA y prueba de comparación de efectos múltiples de Bonferroni, además de la generación de gráficos y cuadros estadísticos a partir del uso de estadística básica.

La eficiencia de remoción se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100$$

Donde:

$V_i$  = valor inicial del parámetro

$V_f$  = valor final del parámetro

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 Identificar los parámetros físico químicos de hierro, turbiedad y color antes de aplicar el coagulante natural de semilla de *Moringa oleifera*.

A continuación, se muestran los resultados correspondientes a la medición inicial de los parámetros hierro, turbidez y color.

**Tabla 5**

*Parámetros físico químicos de hierro, turbiedad y color antes de aplicar el coagulante natural de semilla de Moringa oleifera*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor inicial</b>	<b>LMP</b>
Hierro	mg/L	0.82	0.3
Turbidez	UNT	23.7	5
Color	UCV	190	15

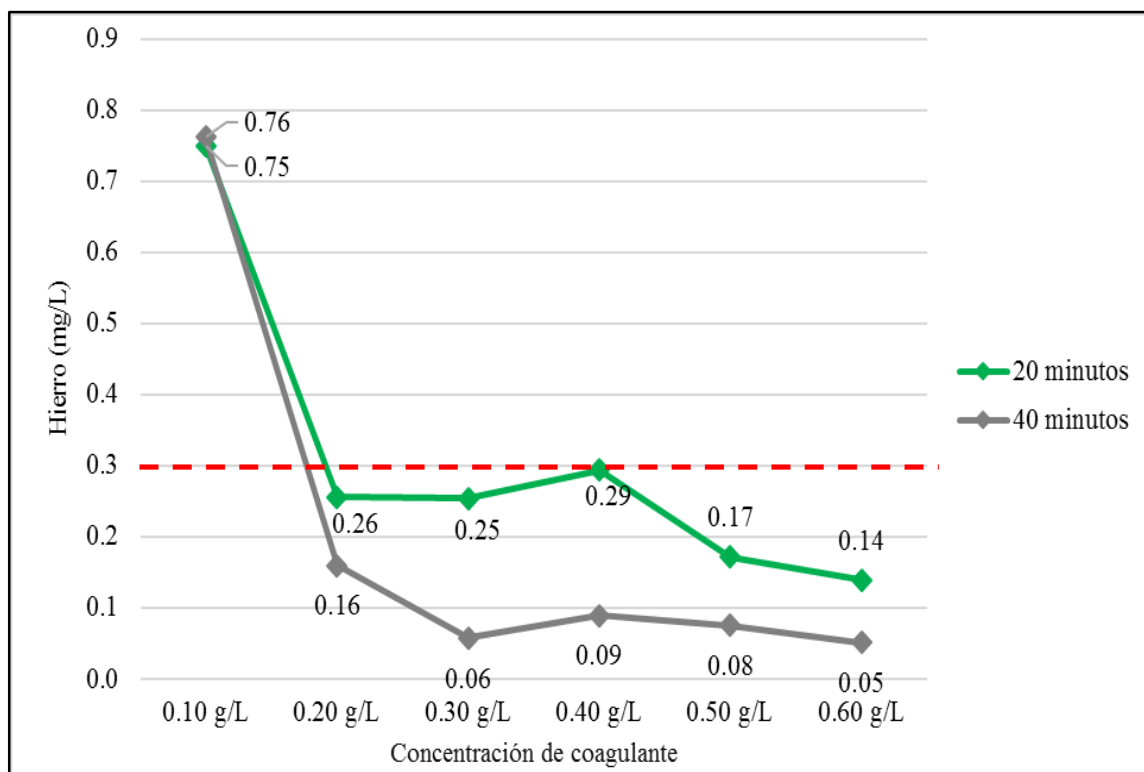
#### **Interpretación**

Los parámetros de calidad organolépticas del agua de la quebrada Almendrillo, antes de la aplicación del coagulante natural de semilla de *Moringa oleifera*, en su totalidad, se ubican por encima de los límites máximos permitidos determinados en el D.S. N°031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Los resultados corresponden a los promedios de los análisis realizados en cada réplica.



### 3.1.2 Determinar los valores de los parámetros de hierro, turbiedad y color post aplicación de albumen de *Moringa oleifera* mediante prueba de jarras.

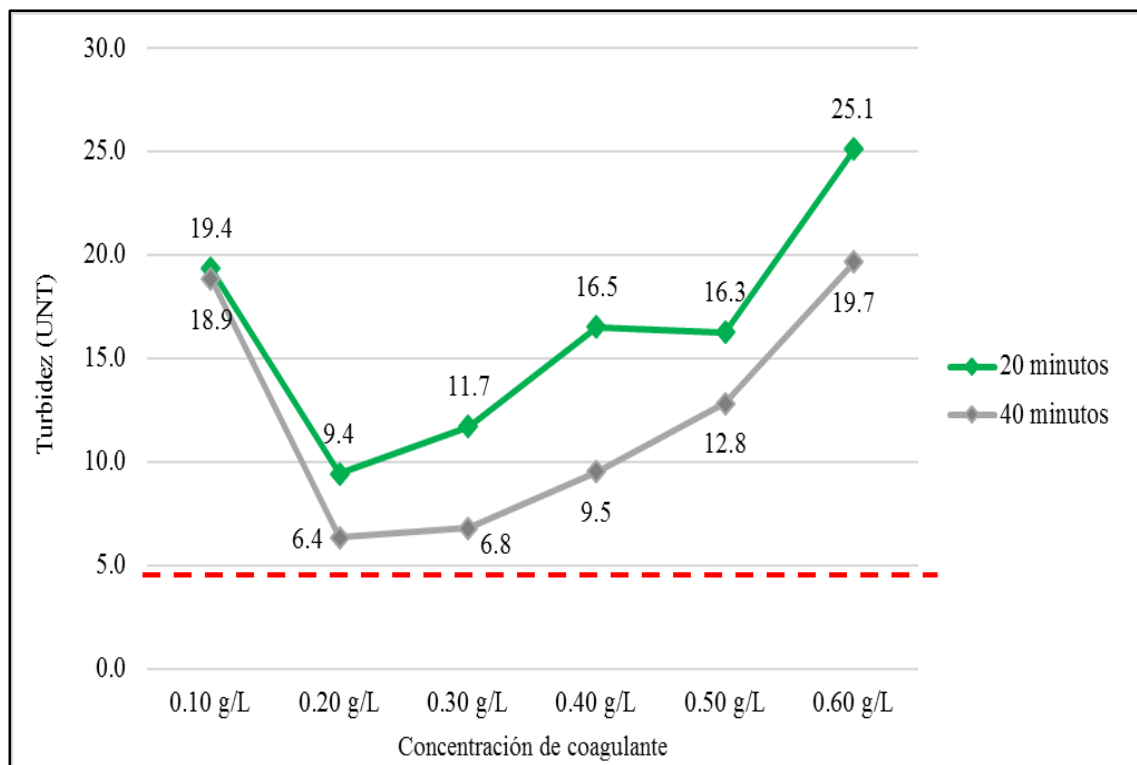
Los resultados obtenidos mostrados para cada parámetro en las gráficas son las medias marginales de las 5 repeticiones de los tratamientos aplicados.



**Figura 5.** Parámetros medios marginales de hierro post aplicación de *Moringa oleifera*, según concentración y tiempo de sedimentación (mg/L)

#### Interpretación

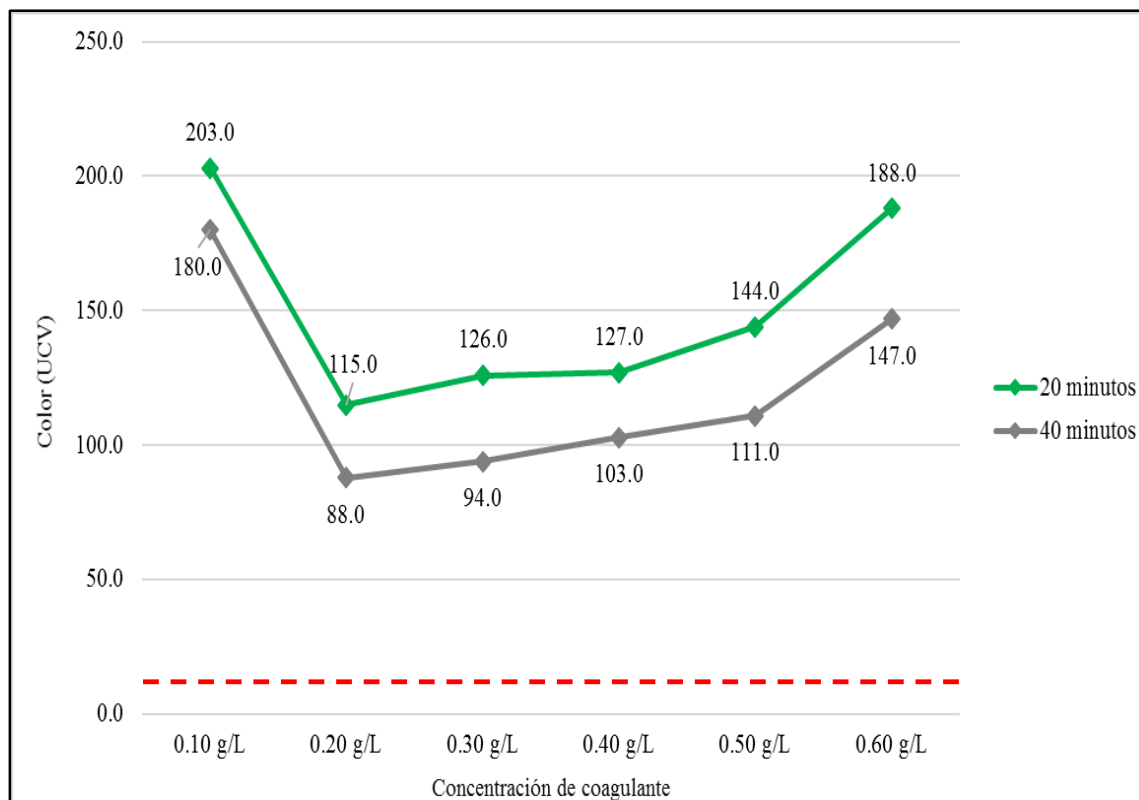
Para el caso del contenido de hierro en el agua de la quebrada Almendrillo posterior a la aplicación del coagulante natural de *Moringa oleifera*, se observa que en concentraciones del coagulante a partir de 0.20 g/L, los valores se logran reducir por debajo de los límites máximos permitidos. Sin embargo, se observa una mayor reducción del contenido de hierro en la sedimentación de 40 minutos en comparación con la sedimentación de 20 minutos. Finalmente se observa que la concentración de coagulante de 0.60 g/L con sedimentación de 40 minutos logra mayor reducción del contenido de hierro en el agua. Niveles de concentración del coagulante bajos, no muestran eficiencia para la reducción del contenido de hierro en el agua.



**Figura 6.** Parámetros medios marginales de turbiedad post aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (UNT)

### Interpretación

Para el caso de la turbiedad del agua de la quebrada de Almendrillo, se observa que el coagulante logra reducir dicho parámetro, a excepción de la concentración de 0.60 g/L con sedimentación de 20 minutos, cuyo valor (25.1 UNT) resultó mayor al valor inicial (antes de la aplicación del coagulante). Similar que, en el caso del contenido de hierro, la sedimentación de 40 minutos muestra mejores resultados, puesto que logra reducir en mayor proporción la turbiedad del agua en comparación con la sedimentación de 20 minutos. Específicamente la concentración de coagulante de 0.20 g/L con sedimentación de 40 minutos logra reducir en mayor proporción la turbiedad del agua, llegando a un promedio de 6.4 UNT. Sin embargo, en ningún caso se logra reducir la turbiedad por debajo del límite máximo permitido. Se puede mencionar que niveles bajos y altos de concentración del coagulante no presentan eficiencia significativa para la remoción de la turbiedad del agua.



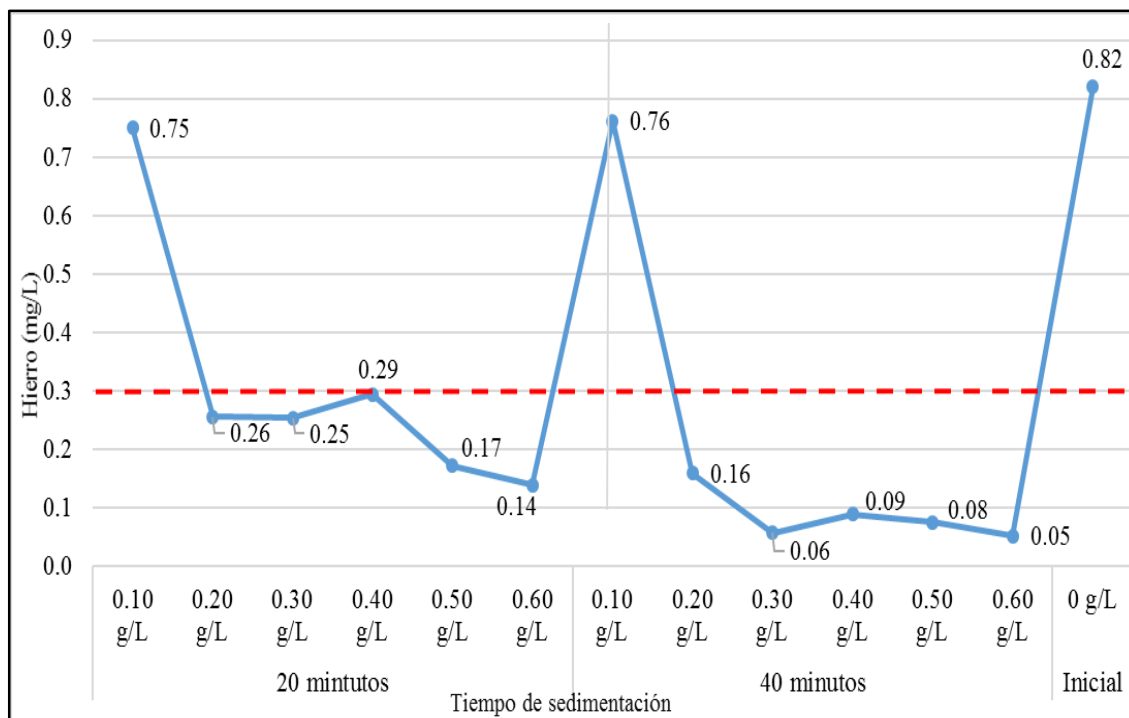
**Figura 7.** Parámetros medios marginales de color post aplicación de *Moringa oleifera*, según concentración y tiempo de sedimentación (UCV)

### Interpretación

Para el caso del color del agua de la quebrada de Almendrillo, se observa que el coagulante logra reducir dicho parámetro, a excepción de la concentración de 0.10 g/L con sedimentación de 20 minutos, cuyo valor (203 UCV) resultó mayor al valor inicial (190 UCV). Igualmente se demuestra que la sedimentación de 40 minutos muestra mejores resultados, puesto que logra reducir en mayor proporción el color del agua en comparación con la sedimentación de 20 minutos. La concentración de coagulante de 0.20 g/L con sedimentación de 40 minutos logra reducir en mayor proporción la turbiedad del agua, llegando a un promedio de 88 UCV. Sin embargo, en todos los casos los valores promedios del color del agua según concentración y sedimentación son muy superiores al límite máximo permitido. Igualmente es factible mencionar que niveles bajos y altos de concentración del coagulante no presentan eficiencia significativa para la remoción del color del agua.

### 3.1.3 Comparar los parámetros físico químicos de hierro, turbiedad y color del agua de la quebrada Almendrillo antes y después del uso de biocoagulante de Moringa.

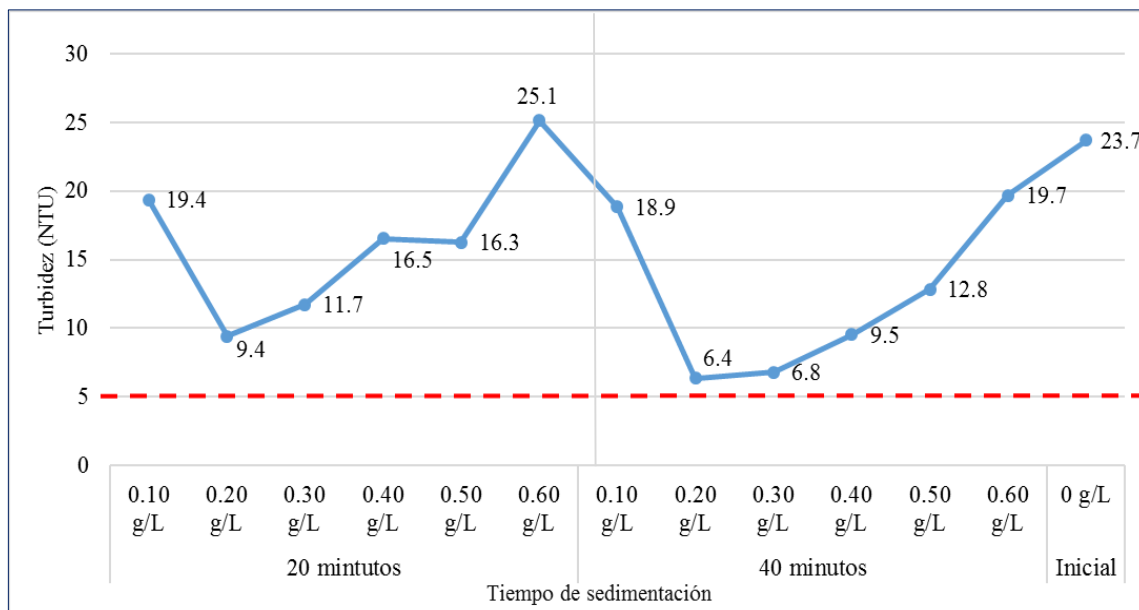
Los resultados obtenidos mostrados para cada parámetro en las gráficas son las medias marginales de las 5 repeticiones de los tratamientos aplicados, haciendo la comparación de resultados para tiempos de sedimentación de 20 y 40 minutos.



**Figura 8.** Parámetros medios marginales de hierro antes y después de la aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (g/L)

#### Interpretación

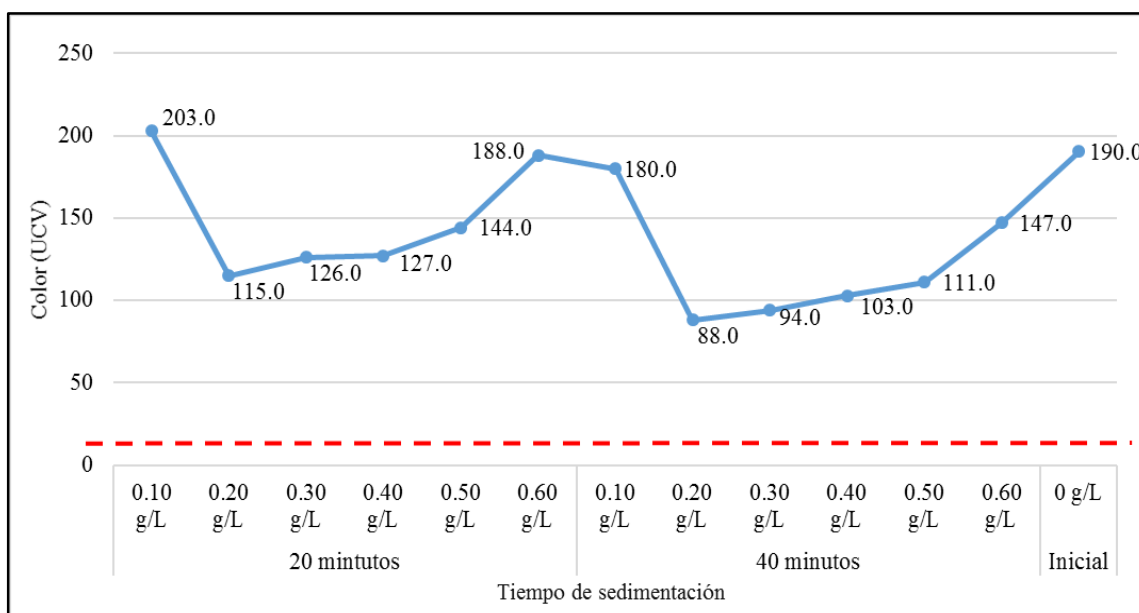
A excepción de la concentración del coagulante de 0.10 g/L para ambas sedimentaciones, en todos los casos el contenido de hierro en el agua se logra reducir a niveles por bajo del límite máximo permitido.



**Figura 9.** Parámetros medios marginales de turbiedad antes y después de la aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (UNT).

**Interpretación**

Sólo para el caso de la concentración del coagulante de 0.60 g/L con sedimentación de 20 minutos, no se logra reducir la turbiedad del agua de la quebrada Almendrillo, por el contrario, se presenta un valor promedio (25.1 UNT) superior al valor inicial (23.7 UNT), en el resto de casos, si bien se con sigue reducir la turbiedad del agua, sin embargo, no lo suficiente para situarse por debajo del límite máximo permitido.



**Figura 10.** Parámetros medios marginales de color antes y después de la aplicación de Moringa oleifera, según concentración y tiempo de sedimentación (UCV)

### Interpretación

Sólo para el caso de la concentración del coagulante de 0.10 g/L con sedimentación de 20 minutos, no se logra reducir la turbiedad del agua de la quebrada Almendrillo, por el contrario, se presenta un valor promedio (203 UCV), que es superior al valor inicial (190 UCV). En el resto de casos, si bien se sigue reducir la turbiedad del agua, todos los promedios del color del agua en las diferentes concentraciones y ambas sedimentaciones, se muestran muy por encima del límite máximo permitido.

### 3.1.4 Determinar la eficiencia del albumen de *Moringa oleifera* como coagulante en la remoción de los parámetros hierro, turbidez y color del agua para consumo humano en zona rural (Centro Poblado Juningue).

**Tabla 6**

*Eficiencia del albumen de Moringa oleifera como coagulante en la remoción del parámetro de hierro (%)*

Sedimentación	Concentración	Valor promedio	Eficiencia
20 minutos	0.10 g/L	0.75	8.5%
	0.20 g/L	0.26	68.8%
	0.30 g/L	0.25	69.0%
	0.40 g/L	0.29	64.1%
	0.50 g/L	0.17	79.0%
	0.60 g/L	0.14	82.9%
40 minutos	0.10 g/L	0.76	7.1%
	0.20 g/L	0.16	80.5%
	0.30 g/L	0.06	92.9%
	0.40 g/L	0.09	89.0%
	0.50 g/L	0.08	90.7%
	0.60 g/L	0.05	93.7%

Valor inicial = 0.82 mg/L

Límite máximo permitido = 0.30 mg/L

### Interpretación

Para el caso del contenido de hierro en el agua de la quebrada Almendrillo, se presenta mayor eficiencia en la remoción, en donde la concentración de coagulante de *Moringa oleifera* es 0.60 g/L con sedimentación de 40 minutos, alcanzando una eficiencia de 93.7%, tomando como referencia el valor inicial (0.82 mg/L).

**Tabla 7**

*Eficiencia del albumen de Moringa oleifera como coagulante en la remoción del parámetro de turbiedad (%)*

<b>Sedimentación</b>	<b>Concentración</b>	<b>Valor promedio</b>	<b>Eficiencia</b>
20 minutos	0.10 g/L	19.4	18.3%
	0.20 g/L	9.4	60.2%
	0.30 g/L	11.7	50.6%
	0.40 g/L	16.5	30.3%
	0.50 g/L	16.3	31.4%
	0.60 g/L	25.1	-6.0%
40 minutos	0.10 g/L	18.9	20.4%
	0.20 g/L	6.4	73.2%
	0.30 g/L	6.8	71.3%
	0.40 g/L	9.5	59.8%
	0.50 g/L	12.8	45.8%
	0.60 g/L	19.7	17.0%

Valor inicial = 23.7 UNT

Límite máximo permitido = 5.0 UNT

### **Interpretación**

Para el caso de la turbiedad del agua de la quebrada Almendrillo, se presenta mayor eficiencia en la remoción, en donde la concentración de coagulante de *Moringa oleifera* es 0.20 g/L con sedimentación de 40 minutos, alcanzando una eficiencia de 73.2%.

**Tabla 8**

*Eficiencia del albumen de Moringa oleifera como coagulante en la remoción del parámetro de color (%)*

<b>Sedimentación</b>	<b>Concentración</b>	<b>Valor promedio</b>	<b>Eficiencia</b>
20 minutos	0.10 g/L	203.0	-6.8%
	0.20 g/L	115.0	39.5%
	0.30 g/L	126.0	33.7%
	0.40 g/L	127.0	33.2%
	0.50 g/L	144.0	24.2%
	0.60 g/L	188.0	1.1%
40 minutos	0.10 g/L	180.0	5.3%
	0.20 g/L	88.0	53.7%
	0.30 g/L	94.0	50.5%
	0.40 g/L	103.0	45.8%
	0.50 g/L	111.0	41.6%
	0.60 g/L	147.0	22.6%

Valor inicial = 190.0 UCV

Límite máximo permitido = 15.0 UCV

## Interpretación

En cuanto al color del agua de la quebrada Almendrillo, se demuestra que con una concentración de 0.20 g/L con sedimentación de 40 minutos se logra una mayor eficiencia en la remoción, la cual alcanza reducir el color en un 53.7% con respecto al valor inicial que fue de 190 UCV. Sin embargo, en ningún caso los niveles de concentraciones y tiempo de sedimentación son lo suficientemente eficientes para reducir el nivel de color del agua por debajo del límite máximo permitido.

## Evaluar el efecto de la *Moringa oleifera* para remoción de los parámetros de hierro, turbiedad y color del agua en la quebrada Almendrillo, Moyobamba.

**Tabla 9**

*Análisis de varianza para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de hierro en agua de la quebrada Almendrillo, Moyobamba.*

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	3.9	1.0	3.9	772.7	0.000
Sedimentación	0.2	1.0	0.2	36.8	0.000
Concentraciones	3.1	5.0	0.6	122.3	0.000
Sedimentación * Concentraciones	0.1	5.0	0.0	3.2	0.015
Error	0.2	48.0	0.0		
<b>Total</b>	<b>7.5</b>	<b>60.0</b>			

a. R al cuadrado = ,933 (R al cuadrado ajustada = ,917)

b. Sig. = 0.05

## Interpretación

El cuadro de análisis de varianza, demuestra que, de forma individual, tanto el tiempo de sedimentación, los niveles de concentración del coagulante de *Moringa oleifera* y la interacción de ambos factores, tienen un efecto significativo en la remoción del contenido de hierro en el agua de la quebrada de Almendrillo. Dado que, para todos los casos, el valor de la significancia de la prueba F, resulta menor a 0.05.



**Tabla 10**

*Prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de hierro en agua de la quebrada Almendrillo, Moyobamba.*

(I) Concentraciones	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
				Límite inferior	Límite superior	
0.10 mg/L	0.20 g/L	0.60*	0.03	0.00	0.49	0.71
	0.30 g/L	0.70*	0.03	0.00	0.60	0.81
	0.40 g/L	0.67*	0.03	0.00	0.56	0.78
	0.50 g/L	0.69*	0.03	0.00	0.58	0.79
	0.60 g/L	0.71*	0.03	0.00	0.60	0.82
0.20 mg/L	0.10 g/L	-0.60*	0.03	0.00	-0.71	-0.49
	0.30 g/L	0.10	0.03	0.08	-0.01	0.21
	0.40 g/L	0.07	0.03	0.67	-0.04	0.18
	0.50 g/L	0.08	0.03	0.27	-0.02	0.19
	0.60 g/L	0.11	0.03	0.05	0.00	0.22
0.30 mg/L	0.10 g/L	-0.70*	0.03	0.00	-0.81	-0.60
	0.20 g/L	-0.10	0.03	0.08	-0.21	0.01
	0.40 g/L	-0.032	0.03	1.00	-0.14	0.08
	0.50 g/L	-0.02	0.03	1.00	-0.13	0.09
	0.60 g/L	0.01	0.03	1.00	-0.10	0.11
0.40 mg/L	0.10 g/L	-0.67*	0.03	0.00	-0.78	-0.56
	0.20 g/L	-0.07	0.03	0.67	-0.18	0.04
	0.30 g/L	0.03	0.03	1.00	-0.08	0.14
	0.50 g/L	0.01	0.03	1.00	-0.09	0.12
	0.60 g/L	0.04	0.03	1.00	-0.07	0.15
0.50 mg/L	0.10 g/L	-0.69*	0.03	0.00	-0.79	-0.58
	0.20 g/L	-0.08	0.03	0.27	-0.19	0.02
	0.30 g/L	0.02	0.03	1.00	-0.09	0.13
	0.40 g/L	-0.01	0.03	1.00	-0.12	0.09
	0.60 g/L	0.02	0.03	1.00	-0.08	0.13
0.60 mg/L	0.10 g/L	-0.71*	0.03	0.00	-0.82	-0.60
	0.20 g/L	-0.11	0.03	0.05	-0.22	0.00
	0.30 g/L	-0.01	0.03	1.00	-0.11	0.10
	0.40 g/L	-0.04	0.03	1.00	-0.15	0.07
	0.50 g/L	-0.02	0.03	1.00	-0.13	0.08

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

### Interpretación

Dado que el nivel de la concentración consta de más de dos niveles, es factible realizar una prueba post hoc, en este caso, sólo tomando en cuenta la sedimentación de 40 minutos, donde se puede observar que con concentración de 0.60 mg/L es donde se logra mayor remoción del hierro en el agua, sin embargo, sólo muestra diferencia significativa con la concentración de 0.10 mg/L.

**Tabla 11**

*Análisis de varianza para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de turbiedad en agua de la quebrada Almendrillo, Moyobamba.*

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Intersección	12393.6	1.0	12393.6	2503.1	0.000
Sedimentación	247.1	1.0	247.1	49.9	0.000
Concentraciones	1567.6	5.0	313.5	63.3	0.000
Sedimentación * Concentraciones	63.2	5.0	12.6	2.6	0.040
Error	237.7	48.0	5.0		
<b>Total</b>	<b>14509.2</b>	<b>60.0</b>			

R al cuadrado = ,888 (R al cuadrado ajustada = ,862)

### **Interpretación**

El cuadro de análisis de varianza para el parámetro de turbiedad, demuestra que existe un efecto significativo individualmente, tanto del tiempo de sedimentación, los niveles de concentración del coagulante de *Moringa oleifera* y la interacción de ambos factores. Es decir, existen al menos un promedio de los valores de la turbiedad del agua que es diferente: esto se evidencia puesto que, para todos los casos, el valor de la significancia de la prueba F, también resulta menor a 0.05.

**Tabla 12**

*Prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de turbiedad en agua de la quebrada Almendrillo, Moyobamba.*

(I) Concentraciones	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
				Límite inferior	Límite superior	
0.10 mg/L	0.20 g/L	12.50*	0.88	0.00	9.63	15.38
	0.30 g/L	12.06*	0.88	0.00	9.19	14.94
	0.40 g/L	9.32*	0.88	0.00	6.45	12.20
	0.50 g/L	6.02*	0.88	0.00	3.14	8.90
	0.60 g/L	-0.81	0.88	1.00	-3.69	2.07
0.20 mg/L	0.10 g/L	-12.50*	0.88	0.00	-15.38	-9.63
	0.30 g/L	-0.44	0.88	1.00	-3.32	2.44
	0.40 g/L	-3.18*	0.88	0.02	-6.06	-0.30
	0.50 g/L	-6.48*	0.88	0.00	-9.36	-3.61
	0.60 g/L	-13.31*	0.88	0.00	-16.19	-10.43
0.30 mg/L	0.10 g/L	-12.06*	0.88	0.00	-14.94	-9.19
	0.20 g/L	0.44	0.88	1.00	-2.44	3.32
	0.40 g/L	-2.74	0.88	0.07	-5.62	0.14
	0.50 g/L	-6.04*	0.88	0.00	-8.92	-3.17
	0.60 g/L	-12.87*	0.88	0.00	-15.75	-9.99
0.40 mg/L	0.10 g/L	-9.32*	0.88	0.00	-12.20	-6.45
	0.20 g/L	3.18*	0.88	0.02	0.30	6.06
	0.30 g/L	2.74	0.88	0.07	-0.14	5.62
	0.50 g/L	-3.30*	0.88	0.02	-6.18	-0.43
	0.60 g/L	-10.13*	0.88	0.00	-13.01	-7.25
0.50 mg/L	0.10 g/L	-6.02*	0.88	0.00	-8.90	-3.14
	0.20 g/L	6.48*	0.88	0.00	3.61	9.36
	0.30 g/L	6.04*	0.88	0.00	3.17	8.92
	0.40 g/L	3.30*	0.88	0.02	0.43	6.18
	0.60 g/L	-6.83*	0.88	0.00	-9.71	-3.95
0.60 mg/L	0.10 g/L	0.81	0.88	1.00	-2.07	3.69
	0.20 g/L	13.31*	0.88	0.00	10.43	16.19
	0.30 g/L	12.87*	0.88	0.00	9.99	15.75
	0.40 g/L	10.13*	0.88	0.00	7.25	13.01
	0.50 g/L	6.83*	0.88	0.00	3.95	9.71

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

### Interpretación

Sólo tomando en cuenta la sedimentación de 40 minutos, se puede observar que con concentración de coagulante de 0.20 g/L es donde se logra mayor remoción de la turbiedad en el agua. Sin embargo, demostrando diferencia significativa con los demás niveles de concentración a excepción de la concentración de 0.30 g/L.

**Tabla 13**

*Análisis de varianza para el efecto de la Moringa oleifera en la remoción de color en agua de la quebrada Almendrilla, Moyobamba.*

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Intersección	1101615.0	1.0	1101615.0	3376.6	0.000
Sedimentación	13500.0	1.0	13500.0	41.4	0.000
Concentraciones	64505.0	5.0	12901.0	39.5	0.000
Sedimentación * Concentraciones	570.0	5.0	114.0	0.3	0.880
Error	15660.0	48.0	326.3		
<b>Total</b>	<b>1195850.0</b>	<b>60.0</b>			

R al cuadrado = ,834 (R al cuadrado ajustada = ,796)

### **Interpretación**

El cuadro de análisis de varianza para el parámetro de color del agua, demuestra que existe un efecto significativo individualmente tanto del tiempo de sedimentación y los niveles de concentración del coagulante de *Moringa oleifera*. Sin embargo, no ocurre lo mismo con la interacción de ambos factores; es decir, individualmente el tiempo de sedimentación y la concentración del coagulante tienen un efecto significativo en la remoción del color del agua, dado que el valor de la significancia de la prueba es menor a 0.05, mientras que para la interacción de los factores el valor de la significancia de la prueba es ampliamente superior a 0.05.

**Tabla 14**

*Prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni para el efecto de la Moringa oleifera para remoción de color del agua en la quebrada Almendrillo, Moyobamba.*

(I) Concentraciones	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
				Límite inferior	Límite superior	
0.10 g/L	0.20 g/L	92.00*	10.43	0.00	58.01	125.99
	0.30 g/L	86.00*	10.43	0.00	52.01	119.99
	0.40 g/L	77.00*	10.43	0.00	43.01	110.99
	0.50 g/L	69.00*	10.43	0.00	35.01	102.99
	0.60 g/L	33.00	10.43	0.06	-0.99	66.99
0.20 g/L	0.10 g/L	-92.00*	10.43	0.00	-125.99	-58.01
	0.30 g/L	-6.00	10.43	1.00	-39.99	27.99
	0.40 g/L	-15.00	10.43	1.00	-48.99	18.99
	0.50 g/L	-23.00	10.43	0.56	-56.99	10.99
	0.60 g/L	-59.00*	10.43	0.00	-92.99	-25.01
0.30 g/L	0.10 g/L	-86.00*	10.43	0.00	-119.99	-52.01
	0.20 g/L	6.00	10.43	1.00	-27.99	39.99
	0.40 g/L	-9.00	10.43	1.00	-42.99	24.99
	0.50 g/L	-17.00	10.43	1.00	-50.99	16.99
	0.60 g/L	-53.00*	10.43	0.00	-86.99	-19.01
0.40 g/L	0.10 g/L	-77.00*	10.43	0.00	-110.99	-43.01
	0.20 g/L	15.00	10.43	1.00	-18.99	48.99
	0.30 g/L	9.00	10.43	1.00	-24.99	42.99
	0.50 g/L	-8.00	10.43	1.00	-41.99	25.99
	0.60 g/L	-44.00*	10.43	0.00	-77.99	-10.01
0.50 g/L	0.10 g/L	-69.00*	10.43	0.00	-102.99	-35.01
	0.20 g/L	23.00	10.43	0.56	-10.99	56.99
	0.30 g/L	17.00	10.43	1.00	-16.99	50.99
	0.40 g/L	8.00	10.43	1.00	-25.99	41.99
	0.60 g/L	-36.00*	10.43	0.03	-69.99	-2.01
0.60 g/L	0.10 g/L	-33.00	10.43	0.06	-66.99	0.99
	0.20 g/L	59.00*	10.43	0.00	25.01	92.99
	0.30 g/L	53.00*	10.43	0.00	19.01	86.99
	0.40 g/L	44.00*	10.43	0.00	10.01	77.99
	0.50 g/L	36.00*	10.43	0.03	2.01	69.99

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

### Interpretación

Sólo tomando en cuenta la sedimentación de 40 minutos, se puede observar que con concentración de coagulante de 0.20 m/L es donde se logra mayor remoción de la turbiedad en el agua, demostrando diferencia significativa con los demás niveles de concentración del coagulante a excepción de la concentración de coagulante de 0.30, 0.40 y 0.50 g/L.

### 3.2 Discusión

Se presentan las discusiones a partir de las investigaciones antecesoras a la presente, con los que se realiza la validación correspondiente:

De acuerdo a los resultados obtenidos de la aplicación de *Moringa oleifera* para la remoción de hierro, color y turbiedad del agua en la quebrada Almendrillo, se observa que es un coagulante efectivo y de bajo costo de obtención. Además, que su manejo para tratar el agua es simple, no representa exposición de la salud de las personas ni la integridad del ambiente.

Si bien, se logró remoción del parámetro por debajo de los LMP solamente en el caso del hierro, se observa una remoción de turbiedad considerable y muy próxima a cumplir con la normativa. Caso contrario es el del color, con el que hubo actividad poco eficiente en su remoción.

Al igual que Moreno (2018), en su tesis “Aplicación de semilla de *Moringa oleifera* Lam, como alternativa coagulante de agua almacenada en el municipio de Zirándaro, Gro”, en esta investigación se aplicó concentraciones puras de *Moringa oleifera*, con resultados favorables para la reducción de turbiedad en ambos casos.

Acebo y Tumbaco (2018), encontraron que el extracto de *Moringa oleifera* con agregado de NaCl al 1%, es eficiente en aguas con medidas iniciales de turbiedad considerablemente elevadas. En cuyo caso, alcanzaron remoción del 100% de una turbidez inicial de 1820 NTU. El mismo % de eficiencia fue determinado para el parámetro del color. No obstante, con la presente investigación se demuestra que, de la aplicación de este coagulante, aún en niveles iniciales de turbiedad bajos, se logra remoción considerable del 73.2% con una de las concentraciones más bajas (0.20g/L de coagulante) y sin uso de otra sustancia como coadyuvante, lo que podría significar que el uso de otras sustancias en el tratamiento del agua puede ayudar en la mejora de los resultados. Por otro lado, para el parámetro del color se obtuvo eficiencia de remoción máxima del 53.7%.

Carrizales y Enríquez (2019), en su tesis “Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica”, concluyen que para turbiedad menor a 50

UNT las dosis óptimas se encuentran entre 10 a 50 mg/L, lo cual sugiere que se deben trabajar con concentraciones menores a las aplicadas en esta investigación y se corrobora dicha información con base en los resultados obtenidos.

Castillo y Avendaño (2020), en su artículo científico de investigación cuyo objetivo fue comprobar el “Efecto de las semillas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en las condiciones para clarificación del agua del río Sama”, concluyen que con la concentración de 0.20g/L el coagulante alcanza sus mejores porcentajes de remoción de turbidez (92,37% y 98,88%), partiendo de medidas iniciales de 48,6 NTU y 424 NTU. Lo cual coincide con los resultados de la presente investigación, que, con la misma concentración de coagulante, se logró el mejor % de remoción. Indican además que al aumentar el tiempo de sedimentación los resultados de remoción mejoran considerablemente. Dicha afirmación es secundada, ya que, al considerar tiempos de sedimentación de 20 y 40 minutos para esta investigación, se observa que los mejores resultados se encuentran al segundo tiempo considerado.

Campos (2020), en su tesis “Efecto coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* para clarificar agua del canal Monsefú, Centro Poblado Callanca, distrito Monsefú”, aplica dosis de 0,20g a 0.60g en 0.5 litros de agua, encontrando resultados favorables en la clarificación del agua con respecto a la turbidez, al igual que en los resultados obtenidos en la presente investigación al aplicar concentraciones similares de 0.10g/L hasta 0.60g/L.

## CONCLUSIONES

Los parámetros físico químicos analizados en la presente investigación se encuentran excediendo los LMP del agua para consumo humano. Los resultados iniciales, previos al tratamiento para el hierro es de 0.82 mg/L, turbidez de 23.7 UNT y color de 190 UCV.

Al determinar los valores y realizar la comparación de los parámetros físico químicos de interés, antes y después del uso del biocoagulante de *Moringa oleifera*, se concluye que: a) para el caso del hierro, aplicando 0.60 g/L con tiempo de sedimentación de 40 minutos se logra su máxima reducción a 0.05mg/L, respectivamente b) para el parámetro turbiedad, se observa remoción del parámetro con ambos tiempos, aplicando 0.20 g/L del coagulante; alcanzando remoción hasta los 9.4 NTU Y 6.4 NTU, c) de igual forma para el parámetro del color, se observa remoción del parámetro con ambos tiempos, aplicando 0.20 g/L del coagulante, siendo los mejores resultado 115 UCV y 88 UCV.

La mejor eficiencia de remoción del hierro fue de 93.7%, al aplicar concentración de coagulante de 0.60 g/L y con tiempo de sedimentación de 40 minutos. Para el parámetro de turbiedad, se alcanzó eficiencia del 73.2% con la aplicación de 0.20 g/L de coagulante y tiempo de sedimentación de 40 minutos. Por último, para el color, la máxima eficiencia alcanzada fue de 53.7% con la misma concentración de coagulante y tiempo de sedimentación del parámetro anterior.

En cuanto a la evaluación del efecto de la *Moringa oleifera* en la remoción de los parámetros de hierro, turbiedad y color; esta se hizo teniendo en cuenta los factores de tiempo y concentraciones del coagulante. Los resultados demuestran que para los parámetros de hierro y turbiedad las interacciones de ambos factores tienen efecto significativo en sus remociones. En el caso del color la interacción de los factores no es significativa, pero sí por separado.



## RECOMENDACIONES

Realizar estudios de remoción con parámetros de turbiedad, color y hierro iniciales más elevados y con menores concentraciones de coagulante, ya que a concentraciones más elevadas el agua tiende a sobresaturarse y el proceso de floculación puede verse interferido.

Tener en cuenta otros parámetros físico químicos y microbiológicos para ampliar el conocimiento sobre la acción coagulante de la *Moringa oleifera*.

En futuras investigaciones se puede poner a prueba el coagulante de albumen de *Moringa oleifera* teniendo como factor el método de desengrasado, para definir si este será un factor determinante en los resultados obtenidos. Además, realizar el análisis costo-beneficio, ya que con esto se observará la posible ventaja de este biocoagulante frente a otros coagulantes como son los de tipo químico.

Desarrollar otras investigaciones aplicando este coagulante en la remoción del hierro y otros metales pesados contenidos en las aguas superficiales. Dado que los resultados obtenidos para este parámetro con satisfactorios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO PICÓN, Ernesto D. *Uso de semillas de moringa (Moringa oleifera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Rio Negro, Rio De Oro y Quebrada Floridablanca, Santander. 2019.* Disponible en el repositorio institucional de la Universidad de Santander: <https://bit.ly/3tZeVjy>
- ACEBO MITE, Kevin Marlon; TUMBACO TALLEDO, Danya Melany. *Eficiencia de Biocoagulante a Base de Semilla de Moringa oleifera para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación El Rio Guayas. 2018.* Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Disponible en repositorio institucional: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/27909>.
- ALFARO, Cendry. *Importancia de los péptidos catiónicos en la respuesta inmune innata. Revista Médica del Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera, 2005, vol. 40, no 2, p. 53-58.*
- ALFARO, V. N.; MARTÍNEZ, W. *Rendimiento y uso potencial de Moringa oleifera Lam. en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala. Proyecto FODECYT, 2007, no 26-2006, p. 1-135.*
- AGUILAR, M. I. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.* Editum, 2002.
- BRAVO VIDAURRE, Franklin. *Uso de semilla de Moringa oleifera como biocoagulante natural para mejorar la calidad del agua proveniente del rio Ahuashiyacu-Tarapoto, 2022.* Recuperado de enlace de correo electrónico: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/MAEST.%20GEST.%20AMB.%20-%20Franklin%20Bravo%20Vidaurre.pdf>
- CAMPOS CASTRO, Hugo Santiago. *Efecto coagulante de la semilla de Moringa (Moringa oleifera) para clarificar agua del canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú, 2020.* Disponible en el repositorio de la Universidad de Lambayeque: <https://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/304>

- CARRIZALES CONDORI, Rosali Loren; ENRÍQUEZ NATEROS, Nilo Abelardo. *Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de Moringa oleifera en la clarificación del agua de la quebrada taczanapampa de la ciudad de Huancavelica*. 2019.
- CASTILLO COHAILA, Marcial Alfredo; AVENDAÑO CÁCERES, Edgardo Óscar. *Efecto de las semillas de moringa (Moringa oleifera lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río sama*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2020, vol. 86, no 1, p. 47-57. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2020000100047&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2020000100047&script=sci_arttext&tlng=pt)
- CEPIS, 2004. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *TOMO, I. Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría*. 2004.
- CERON ALARCON, Ivan Dario; GARZON MENESES, Nadine Lizbeth. *Evaluación de la semilla de Moringa oleifera como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del Río Bogotá en su paso por el Municipio de Villapinzón-Cundinamarca*. 2015.
- CHEPOTE CAVERO, Mauricio Andrés. *Siembra del cultivo de Moringa (Moringa oleifera) en la pampa de Villacuri, Departamento de Ica*. 2018. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3012696>
- CHULLUNCUY CAMACHO, Nadia Cristina. *Tratamiento de agua para consumo humano*. *Ingeniería Industrial*, 2011, no 029, p. 153-170. Disponible en: <file:///E:/USUARIO/Downloads/232-Texto%20del%20art%C3%ADculo-694-1-10-20150311.pdf>
- COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio*. *Dyna*, 2011, vol. 78, no 165, p. 18-27.
- Del Valle, M. (2017). *Eficiencia de la remoción de sólidos suspendidos mediante el uso de biopolímeros en agua turbia del estero salado*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

- DIGESA, 2007. Dirección General de Salud. *Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales*. Dirección de Ecología y Protección del Ambiente.
- DIGESA, 2011. Dirección General de Salud. Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano- DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud.
- FUNASA. Fundación Nacional de Salud. *Manual Práctico de Análisis de Agua*. 2013. Coordinación de Comunicación Social. 4ta. Brasilia : s.n., 2013, pág. 51. [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_practico\\_analisis\\_agua\\_4\\_ed.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf)
- GUZMÁN, Luis, et al. *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión*. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 2013, vol. 16, no 1, p. 253-262.
- ISLA DE JUANA, Ricardo. 2007. *Ingeniería Sanitaria y del Agua (Formulario-Diccionario)*. Madrid : Bellisco, 2007. ISBN: 84-96486-40-0.
- JOSÉ ZAMORA, María Luisa. "*Optimización del tratamiento enzimático asistido con ultrasonido para la extracción de aceite de semillas de moringa (Moringa oleifera)*". (Tesis de maestría). Universidad de Papaloapan, Oaxaca.2017.
- LORENZO-ACOSTA, Yaniris. *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 2006, vol. 40, no 2, p. 10-17. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- MARÍN, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de la calidad de aguas*. Madrid: Díaz de Santos.
- MARTÍN, I.; SALCEDO, R.; FONT, R. Mecánica de Fluidos Tema 5. *Operaciones separación sólido-fluido*. Universidad de Alicante, 2011, p. 15-27.
- MORENO CABRERA, Gemma Arintzy. *Aplicación de Semilla de Moringa oleifera Lam Como Alternativa Coagulante de Agua Almacenada en el Municipio de Zirándaro, Gro.* 2018. Disponible en repositorio institucional: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95033>

- MPM. *Memoria Anual*. 2021. Municipalidad Provincial de Moyobamba. Disponible en: [http://www.munimoyobamba.gob.pe/app/archivos\\_sigolo/docs/MEMORIA%20ANUAL-2019.pdf](http://www.munimoyobamba.gob.pe/app/archivos_sigolo/docs/MEMORIA%20ANUAL-2019.pdf).
- Oliva, UC, J; VALLEJOS, G. Giacomani; CORTÉS, M. Pérez. *Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico*. Ingeniería, 2008, vol. 12, no 2, p. 17-29. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46712202.pdf>
- PANIAGUA, Antonio; CHORA, José. *Elaboración de Aceite de semillas de Moringa oleifera para diferentes usos*. *Revista de Ciencias de la Salud*, 2016, vol. 3, no 9, p. 36-46. Disponible en: [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias\\_de\\_la\\_Salud/vol3num9/Revista\\_Ciencias\\_de\\_la\\_Salud\\_V3\\_N9\\_5.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_de_la_Salud/vol3num9/Revista_Ciencias_de_la_Salud_V3_N9_5.pdf)
- PÉREZ, Arturo, et al. *Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark: Una alternativa para la alimentación animal*. *Pastos y forrajes*, 2010, vol. 33, no 4, p. 1-1. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942010000400001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000400001)
- RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. *Ingeniería Química*, 2009. Disponible en el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia: [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239\\_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ROMERO, Rafael Canett; CORRALES, Víctor Hugo Domínguez; MONTAÑO, Geobanni Torres. *Aspectos Importantes De Moringa Oleifera: Una Alternativa Para Tratar La Anemia Por Deficiencia De Hierro*. *Biotecnia*, 2016, vol. 18, no 1, p. 3-9. Disponible: <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/240/192>
- REYES SÁNCHEZ, Nadir. *Moringa oleifera and Cratylia argentea*. 2006. [https://pub.epsilon.slu.se/1027/1/NRS\\_General\\_Discussion\\_Final\\_Version\\_Nov\\_05.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/1027/1/NRS_General_Discussion_Final_Version_Nov_05.pdf)
- TOBIAS, Francisco Liñán. *Moringa oleifera, el árbol de la nutrición*. *Ciencia y salud Virtual*, 2010, vol. 2, no 1, p. 130-138. Disponible en el repositorio de Corporación

Universitaria Rafael Núñez: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-MoringaOleiferaElArbolDeLaNutricion-6635304.pdf>

TRUQUE, Paola. *Armonización de los estándares de agua potable en las Américas*. Organización de Estados Americanos, Washinton DC, EE. UU, 2011.

TURRIAGO RÍOS, Fabio Arbey, et al. *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa oleifera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del Caño Cola de Pato ubicado en el sector rural del Municipio de Acacias*. 2012. Disponible en repositorio institucional: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/1428>

UNICEF. *Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia*. 2019. WHO UNICEF. Disponible en: <https://washdata.org/data/household#!/table?geo0=country&geo1=PER>.

VELÁZQUEZ-ZAVALA, Minerva, et al. *Moringa (Moringa oleifera Lam.): potential uses in agriculture, industry and medicine*. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 2016, vol. 22, no 2, p. 95-116. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1027-152x2016000200095](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1027-152x2016000200095)

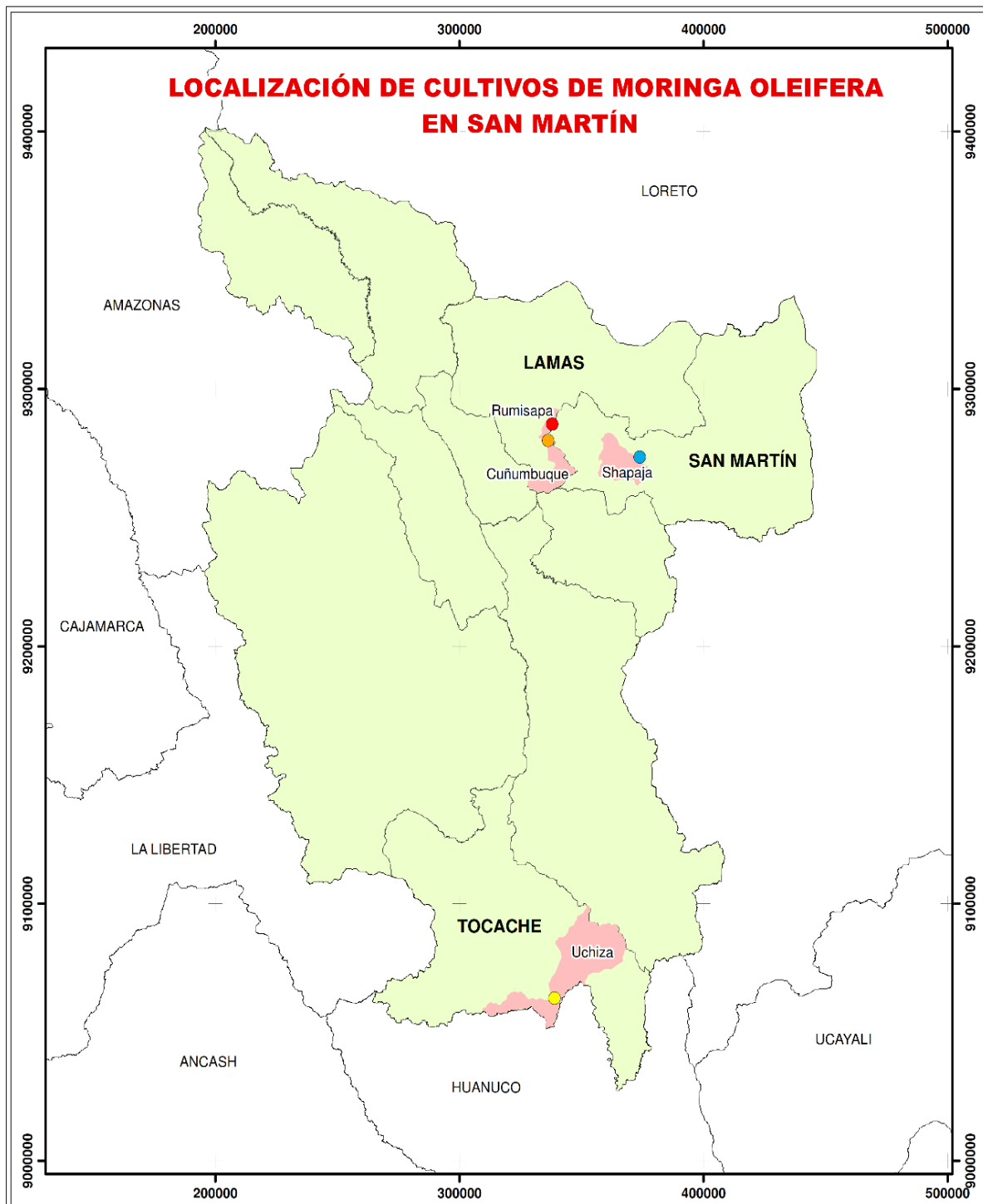
**ANEXOS**





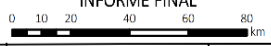





**Anexo 1.** Recorrido desde la ciudad de Moyobamba (Óvalo "La Orquídea") al CC.PP Juningue  
Fuente: Google Earth, 2022







<b>Leyenda</b>		 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</b>	
<b>Cultivos de Moringa O.</b>	 Distritos localizados	<b>"LOCALIZACIÓN DE CULTIVOS DE MORINGA OLEÍFERA EN LA REGIÓN SAN MARTÍN"</b> INFORME FINAL	
 Fundo Elizabeth	 Límite departamental		
 Selva Viva Park		Marco de Referencia:	Escala: 1:2,000,000 Fecha: enero, 2023
 Fundo Don Jacinto		S.C UTM Datum WGS84 Zona 18 Sur	Tesisista: Windy Stefany Dávila Tuesta
 Chacra Caracol Ecológico			

**Anexo 4. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica.**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoníaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

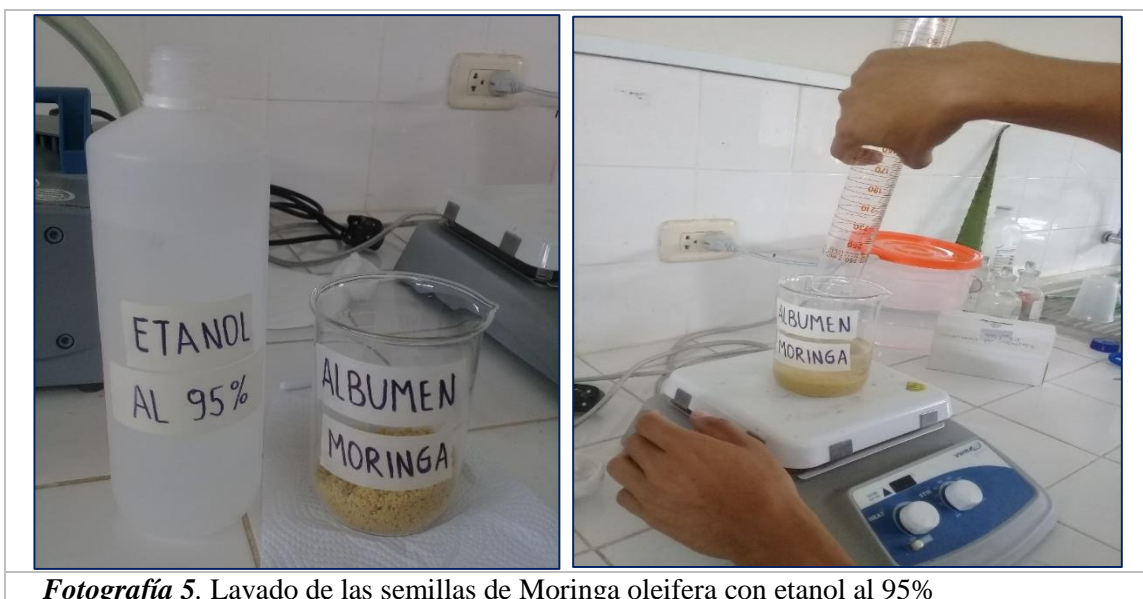
Fuente: D.S. N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

**Anexo 5. Panel fotográfico**

**Fotografía 3.** Toma de muestra de agua de la quebrada Almendrillo, CC.PP Juningue



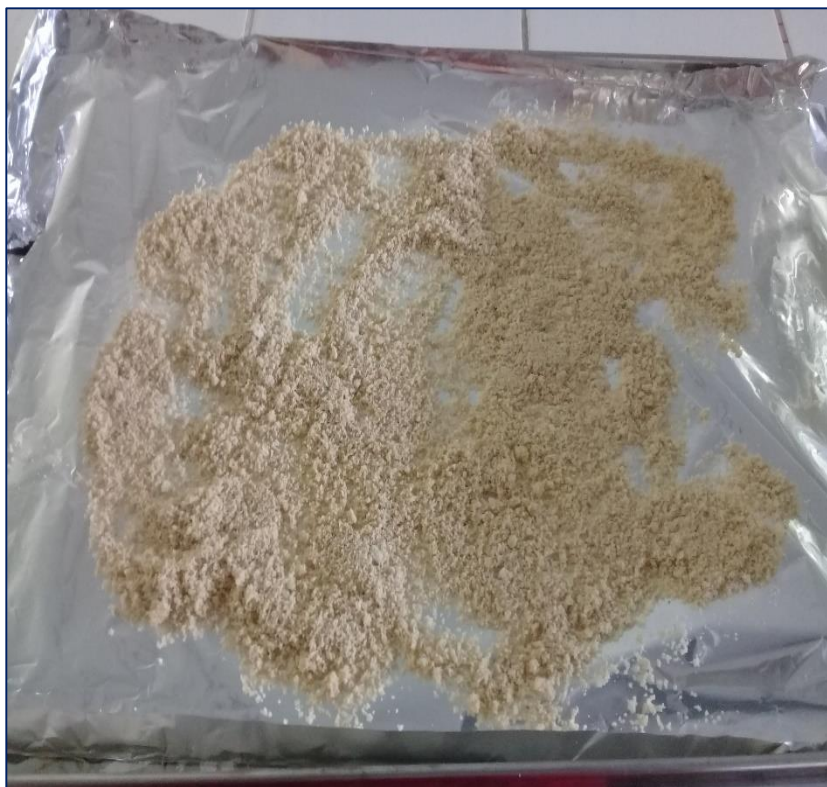
**Fotografía 4.** Descascarado de las semillas de Moringa oleifera



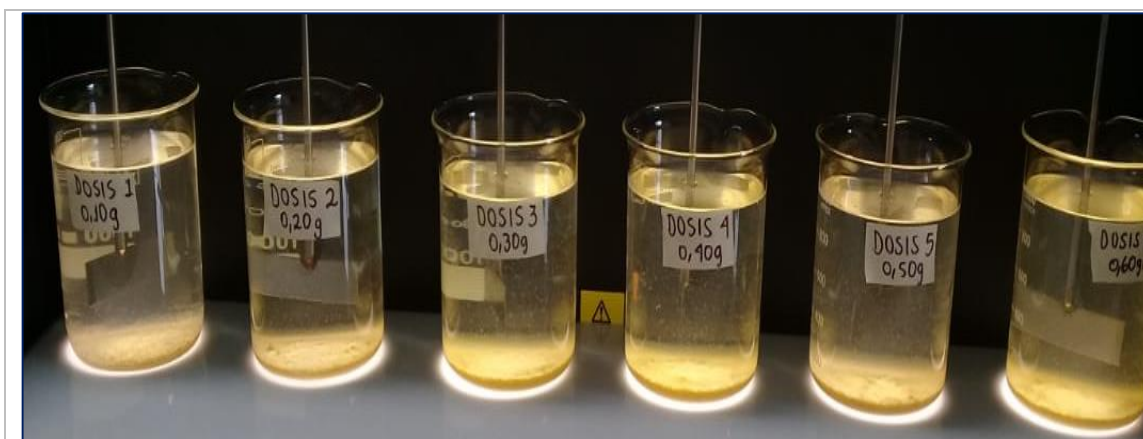
**Fotografía 5.** Lavado de las semillas de Moringa oleifera con etanol al 95%



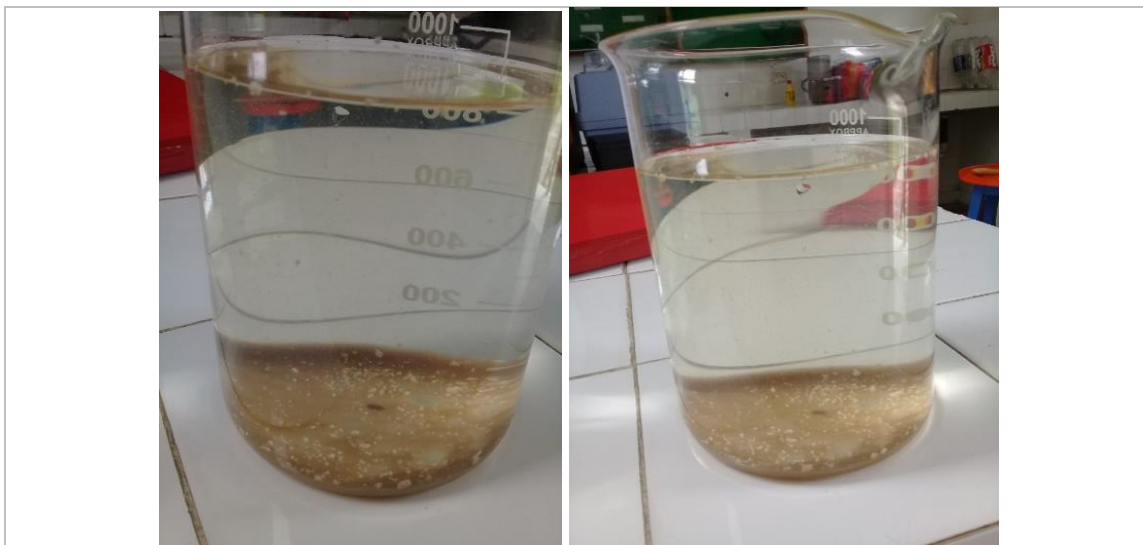
**Fotografía 6.** Filtrado al vacío para la separación del polvo de Moringa oleifera de los líquidos que contienen las grasas.



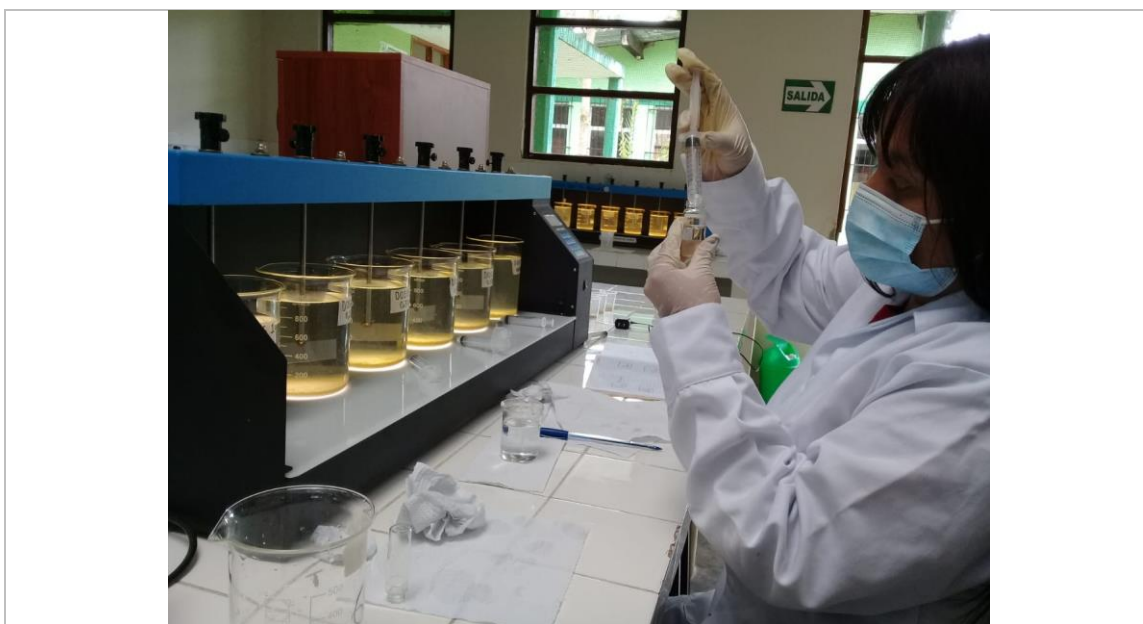
**Fotografía 7.** Polvo de Moringa oleifera desengrasada



**Fotografía 8.** Aplicación de Prueba de Jarras



**Fotografía 9.** Observación del efecto floculante del coagulante a base de *Moringa oleifera*.



**Fotografía 10.** Medición de parámetros de hierro, color y turbidez.

# Moringa oleifera para remoción de hierro, turbiedad y color del agua en la quebrada Almendrillo, Moyobamba

*por Windy Stefany - Dávila Tuesta*

---

**Fecha de entrega:** 15-may-2023 09:21a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2093784726

**Nombre del archivo:** ING.\_SANITARIA\_-\_Windy\_Stefany\_D\_vila\_Tuesta\_-\_PARAFRASEADO.docx (11.36M)

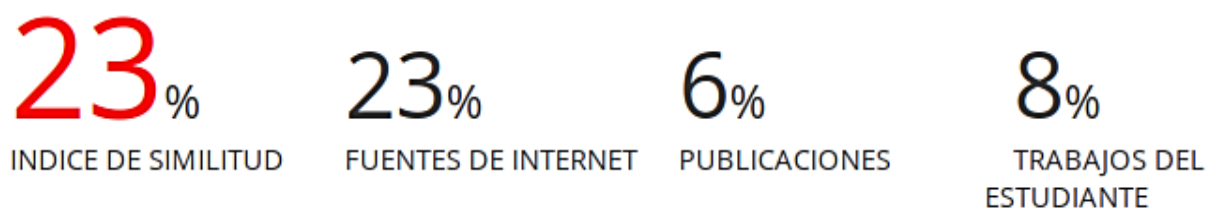
**Total de palabras:** 12182

**Total de caracteres:** 65423



# Moringa oleifera para remoción de hierro, turbiedad y color del agua en la quebrada Almendrillo, Moyobamba

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.udh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	