

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“EFECTO DE LA REMOCIÓN DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS
DE *Moringa oleifera* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS POR
COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN”**

Presentada por:

ELIZABETH MARGARITA ARENAS DIAZ

Tesis para Optar el Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS
“EFECTO DE LA REMOCIÓN DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS
DE *Moringa oleifera* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS POR
COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN”

Presentada por:

ELIZABETH MARGARITA ARENAS DIAZ

Tesis para Optar el Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:

Dra. Rosemary Vela Cardich

PRESIDENTE

Ph. D. Lizardo Visitación Figueroa

MIEMBRO

Mg. Sc. Wilfredo Baldeón Quispe

MIEMBRO

Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua

ASESOR

Ing. Quím. Mary Flor Césare Coral

CO-ASESORA

DEDICATORIA

*Esta investigación la dedico a mi familia por su apoyo
constante en mi titulación profesional*

AGRADECIMIENTO

A mi mamá, por su empuje para no perderme en el objetivo trazado de culminar lo que empecé, al decidir dejar de laborar en la carrera para poder obtener mi titulación.

A mi hermano, por su apoyo financiero en las emergencias que tuve para comprar insumos y poder continuar con la parte experimental de mi tesis.

A mi abuelita, por siempre preguntarme del progreso de mi tesis.

A mis asesores, el profesor Lawrence Quipuzco y la profesora Mary Flore Césare por su tiempo invertido y su apoyo para impulsar para sacar adelante un artículo científico.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por promover la investigación a través de los concursos de financiamiento de tesis de pre-grado la cuál esta tesis fue parte.

Y finalmente, al que hizo posible la ejecución de la parte experimental de mi tesis, al profesor Juan Juscamaita Morales, quien me brindó su apoyo y me permitió el acceso a su laboratorio y a los equipos que necesitaba. Gracias a usted por ser como es y apoyar a todos los estudiantes sin importar de la carrera en sus travesías experimentales.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. ÁRBOL MORINGA OLEÍFERA	4
2.1.1. Descripción general	4
2.1.2. Coagulante natural de las semillas de <i>Moringa oleifera</i>	7
2.2. PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	11
2.2.1. Partículas Coloidales	11
2.2.2. Coagulación	17
2.2.3. Floculación	21
2.2.4. Parámetros físico-químicos del agua	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. UBICACIÓN	25
3.2. MATERIALES	25
3.2.1. Materiales de Laboratorio.....	25
3.2.2. Equipos	26
3.2.3. Insumos y Reactivos Químicos	26
3.3. MÉTODO	27
3.3.1. Identificación de las variables de investigación	27
3.3.2. Fases de la Investigación	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS SEMILLAS DE <i>Moringa oleifera</i> ...	35
4.2. CANTIDAD DE PROTEÍNAS ACUOSAS EN LOS COAGULANTES DE <i>Moringa oleifera</i>	36
4.3. ANÁLISIS DE LA TURBIEDAD RESIDUAL EN LAS AGUAS SINTÉTICAS	37
4.3.1. Resultados del agua sintética de turbiedad baja	37
4.3.2. Resultados del agua sintética de turbiedad intermedia	41
4.3.3. Resultados del agua sintética de turbiedad alta	44

4.4. MEJOR SOLVENTE PARA LA EXTRACCIÓN DE COMPONENTES ACTIVOS.....	47
4.5. EFECTO DE LA TURBIEDAD INICIAL EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN	49
4.5.1. Turbiedad residual	50
4.5.2. Dosis óptima.....	50
4.5.3. Remoción de turbiedad.....	51
4.6. INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES DE <i>Moringa oleifera</i> SOBRE EL pH DEL AGUA TRATADA.....	52
4.7. INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES DE <i>Moringa oleifera</i> SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL AGUA TRATADA	53
V. CONCLUSIONES.....	56
VI. RECOMENDACIONES.....	58
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
VIII. ANEXOS	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la especie <i>Moringa oleifera</i>	4
Tabla 2: Usos y aplicaciones del árbol de <i>Moringa oleifera</i>	5
Tabla 3: Composición proximal de las semillas de <i>Moringa oleifera</i>	6
Tabla 4: Porcentajes de aceite extraído de las semillas de <i>Moringa oleifera</i> con el extractor de Soxhlet	7
Tabla 5: Clasificación de las partículas presentes en el agua de acuerdo a su tamaño ..	11
Tabla 6: Métodos empleados en el análisis proximal de las muestras «Mo» y «MosinAc»	29
Tabla 7: Coagulantes naturales en base a las semillas de <i>Moringa oleifera</i> preparados.....	29
Tabla 8: Concentraciones óptimas de los coagulantes naturales preparados	30
Tabla 9: Parámetros de la coagulación-floculación.....	32
Tabla 10: Composición proximal de las semillas de <i>Moringa oleifera</i> (g/100 gramos de muestra)	36
Tabla 11: Cantidad de proteínas acuosas en los coagulantes preparados al 1 por ciento de concentración.....	37
Tabla 12: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 20 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo»	38
Tabla 13: Resultados de la coagulación-floculación en muestra de 20 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «MosinAc».....	38
Tabla 14: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 120 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo».....	41
Tabla 15: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 120 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «MosinAc».....	41
Tabla 16: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 500 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo»	44
Tabla 17: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 500 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «MosinAc»	44
Tabla 18: Resultados en las dosis óptimas de los coagulantes preparados	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Semillas de <i>Moringa oleifera</i>	6
Figura 2: Agregación de partículas de (a) Montmorillonita (b) Bacterias Gram-positivas (c) Bacterias Gram- negativas alrededor de MO 2.1	8
Figura 3: Ubicación de la investigación	25
Figura 4: Proceso de obtención de las semillas de <i>Moringa oleifera</i> «Mo».....	27
Figura 5: Equipo Soxhlet empleado y muestra de semillas «MosinAc».....	28
Figura 6: Proceso de preparación del coagulante natural en base a las semillas de <i>Moringa oleifera</i>	30
Figura 7: Cubetas (1 blanco y 3 repeticiones) para la medición de su absorbancia y determinación de la concentración de proteínas acuosas en el coagulante natural	31
Figura 8: Muestras de agua sintética de 20 UNT, 120 UNT Y 500 UNT	32
Figura 9: Turbiedad residual en agua sintética de 20 UNT.....	39
Figura 10: Remoción de turbiedad en agua sintética de 20 UNT	39
Figura 11: Turbiedad residual en agua sintética de 120 UNT.....	42
Figura 12: Remoción de turbiedad en agua sintética de 120 UNT	42
Figura 13: Turbiedad residual en agua sintética de 500 UNT.....	45
Figura 14: Remoción de turbiedad en agua sintética de 500 UNT	45
Figura 15: Efecto de la turbiedad inicial en la turbiedad residual del agua tratada para los coagulantes preparados	50
Figura 16: Efecto de la turbiedad inicial en las dosis óptimas de los coagulantes preparados.....	51
Figura 17: Efecto de la turbiedad inicial en la remoción de la turbiedad.....	52
Figura 18: Influencia de las dosis de los coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> sobre el pH residual del agua tratada	53
Figura 19: Influencia de las dosis de los coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> sobre la conductividad eléctrica del agua tratada.....	55

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados del proceso de coagulación- floculación.....	67
Anexo 2: Prueba de Levene para igualdad de varianzas de los pH residuales	73
Anexo 3: Normalidad de los residuos de los pH residuales.....	74
Anexo 4: Análisis de Varianza a los pH residuales	77
Anexo 5: Prueba de Levene para igualdad de varianzas de las conductividades eléctricas	81
Anexo 6: Normalidad de los residuos de las conductividades eléctricas.....	82
Anexo 7: Análisis de Varianza a las conductividades eléctricas	84
Anexo 8: Ficha Técnica Caolinita.....	87
Anexo 9: Ficha Técnica Agua destilada.....	88
Anexo 10: Análisis Proximal a semillas originales de Moringa oleifera.....	89
Anexo 11: Análisis Proximal a semillas de Moringa oleifera con extracción de aceite.....	90
Anexo 12: Fotos	91

RESUMEN

La presente investigación fue realizada con el fin de evaluar el efecto de la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* para mejorar los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbiedad. Para ello se preparó agua sintética a tres niveles de turbiedad inicial: 20 UNT, 120 UNT y 500 UNT; se removió el aceite de las semillas mediante el extractor de Soxhlet empleando Etanol como solvente; y se realizaron pruebas de jarras. Los coagulantes preparados fueron con las semillas originales de *Moringa oleifera* «Mo» y con las semillas posterior a la remoción de su aceite «MosinAc» utilizando agua destilada (AD) y NaCl 1M (NaCl) como solventes de extracción de los componentes activos de la coagulación. Para lograr el objetivo general se determinó la composición proximal de las semillas «Mo» y «MosinAc», la concentración de proteínas acuosas en los coagulantes preparados con concentración al 1 por ciento, las dosis óptimas de los coagulantes en cada una de las tres aguas sintéticas, el mejor solvente. Asimismo, se evaluó la influencia de los coagulantes sobre el pH y conductividad eléctrica en el agua tratada y el efecto de la turbiedad inicial en el agua a tratar. Los resultados de la composición proximal de las semillas «Mo» y «MosinAc» indican que se pudo elevar la concentración de proteínas en un 46 por ciento con la remoción del aceite de las semillas. La remoción del aceite logró elevar la concentración de proteínas en un 93 por ciento y 44 por ciento cuando se empleó agua destilada y NaCl 1M como solventes de extracción, respectivamente. La remoción del aceite redujo las dosis óptimas hasta 5 veces cuando se empleó agua destilada como solvente de extracción y hasta 4 veces cuando se empleó NaCl 1M. El mejor solvente fue el NaCl 1M. Los coagulantes de *Moringa oleifera* no modifican el pH, pero si la conductividad eléctrica en caso se utilice una solución salina como solvente de extracción. A mayor turbiedad inicial en el agua a tratar, mayores son las dosis óptimas requeridas (a excepción de las aguas de baja turbiedad), mayor es la turbiedad residual en el agua tratada y mayor es la eficiencia de la remoción de turbiedad.

Palabras claves: *Moringa oleifera*, coagulante natural remoción de aceite, coagulación, turbiedad.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the effect of the removal of the oil from *Moringa oleifera* seeds to enhance the process of coagulation-flocculation in the treatment of low, medium and high turbid water. To achieve this purpose, synthetic water was prepared at 20 NTU, 120 NTU and 500 NTU; Soxhlet apparatus and Ethanol as a solvent for extraction were used for the removal of oil from the seeds; and Jar Tests were performed. The coagulants were prepared with the original seeds of *Moringa oleifera* «Mo» and the seeds after the removal of oil «MosinAc» using distilled water (AD) and Sodium Chloride 1M (NaCl) as solvents of extraction of the active components of coagulation-flocculation. To achieve the purpose of the research, proximal composition of the seed samples «Mo» and «MosinAc», concentration of aqueous proteins in all the coagulants prepared, optimum doses of all the coagulants in the treatment of the three synthetic waters and the best solvent (AD or NaCl) were determined. In addition, the effect of all the *Moringa oleifera* coagulants on the pH and electrical conductivity of the treated water and the effect of the initial turbidity were evaluated. The results of the proximal composition of the seeds samples «Mo» and «MosinAc» indicated that the removal of oil increased the proteins concentration in 46 per cent. The oil removal increased the aqueous protein concentration in the coagulants in 93 percent and 44 percent when distilled water and NaCl 1M were used as solvents, respectively. The removal of oil reduced the optimum doses up to 5 times when distilled water was used as a solvent and up to 4 times when NaCl 1M was used. The best solvent was found to be NaCl 1M. The coagulants of *Moringa oleifera* does not alter the pH in the water but it alters the electrical conductivity when a saline solution is used as a solvent. The greater the initial turbidity is in the water to be the treated, the greater is the required optimum dose (in exception of low turbidity waters), the greater is the residual turbidity in the treated water and the greater is the efficiency in terms of turbidity removal.

Key words: *Moringa oleifera*, natural coagulant, oil removal, coagulation, turbidity.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los procesos de coagulación y floculación seguidos de la sedimentación, filtración y desinfección, usualmente con cloro, son usados a nivel mundial en el tratamiento de aguas antes que el agua potable se distribuya a los consumidores (Ndabigengesere *et al.*, 1998). Asimismo, en aquellas plantas de tratamiento que han adoptado las tecnologías de membranas para la ultrafiltración o microfiltración, los procesos de coagulación y floculación juegan un rol importante para la reducción del ensuciamiento de las membranas (Bratby, 2016). En los procesos de coagulación y floculación, las sales de aluminio y de fierro son los coagulantes más empleados y entre ambos las sales de aluminio las más empleadas (Ledo *et al.*, 2009). A pesar de los buenos rendimientos y el bajo costo de estos coagulantes químicos, estos requieren ajustes de pH y alcalinidad, generan un gran volumen de lodos y los compuestos residuales en el agua tratada como el aluminio están relacionados a enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y efectos neurotóxicos y cancerígenos (Pereira *et al.*, 2016). Otras desventajas son que el aluminio no es biodegradable pudiendo causar problemas ambientales durante su tratamiento y en la disposición de los lodos generados (Pereira *et al.*, 2016), la baja capacidad coagulante en climas fríos (Formentini-Schimdt *et al.*, 2018) y los altos costes de importación en países en vías de desarrollo (Ndabigengesere *et al.*, 1998).

Es por ello que en los últimos años se han desarrollado múltiples estudios para la búsqueda y empleo de coagulantes naturales como una alternativa a estos coagulantes inorgánicos y sintéticos. Actualmente, las semillas de *Moringa oleifera* son empleadas ampliamente a nivel de hogares en la clarificación del agua potable y en el tratamiento de aguas residuales ya sea directamente o como extracto crudo (García –Fayos *et al.*, 2016). Las ventajas de las semillas de *Moringa oleifera* son principalmente su alta biodegradabilidad, la baja producción de lodos en comparación con el sulfato de aluminio y, por último, la ausencia de la necesidad de ajustar el pH y la alcalinidad durante el tratamiento de aguas (Feria *et al.*, 2018). Aunque tradicionalmente las semillas de

Moringa oleifera se han limitado para el tratamiento de aguas domesticas en áreas rurales con fines potables (Gidde *et al.*, 2012), algunos autores consideran a este coagulante natural como un posible competidor del sulfato de aluminio (Sandoval *et al.*, 2016).

Las semillas de *Moringa oleifera* es una de las especies vegetales con mayor contenido de aceite, entre 30 y 45 por ciento (Tabio *et al.*, 2018). Es importante recalcar que este aceite no posee propiedades coagulantes y algunos estudios muestran una posible interacción del aceite en la calidad del agua tratada y/o en el proceso de coagulación (García-Fayos *et al.*, 2016). Ali *et al.* (2009) menciona que la remoción del aceite de las semillas es de gran ventaja porque permite disminuir la concentración de materia orgánica adicionada al agua a tratar. La materia orgánica puede ser un precursor en la formación de los trihalometanos durante la desinfección con cloro y estos compuestos pueden resultar cancerígenos (Ali *et al.*, 2009). Adicionalmente, el contenido de aceite puede formar una emulsión que inhibe el contacto entre las superficies de reacción y por consiguiente la reducción en la formación de flóculos (Ali *et al.*, 2009). Por otro lado, el aceite de las semillas posee múltiples usos en diversas áreas. Por ejemplo, puede emplearse en la dieta humana (Warra, 2014), en la producción de biodiesel (Rashied *et al.*, 2008), como lubricante de maquinaria fina (Anwar *et al.*, 2003) y la elaboración de productos de cuidado personal (Warra, 2014).

Es por ello que algunos autores recomiendan primero la extracción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* para poder aprovecharlo en otros usos y el remanente de la semilla emplearlo como coagulante natural ya que mejora la remoción de turbiedad y por tanto obtener mejores resultados en la coagulación y floculación (Muyibi *et al.*, 2002). Por lo expuesto, el objetivo general de la presente investigación es evaluar el efecto de la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* para mejorar los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbiedad.

Para lograr el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la composición proximal de las semillas de *Moringa oleifera* antes y después de la remoción de su aceite
- Determinar la concentración de proteínas acuosas (mg/L) en los distintos coagulantes naturales preparados con las semillas de *Moringa oleifera*

- Determinar las dosis óptimas mediante la prueba de jarras de los distintos coagulantes naturales preparados con las semillas de *Moringa oleifera*
- Determinar el mejor solvente (agua destilada, NaCl 1M) en la extracción de los componentes activos del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera*.
- Evaluar la influencia del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera* sobre el pH y la conductividad eléctrica en el agua tratada
- Evaluar el efecto de la turbiedad inicial en el agua a tratar en los procesos de coagulación-floculación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ÁRBOL *Moringa oleifera*

2.1.1. Descripción general

El árbol de *Moringa oleifera* pertenece a la familia moringaceae y es llamado como el árbol milagroso. De acuerdo a Singh (2013) la familia moringaceae posee un único género, *Moringa*, con un aproximado de 33 especies donde existen 13 especies documentadas. En la Tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica de la especie *Moringa oleifera*.

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la especie *Moringa oleifera*

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Super División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Eudicots
Subclase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleifera</i>

FUENTE: Singh (2013)

El árbol de *Moringa oleifera*, nativo del norte de la india se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales de alrededor del mundo (Leone *et al.*, 2016). Requiere de una precipitación anual entre 250 mm y 2000 mm dependiendo de las condiciones del suelo,

crece mejor en suelos arenosos y tolera suelos pobres con pH entre 5 a 9 unidades (Azad *et al.*, 2015). Este árbol es de rápido crecimiento, puede crecer hasta una altura de 4 metros y dar frutos en el primer año (Adegbe *et al.*, 2016)

a. Beneficios del árbol de *Moringa oleifera*

El árbol de *Moringa oleifera* es una de las plantas más valiosas en términos de beneficios a la humanidad (Lea, 2014). Casi todas las partes del árbol (semillas, raíces, hojas, flores y corteza) puede emplearse con propósitos alimenticios, medicinales, cosméticos y terapéuticos (Anwar *et al.*, 2007). En la Tabla 2 se presenta un resumen de los posibles usos y aplicaciones de cada parte del árbol de *Moringa oleifera*.

Tabla 2: Usos y aplicaciones del árbol de *Moringa oleifera*

Parte	Usos y aplicaciones
Semillas	<ul style="list-style-type: none"> – La cáscara de las semillas puede emplearse para la preparación de carbón activado (Abolore <i>et al.</i>, 2016). – Pueden emplearse como coagulante natural para el tratamiento de aguas (Okuda <i>et al.</i>, 1999; Ndabigengesere <i>et al.</i>, 1995; Aremu <i>et al.</i>, 2002). – El aceite de las semillas puede emplearse en la dieta humana (Warra, 2014), la producción de biodiesel (Rashid <i>et al.</i>, 2008), lubricante de maquinaria fina (Anwar <i>et al.</i>, 2003) y la elaboración de productos de cuidado personal (Warra, 2014).
Hojas	<ul style="list-style-type: none"> – Rica en proteínas, vitaminas y minerales (Abolore <i>et al.</i>, 2016)).
Raíces	<ul style="list-style-type: none"> – Poseen actividad antiinflamatoria (Ezeamuzie <i>et al.</i>, 1996).
Flores	<ul style="list-style-type: none"> – Propiedades para reducir la hipocolesterolemia (Gopalakrishnan <i>et al.</i>, 2016) – Gran fuente de néctar aprovechada por los criadores de abejas (Gopalakrishnan <i>et al.</i>, 2016).

FUENTE: Elaboración propia

b. Semillas de *Moringa oleifera*

Un árbol de *Moringa oleifera* puede producir entre 15,000 y 25,000 semillas por año y cada una con un peso promedio de 0.3 gramos (Adegbe *et al.*, 2016). Las semillas se caracterizan por tener una cáscara globular marrón semipermeable de aproximadamente 1 cm de diámetro con tres alas separadas en intervalos de 120°

(Adegbe *et al.*, 2016 y Leone *et al.*, 2016). El endospermo de la semilla representa entre el 70 y 75 por ciento del peso total de la semilla (Leone *et al.*, 2016). En la Figura 1 se muestra las semillas de *Moringa oleifera* empleadas en la presente investigación.



Figura 1: Semillas de *Moringa oleifera*

- **Análisis proximal de las semillas**

El análisis proximal a una muestra determina su contenido de carbohidrato, proteína, grasas, fibra, ceniza y humedad (Asociación Oficial de Química Analítica, 1990). En la Tabla 3 se muestra los resultados de distintos análisis proximales llevados a cabo a las semillas del árbol de *Moringa oleifera* por distintos autores.

Tabla 3: Composición proximal de las semillas de *Moringa oleifera*

Parámetro	Abdulkarim <i>et al.</i> (2005) Malasia	Leone <i>et al.</i>, (2016)	Adegbe <i>et al.</i> (2016) (Nigeria)
Grasa/Aceite	30.8 ± 2.19	36.7 ± 2.8	32.50 ± 7.78
Proteínas	38.3 ± 1.03	31.4 ± 1.3	39.57 ± 3.23
Carbohidratos	16.5	18.4	7.44 ± 10.30
Fibra	4.5 ± 0.38	6.8 – 8.0	5.00 ± 0.00
Ceniza	6.5 ± 0.15	4.4 – 6.9	5.00 ± 0.00
Humedad	7.9 ± 1.00	5.7 – 8.9	10.50 5.00 ± 0.71

FUENTE: Elaboración propia

- **Aceite de las semillas de *Moringa oleifera***

Como se aprecia en la Tabla 3, las grasas/aceites pueden representar entre el 30 y 40 por ciento de la masa de la semilla. Esta gran proporción de grasas/aceite puede ser aprovechada para distintos usos como se mencionan en la Tabla 1. Es importante hacer énfasis en la calidad del aceite de las semillas porque su composición en ácidos grasos es muy parecida al aceite de oliva y posee un alto porcentaje de ácido oleico lo que lo hace deseable en aspectos nutritivos y estable para su uso en la cocina (Abdulkarim *et al.*, 2005).

Entre las técnicas de extracción de aceites de muestras sólidas se tienen el prensado mecánico y el empleo de solventes. De este último se puede usar el equipo de Soxhlet con un determinado solvente. En el Tabla 4 se muestra distintos resultados de porcentajes de aceite extraídos de las semillas de *Moringa oleifera* con el extractor de Soxhlet con diferentes solventes empleados.

Tabla 4: Porcentajes de aceite extraído de las semillas de *Moringa oleifera* con el extractor de Soxhlet

Investigador	Porcentaje de Aceite Extraído	Solvente
Tsaknis <i>et al.</i> , 1999	35.7 ± 2.4	n-hexano
Anwar <i>et al.</i> , 2003	40.39	Éter de petróleo
Mani <i>et al.</i> , 2007	27.43	n-hexano
Mani <i>et al.</i> , 2007	27.16	Éter de petróleo
Amante <i>et al.</i> , 2015	36.1 ± 1.83	Etanol
Amante <i>et al.</i> , 2015	24.6 ± 2.19	n-hexano
Gómez <i>et al.</i> , 2016	42	n-hexano
Díaz <i>et al.</i> , 2017	31.60 ± 2.40	Etanol

FUENTE: Elaboración propia

2.1.2. Coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera*

El extracto acuoso del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera* no es puro y consiste principalmente en una solución de proteínas, lípidos y carbohidratos (Ndabigengesere *et al.*, 1995). Entre estas sustancias solubles posee proteínas

coagulantes que pueden emplearse en la clarificación para el tratamiento de agua (Andrade *et al.*, 2013). Se ha reportado que existe más de una familia de proteínas con actividad floculante presente en las semillas de *Moringa oleifera* (Gassenschmidt *et al.*, 1995). Entre la literatura revisada se han encontrado las siguientes proteínas con actividad coagulante en las semillas de *Moringa oleifera*.

a. MO 2.1

MO 2.1 es una proteína de aproximadamente 6.5 kDA de peso molecular con 60 aminoácidos en su estructura (Pavankumar *et al.*, 2014). Posee un 14.7 por ciento de aminoácidos cargados positivamente (7 argininas y 1 histidina) y solo un aminoácido cargado negativamente (ácido aspártico) que representa el 1.6 por ciento (Broin *et al.*, 2002). Debido a ello, la proteína en solución es altamente positiva con un punto isoeléctrico de 12.6 (Broin *et al.*, 2002). MO 2.1 posee un total de 14 glutaminas que representa un total de un 23 por ciento (Broin *et al.*, 2002). Las regiones ricas en glutamina causan la oligomerización de la proteína MO 2.1 por la formación de hoja beta plegadas entre ellas (Broin *et al.*, 2002). Es por este hecho que se puede especular que la oligomerización es la responsable de las diferencias en las masas moleculares en los pesos moleculares de la proteína coagulante (Pavankumar *et al.*, 2014) Pavankumar *et al.*, (2014) determinó que la proteína MO 2.1 monomérica y su forma homodimérica no posee diferencias significativas en sus actividades coagulantes.

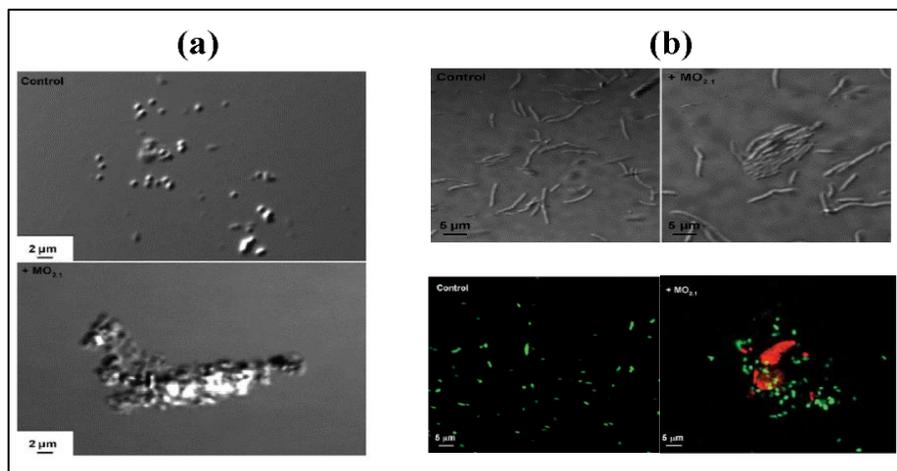


Figura 2: Agregación de partículas de (a) Montmorillonita (b) Bacterias Gram-positivas (c) Bacterias Gram- negativas alrededor de MO 2.1

FUENTE: Broin *et al.* (2002)

b. Lectinas

Las lectinas constituyen un grupo de proteínas heterogéneas (Santos *et al.*, 2005) que interactúan selectivamente y reversiblemente con azúcares específicos (Santos *et al.*, 2009). Las lectinas se encuentran en órganos de almacenamiento como son las semillas. De acuerdo a Santos *et al.*, (2009), entre las proteínas coagulantes se encuentran las lectinas cMol y WSMol. La proteína cMol (coagulant *Moringa oleifera* lectin) pertenece a un grupo de lectinas provenientes de las semillas de *Moringa oleifera* (Ramalho *et al.*, 2011). Es una proteína básica, monomérica (Ramalho *et al.*, 2011) con 30 kDa y termoestable a 100 °C por 7 horas (Santos *et al.*, 2009). De acuerdo a Santos *et al.* (2009), esta proteína posee una actividad coagulante similar al sulfato de aluminio. La proteína WSMoL (Water soluble *Moringa oleifera* lectin) es una proteína ácida (Santos *et al.*, 2005).

c. Cecropin A

Es un pequeño péptido antimicrobiano de 4 kDa de peso molecular cuya actividad coagulante es muy parecida al sulfato de aluminio (Ghebremichael *et al.*, 2005)

d. MO 3.1 y MO 4.1

Existen estudios que identifican fracciones de proteínas con actividad floculante, por ejemplo, secuencias cortas de aminoácidos de 2 proteínas, MO 3.1 y MO 4.1 que guardan homologías con la proteína MO 2.1 (Broin *et al.*, 2002)

e. Polielectrolito orgánico

De acuerdo a Okuda *et al.* (2001), encontró que al purificar el componente activo del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera* extraídos con NaCl no era una proteína, polisacárido o lípido sino un polielectrolito orgánico de 3 kDa de peso molecular capaz de tratar las aguas de baja turbiedad y no aumentar la concentración de carbono orgánico residual posterior al proceso de coagulación. Okuda *et al.* (2001) realizó una espectroscopía de infrarrojo y determinó que el polielectrolito orgánico tiene como grupos funcionales principales grupos amino e hidróxidos y en poca cantidad grupos carboxilos.

f. Proteína 66 kDa

Agrawal *et al.* (2007) reportó una proteína de masa molecular de 66 kDa con actividad coagulante. La actividad coagulante se determinó en una muestra de agua de 30 UNT generada con partículas de suelo y se comparó con el sulfato de aluminio. La proteína de 66 kDa removió la turbiedad de la muestra un 51 por ciento y el sulfato de aluminio un 61 por ciento. La proteína de 66 kDa solo posee actividad coagulante y no antimicrobiana como otros péptidos catiónicos pueden poseer (Agrawal *et al.*, 2007).

• **Ventajas del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera***

El árbol de *Moringa oleifera* es un árbol de rápido crecimiento que puede ser plantado en las comunidades rurales de países en desarrollo de todo el mundo para proveer a las personas de un acceso seguro a agua potable (Okuda *et al.*, 2018).

Entre las ventajas de este coagulante se han encontrado las siguientes:

- La coagulación es efectiva para la remoción de turbiedad en aguas de alta turbiedad (Okuda *et al.*, 2018).
- Los lodos generados por la utilización de la *Moringa oleifera* en la coagulación son seguros y pueden ser empleados como alimento animal o fertilizante de plantas (Okuda *et al.*, 2018). Estos lodos se generan en menor cantidad (Hoa *et al.*, 2018)
- El pH y la temperatura no se consideran como factores importantes en la remoción de la turbiedad (Okuda *et al.*, 2018).
- Puede reducir la dureza del agua causada por los iones de calcio y magnesio (Muyibi *et al.*, 1995)

• **Desventajas del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera***

Entre las desventajas del uso del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera* se han encontrado las siguientes:

- Incremento de materia orgánica en el agua tratada originada por la adición innecesaria de otros componentes en el coagulante natural (Okuda *et al.*, 2018, Beltrán *et al.*, 2012). Sin embargo, esta desventaja puede superarse mediante la purificación del coagulante (Beltrán *et al.*, 2012).

- De acuerdo a Okuda *et al.* (2018), la turbiedad residual de las muestras de agua aumenta con menores turbiedades iniciales. Es por ello que en aguas de baja turbiedad se observa una baja eficacia de la coagulación (Okuda *et al.*, 2018)
- El tiempo de sedimentación es relativamente alto en comparación de los coagulantes químicos (Awad *et al.*, 2013).
- La remoción de bacterias no es completa por tanto podría existir un riesgo de crecimiento secundario eventualmente si el agua se mantiene por más tiempo (Awad *et al.*, 2013).

2.2. PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

2.2.1. Partículas Coloidales

De acuerdo a Bratby (2016), las partículas presentes los cuerpos de agua provienen de la erosión del suelo, disolución de los minerales, caída de vegetales, descargas domésticas e industriales y pueden clasificarse de acuerdo a su tamaño como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Clasificación de las partículas presentes en el agua de acuerdo a su tamaño

Tamaño de partícula (mm)	Clasificación	Ejemplos	Área superficial (m ² /cm ³)	Tiempo de sedimentación*
10	Partículas gruesas (visibles al ojo humano)	Grava, arena gruesa, sustancias minerales, partículas precipitadas y floculantes, arcilla y macroplankton	6x10 ⁻⁴	0.1 segundos
1			6x10 ⁻³	1 segundo
10 ⁻¹			6x10 ⁻²	13 segundos
10 ⁻²	Partículas finas (visibles al microscopio)	Sustancias minerales partículas precipitadas y floculadas, arcilla, bacteria, plankton y otros organismos	0.6	11 minutos
10 ⁻³			6	20 horas
10 ⁻⁴			60	80 días

...continuación

10^{-5}	Coloides	Sustancias minerales, productos de la hidrólisis y precipitados, macromoléculas, biopolímeros, virus	600	2 años
10^{-6}			6000	20 años
$< 10^{-6}$	Solución	Iones, moléculas, polímeros, polielectrolitos		

*Sedimentación de 10 cm si la gravedad específica de la partícula es de 2.65

FUENTE: Bratby (2016)

Como se muestra en el Tabla 5, las partículas coloidales en los cuerpos de agua, poseen un tamaño entre 10^{-5} y 10^{-6} mm, una elevada área superficial y elevados tiempos de sedimentación. Estas partículas son las principales responsables de la turbiedad del agua (Vargas, 2004).

a. Tipos de coloides

De acuerdo a Bratby (2016), en general existen dos tipos de coloides: liofóbicos y liofílicos de acuerdo a su afinidad con el solvente. Para el caso del tratamiento de aguas los términos mencionados se vuelven más específicos y los coloides se consideran como hidrofóbicos e hidrofílicos (Bratby, 2016). Un coloide hidrofóbico es aquel que repele al agua en su superficie, por el contrario, un coloide hidrofílico es aquel que posee una gran afinidad por las moléculas de agua en su superficie. En algunos casos, la cantidad de agua ligada a la superficie del coloide puede representar entre 3 a 10 veces el peso seco del coloide (Bratby, 2016).

Vargas (2004) menciona algunos ejemplos de coloides hidrofóbicos e hidrofílicos en las aguas naturales. Entre los coloides hidrofóbicos menciona a las arcillas y algunos óxidos metálicos; entre los coloides hidrofílicos menciona a polímeros sintéticos y naturales y a sustancias biológicas como las proteínas, ácidos nucleicos, almidones entre otras macromoléculas.

b. Propiedades de los coloides

De acuerdo a Vargas (2004), las principales propiedades que definen el comportamiento de los coloides en el agua son las cinéticas, ópticas, de superficie y electrocinéticas. A continuación, se detallará cada una de ellas.

- **Propiedades Cinéticas**

- **Movimiento Browniano**

Las partículas coloidales, dentro de la fase líquida, presentan un movimiento constante e irregular, que se ha denominado movimiento browniano. La teoría cinética explica este fenómeno como resultado del bombardeo desigual y casual de las partículas en suspensión por las moléculas del líquido. Al elevarse la temperatura del líquido, las moléculas adquieren mayor energía cinética y aumenta el movimiento browniano.

- **Difusión**

Debido al movimiento, las partículas coloidales tienden a dispersarse por todas partes en el sistema hídrico. A este fenómeno se le llama difusión. La velocidad de difusión es menor que la velocidad media de las partículas en el movimiento browniano.

- **Presión Osmótica**

La ósmosis es el flujo espontáneo que se produce cuando un disolvente (agua) atraviesa una membrana que la separa de un sistema coloidal (agua y coloides). Esta membrana es permeable al solvente, pero no a los coloides. Este fenómeno ocurre en forma espontánea. Al transporte del solvente hacia la solución se le denomina flujo osmótico. A la presión hidrostática necesaria para detener el flujo osmótico, que alcanza así un estado de equilibrio, se le denomina presión osmótica.

- **Propiedad óptica**

- **Efecto Tyndall – Faraday**

El efecto Tyndall-Faraday es un fenómeno por el cual las partículas coloidales provocan la dispersión de la luz cuando esta pasa a través de una suspensión coloidal. Esta dispersión es directamente proporcional al tamaño de las partículas. La determinación nefelométrica de la turbiedad utiliza el efecto de Tyndall-Faraday para su medición.

- **Propiedades de superficie**

- **Adsorción**

Una gran superficie específica como poseen los coloides les confieren una gran capacidad de adsorción.

- **Propiedad electrocinética**

- **Electroforesis**

La electroforesis es un fenómeno que permite demostrar que las partículas coloidales tienen carga eléctrica. Consiste en hacer pasar una corriente directa a través de una solución coloidal, experimento que permite observar que las partículas son atraídas por el electrodo positivo o por el negativo, lo que demuestra que poseen carga eléctrica.

- c. **Estabilidad e inestabilidad de los coloides**

Las partículas coloidales o de menor dimensión son capaces de permanecer en dispersión debido a ciertas características que promueven su estabilidad. El término estabilidad se refiere a la capacidad de las partículas de permanecer como entidades independientes dentro de una dispersión (Bratby, 2016). De acuerdo a Bratby (2016) esta estabilidad es promovida por características interfaciales provenientes de:

- La presencia de carga superficial en la interface entre el coloide y el líquido. El material coloidal presente en el agua en su gran mayoría posee una superficie cargada negativamente y permanecen estables debido a la fuerza de repulsión existente entre ellas.
- La hidratación de la capa superficial del coloide

De acuerdo a Vargas (2004), entre los factores de desestabilización o atracción se encuentran los siguientes:

- La gravedad. Es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales y, por lo tanto, no se tratará con mayor detalle.
- El movimiento browniano. Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización.
- La fuerza de Van der Waals. Esta es una fuerza débil de origen eléctrico, constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas siempre son atractivas y decrecen rápidamente con la distancia. Son resultado de la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas.

d. Origen de las cargas en los coloides

De acuerdo a Stumm, citado por Bratby (2016), existen tres formas principales por las cuales los coloides pueden originar carga en su superficie. Estas son las siguientes:

- **Reacciones químicas en la superficie del coloide.**

Muchos coloides poseen grupos funcionalmente fácilmente ionizables en su superficie (OH, COOH, OPO₃H₂). La carga de la superficie de las partículas depende de su grado de ionización (transferencia de protones) y por consecuencia

del pH del líquido circundante. A valores de pH bajos prevalece una superficie cargada positivamente. Por el contrario, a valores de pH altos prevalece una superficie cargada negativamente.

- **Imperfecciones en la estructura molecular**

Por ejemplo, en los Silicatos (SiO_4), minerales compuestos de Silicio y Oxígeno que forman arreglos moleculares en forma de tetraedros, si un átomo de Aluminio que posee carga +3 reemplaza a un átomo de Silicio que posee carga +4 el arreglo molecular adquirirá una carga superficial negativa.

- **Adsorción de iones en la superficie**

La superficie del coloide puede adquirir una carga si se adsorben iones en su superficie a través de fuerzas de London, fuerzas de Van der Waals o puentes de hidrógenos. Por ejemplo, Vargas (2004) menciona que los coloides de yoduro de plata (AgI) pueden cargarse positiva o negativamente, dependiendo del exceso de iones de plata (Ag^+) o de iones de yoduro (I^-).

e. Doble capa eléctrica

De acuerdo a Vargas (2004), como la superficie del coloide es negativa, existen iones positivos en la interfaz (sólido –líquido) que en conjunto con la carga negativa del coloide forman la doble capa eléctrica o capa compacta. A la zona donde se encuentran los iones positivos dentro de la doble capa eléctrica se llama capa de Stern. A su vez, seguido de la doble capa eléctrica se encuentra la capa difusa formada por iones negativos resultado de la aproximación de estos a los iones positivos en la capa de Stern como también de la repulsión por la carga superficial negativa del coloide.

f. Remoción de las partículas coloidales

La remoción de partículas finas, coloides o material disuelto de la dispersión o solvente implican uno de los siguientes procesos:

- Alterar la superficial del material particulado ya sea incrementando la adsorción de las partículas a un medio filtrante o generando una tendencia de agregación de las partículas para formar partículas más grandes.
- Precipitación de los materiales disueltos

Aquellos procesos relacionados a la agregación de las partículas de tamaño coloidal o menor para formar partículas más grandes (llamadas también flocs) para posteriormente ser removidos por gravedad o filtración son llamados como procesos de coagulación y floculación (Bratby, 2016).

2.2.2. Coagulación

La coagulación es el proceso en el cual un sistema se transforma de un estado estable a un estado desestabilizado (Bratby, 2016).

a. Mecanismos de la coagulación

De acuerdo a Barrenechea (2004), la desestabilización de los coloides se puede obtener por los siguientes mecanismos:

- **Compresión de la doble capa**

Cuando la concentración de los contraiones en la dispersión es baja, el grosor de la doble capa eléctrica es alto. Dos coloides no pueden acercarse entre sí cuando el grosor de la doble capa eléctrica es alto y por tanto el coloide es estable. Cuando la concentración de los contraiones se incrementa, se da una reducción del grosor de la doble capa eléctrica o también llamada compresión de la doble capa eléctrica. A medida que la doble capa eléctrica se va comprimiendo por la adición de contraiones, llegará un momento en que las Fuerzas de Van der Waals superarán la fuerza de repulsión y dará inicio la coagulación.

- **Adsorción y neutralización de cargas**

La carga de un coloide puede ser directamente neutralizada por la adición de iones de cargas opuestas que tienen la capacidad de ser directamente adsorbidas en la superficie del coloide.

- **Atrapamiento de partículas coloidales en un precipitado**

Las características de algunos cationes como Al^{+3} y Fe^{+3} es que forman un precipitado cuando se adicionan al agua. La partícula coloidal actúa como un sitio nuclear para que el precipitado se forme quedando el coloide atrapado dentro de él.

- **Formación de puentes**

Una molécula «puente» puede atraer partículas coloidales a sus sitios activos. Un sitio activo es un lugar en la molécula que puede atraer a una partícula coloidal mediante enlaces químicos o por una atracción física. Si estos sitios activos se encuentran juntos, la coagulación de los coloides puede ocurrir como también puede ocurrir cuando el movimiento cinético puede enlazar a los distintos puentes dentro de la molécula haciendo que las partículas coloidales se junten unas a otras.

b. Factores que influyen en la coagulación

De acuerdo a Andía (2000), es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación.

- **pH**

Para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente. Si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar.

- **Turbiedad**

Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la

turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima. Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar una cantidad mayor de coagulante, pero esta no será en una gran proporción porque probabilidad de choque de las partículas coloidales es alta y la coagulación se realiza con facilidad. Por el contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza difícilmente y la cantidad del coagulante debe ser igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.

- **Sales disueltas**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen influencias sobre la coagulación y floculación. Por ejemplo, en la modificación del rango de pH óptimo, tiempo requerido para la floculación, cantidad de coagulante requerido y la cantidad residual de coagulante dentro del efluente.

- **Temperatura del agua**

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad produciendo dificultades en la sedimentación de los flocs. Asimismo, Lou *et al.*, (2012) afirma que a bajas temperaturas se tiene un efecto negativo en la formación de los flóculos y esto se debe a un retardo en la floculación pericinética.

- **Dosis de Coagulante**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación. Una poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula y la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada. Una alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula y conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas. Por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

- **Condiciones de la mezcla**

La agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya

producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En la coagulación-floculación existen dos tipos de mezcla. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 segundos como máximo) y es llamada como mezcla rápida. Esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar. En la segunda etapa de la mezcla, o llamada como mezcla lenta se caracteriza por una agitación lenta con el objetivo de desarrollar microfloculos.

- **Sistema de aplicación de coagulantes**

Una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando la dosis del coagulante se adiciona de forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida. Por tanto, el sistema de dosificación de coagulante debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable.

- **Tipos de mezcla y el color**

Se debe de tener en cuenta que los mecanismos que permiten la eliminación del color del agua no son los mismos que los empleados para la remoción de turbiedad.

c. Tipos de coagulantes

- **Coagulantes metálicos**

Las sales de aluminio y de hierro son los coagulantes químicos más empleados en el tratamiento de agua potable y residual, por su efectividad, costos relativamente bajos, disponibilidad y facilidad en su manipulación, almacenamiento y aplicación (USEPA, 2002). Otros coagulantes metálicos empleados es la cal hidratada y el Carbonato de Magnesio (Bratby, 2016). Entre las sales de Aluminio se tiene al Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$); entre las sales de hierro se tienen al Cloruro Férrico (FeCl_3 o $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$).

- **Coagulantes naturales**

Los coagulantes naturales son seguros y eco amigables, pueden ser extraídos de plantas, microorganismos y animales (Hariz *et al.*, 2018). De los cuatro tipos de mecanismos de coagulación (compresión de la doble capa, formación de puentes, neutralización de la carga y coagulación de barrido), solo la formación de puentes y neutralización de cargas son posibles como mecanismos de coagulación para los coagulantes en base a plantas (Hariz *et al.*, 2018).

2.2.3. Floculación

Es el proceso donde las partículas desestabilizadas comienzan a acercarse y se agregan formando partículas más grandes llamadas también como flóculos (Bratby, 2016).

a. Etapas de la floculación

De acuerdo a Bratby (2016), existen dos etapas en el proceso de floculación:

- **Floculación pericinética**

Proviene del movimiento Browniano siendo un proceso natural y aleatorio. En caso exista un gradiente de velocidad en el líquido mayor a $5s^{-1}$ y el tamaño de la partícula sea mayor a $1\ \mu m$ el efecto de la floculación pericinética es despreciable y solo la floculación ortocinética debe de ser considerada.

- **Floculación ortocinética**

Luego que la floculación pericinética ha finalizado la única forma en que exista contacto entre las partículas desestabilizadas es a través de la inducción de gradientes de velocidad en el líquido. A este proceso de formación de flóculos gracias a gradientes de velocidad inducidos en el líquido se llama floculación ortocinética. El grado de floculación en esta etapa está dado por el gradiente de velocidad y el tiempo de duración de la floculación. Mientras mayores gradientes de velocidad existan, habrá un mayor número de contacto entre las partículas. Sin embargo, los flóculos serán más pequeños debido a las continuas rupturas de los flóculos grandes. En caso se tengan gradientes de velocidad pequeños se tendrá

flóculos más grandes, pero se requerirá mayor tiempo para llegar al tamaño óptimo del flóculo.

b. Factores que influyen en la floculación

De acuerdo a Vargas (2004), los principales factores que influyen en la eficiencia de la floculación son los siguientes:

– Naturaleza del agua

Al igual que la coagulación, la floculación es sensible a las características fisicoquímicas del agua, tales como la alcalinidad, pH, turbiedad y presencia de ciertos iones. Algunos iones pueden influir en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman o en la interacción de estos polímeros con los coloides por afectando el tiempo de floculación. La velocidad de formación de flóculos es proporcional a la concentración de partículas que producen la turbiedad. El tamaño inicial de partículas también influye en la formación de flóculos. Por ejemplo, partículas de gran tamaño inhiben e impiden el proceso de floculación. De manera práctica y como regla general, es más fácil flocular aguas con elevada turbiedad y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas.

– Variaciones del caudal

Las variaciones en el caudal modifican los tiempos de residencia y gradiente de velocidad. Al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuyen los gradientes de velocidad.

– Gradiente de velocidad

Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la aglomeración de las partículas hasta alcanzar cierto tamaño óptimo. Sin embargo, a medida que aumenta este gradiente de velocidad los flóculos se rompen en partículas menores

– **Tiempo de floculación**

Normalmente existe un tiempo óptimo de floculación entre 20 y 40 minutos. La permanencia del agua por un tiempo inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores.

2.2.4. Parámetros físico-químicos del agua

En esta sección se detallarán aquellos parámetros fisicoquímicos del agua medidos en la presente investigación y a la vez relacionados con la calidad del agua, de acuerdo a Barrenechea (2004).

a. Turbiedad

La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, Barrenechea (2004) señala a estudios elaborados por otros autores donde se afirma que las partículas causantes de turbiedad reducen la eficiencia del proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro ya que estas partículas protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante.

De acuerdo al Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano publicado en el 2010 por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), el límite máximo permisible en cuanto al parámetro de Turbiedad es de 5 UNT. Aunque, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (2006), idealmente el promedio de turbiedad debería ser menor a 0.1 UNT para una efectiva desinfección.

b. pH

Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua. Este parámetro tiene mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua. Aunque no tiene efectos directos sobre la salud, puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

De acuerdo al Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano publicado en el 2010 por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), el límite máximo permisible en cuanto al parámetro de pH se debe encontrar entre los 6.5 y 8.5 unidades de pH.

c. Conductividad eléctrica

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2016), menciona lo siguiente acerca de la conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica es la medida de la habilidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Debido a que las sales disueltas y otros compuestos inorgánicos conducen la electricidad, a medida que aumenta la salinidad la conductividad eléctrica también aumenta. La conductividad eléctrica también es influida por la temperatura, a mayor temperatura del agua, mayor será su conductividad. Cambios significativos en la conductividad del agua puede ser un indicador de alguna fuente de contaminación que ha ingresado a la fuente de agua. Cuerpos de agua con valores alto de conductividad pueden tener otros parámetros alterados.

De acuerdo al Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano publicado en el 2010 por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), el límite máximo permisible en cuanto al parámetro de conductividad es de 1500 $\mu\text{mho/cm}$ medido a 25 °C.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La parte experimental de la presente investigación se realizó en el Laboratorio de Biorremediación “Luis Basto Acosta” de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Ver Figura 3).



Figura 3: Ubicación de la investigación

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materiales de Laboratorio

- Vasos precipitados de 1L, 50 mL y 250 mL
- Pipetas de 2ml y 10 ml
- Pipeteadores de 2mL y 10ml
- Probeta 1L
- Embudo

- Recipiente de plástico 20L
- Papel filtro con diámetro de poro de 2.5µm
- Otros (gorro de enfermera, guantes quirúrgicos, sistema sifón a base de tecnopor y bagueta)
- Recipiente de plástico de 20L.

3.2.2. Equipos

- Equipo de Prueba de Jarras
- Turbidímetro
- Espectrofotómetro
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Equipo de Soxhlet
- Estufa a 40°C
- Licuadora doméstica
- Agitador magnético
- Balanza

3.2.3. Insumos y Reactivos Químicos

- Caolinita
- Agua destilada
- Semillas de *Moringa oleifera*. Las semillas de *Moringa oleifera* provienen de la comunidad de Briceño ubicada en el distrito de Motupe, provincia de Lambayeque, Lambayeque.
- Kit de medición proteínas de Sigma-Aldrich (Micro-Lowry, modificado por Onishi y Barr).
- NaCl
- NaOH
- HCl

3.3. MÉTODO

3.3.1. Identificación de las variables de investigación

La variable independiente que fue objeto de manipulación en la investigación fueron las dosis de los coagulantes preparados en mg/L. Las variables dependientes sobre las que se evaluó el efecto de las dosis de coagulante de *Moringa oleifera* finalizado el proceso de coagulación – floculación fueron la turbiedad, medida en UNT; la eficiencia de remoción alcanzada, medida en porcentaje; el pH, medido en unidades de pH y la conductividad eléctrica; medida en $\mu\text{S}/\text{cm}$. La unidad experimental fue 1L de agua sintética a tratar contenida en el Beaker sometido a la Prueba de Jarras.

3.3.2. Fases de la Investigación

a. Fase 1: Preparación de las semillas de *Moringa oleifera*

La fase 1 consistió en retirar con un mortero las cáscaras de las semillas de *Moringa oleifera* y pulverizar las semillas en una licuadora doméstica. Esta muestra de la semilla es la que se describe como las semillas originales *Moringa oleifera* sin remoción de aceite y recibe el código de «Mo». En la Figura 4 se aprecia el proceso de obtención de la muestra de semillas de *Moringa oleifera* «Mo».



Figura 4: Proceso de obtención de las semillas de *Moringa oleifera* «Mo».

b. Fase 2: Remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera*

Para la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* se colocaron 30 gramos de «Mo» y 400 mL de Etanol, químicamente puro, en un extractor de Soxhlet de 500 mL de capacidad. El número total de ciclos fue de 6 ciclos cuya duración total de tiempo de extracción fue de 7 horas aproximadamente. Finalizado este proceso, se procedió a llevar la muestra de semilla a una estufa a 40 °C por 24 horas para la evaporación del Etanol. Esta muestra de semilla que ha pasado por el proceso descrito es la que se describe como «muestras de semillas de *Moringa oleifera* con remoción de aceite» y recibe el código de «MosinAc». El aceite extraído se descartó ya que no se empleó durante la presente investigación al no poseer propiedades coagulantes (Ver Figura 5).

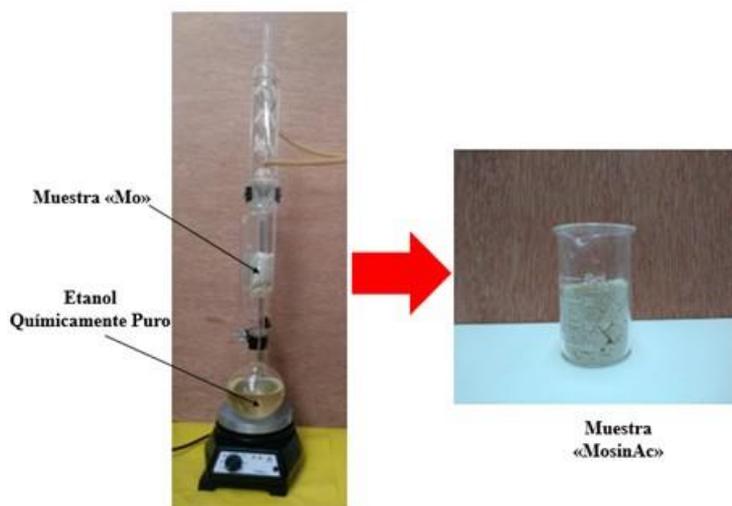


Figura 5: Equipo Soxhlet empleado y muestra de semillas «MosinAc»

c. Fase 3: Determinación de la composición proximal de las muestras de las semillas de *Moringa oleifera*

Para la determinación de la composición proximal de las muestras de las semillas «Mo» y «MosinAc» se realizó un análisis proximal que determinó su contenido de humedad, proteína (en base al nitrógeno total) fibra, lípidos, carbohidratos y ceniza. El análisis proximal a ambas muestras se llevó a cabo en el Laboratorio Acreditado por la INACAL, La Molina Calidad Total Laboratorios, ubicado en el distrito de la Molina. A continuación, en la Tabla 6 se muestran los métodos que se emplearon para la medición de cada parámetro en el análisis proximal.

Tabla 6: Métodos empleados en el análisis proximal de las muestras Mo y MosinAc

Parámetro	Método empleado
Humedad	AOAC 925.10
Grasa	AOAC 922.06
Proteína	AOAC 978.04
Fibra	NTP 205.003:1980
Carbohidrato	Por diferencia
Ceniza	AOAC 930.05

FUENTE: Elaboración propia

d. Fase 4: Preparación de los coagulantes naturales con las semillas de *Moringa oleifera*

En la presente investigación se prepararon cuatro tipos de coagulante natural en base al tipo de muestra de semilla empleada (Mo, MosinAc) y el solvente utilizado para la extracción de los componentes activos del coagulante natural (agua destilada, NaCl 1M). En la Tabla 7 se aprecia los cuatro coagulantes naturales preparados en la presente investigación para la evaluación de los procesos de coagulación-floculación.

Tabla 7: Coagulantes naturales en base a las semillas de *Moringa oleifera* preparados

Muestra de Semilla de <i>Moringa oleifera</i>	Solvente	Código del coagulante natural preparado
Semillas originales «Mo»	Agua destilada	Mo-AD
	NaCl	Mo-NaCl
Semilla con remoción de aceite «MosinAc»	Agua Destilada	MosinAc-AD
	NaCl	MosinAc-NaCl

FUENTE: Elaboración propia

Las concentraciones empleadas de los distintos coagulantes preparados fueron las concentraciones óptimas y estas fueron determinadas mediante pruebas de jarras previas. A continuación, en la Tabla 8 se muestran las concentraciones óptimas de los coagulantes naturales preparados.

Tabla 8: Concentraciones óptimas de los coagulantes naturales preparados

Turbiedad inicial del agua a tratar / Tipo de coagulante	Mo-AD	Mo-NaCl	MosinAc-AD	MosinAc-NaCl
20 UNT	2%	1%	1%	1%
120 UNT	2%	1%	0.5%	0.5%
500 UNT	2%	1%	2%	0.5%

FUENTE: Elaboración propia

La preparación del coagulante natural se basó en Ndabigengesere *et al.*, (1995) con una modificación en su último paso (eliminación de la membrana de nylon de 0.45 μ m para la filtración de la solución coagulante). Se prepararon distintas concentraciones del coagulante natural según el tipo de coagulante y el agua sintética a tratar (0.5 por ciento, 1 por ciento y 2 por ciento). Por ejemplo, una concentración del 1 por ciento (1 gramo de la muestra de semilla en 100 mL del solvente). Es decir, se diluyó 1 gramo de la muestra de la semilla en 100 mL del solvente. Luego, se procedió a agitar la solución durante 30 minutos en un agitador magnético para la extracción de componentes activos de las semillas. Finalmente, se filtró la solución con un papel Whatman N° 42 donde la solución filtrada corresponde al coagulante natural preparado. Este se preparó el mismo día de su utilización en la prueba de jarras, posterior a su empleo se procedió a su descarte para evitar la disminución de la eficacia de las propiedades coagulantes por la descomposición microbiana de los compuestos orgánicos del coagulante (Ndabigengesere *et al.*, 1995). En la Figura 6 se aprecia el proceso de preparación de los coagulantes naturales en base a las semillas de *Moringa oleifera*.



Figura 6: Proceso de preparación del coagulante natural en base a las semillas de *Moringa oleifera*.

e. Fase 5: Determinación de la concentración de proteínas acuosas en los coagulantes naturales preparados

La determinación de la concentración de proteínas en los coagulantes naturales preparados se realizó con el método Micro-Lowry, modificado por Onishi y Barr. Se empleó para ello el Kit de proteínas de Sigma-Aldrich. La longitud de onda donde se midió la absorbancia fue a los 710nm. Se realizaron 03 repeticiones y un blanco en la medición de la concentración de proteínas por cada tipo de coagulante (Ver Figura 7).

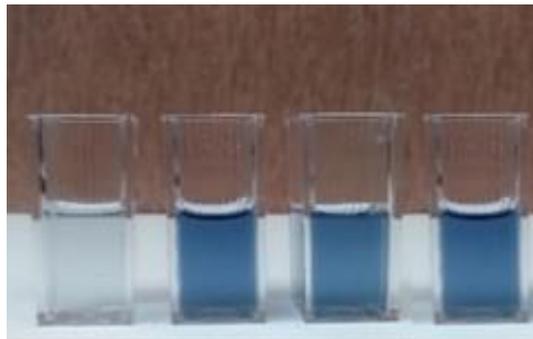


Figura 7: Cubetas (1 blanco y 3 repeticiones) para la medición de su absorbancia y determinación de la concentración de proteínas acuosas en el coagulante natural.

f. Fase 6: Realización de la prueba de Jarras

Preparación del Agua Sintética

Los procesos de coagulación – floculación se llevaron en tres tipos de agua sintéticas clasificadas de acuerdo a su nivel de turbiedad inicial (turbiedad baja, turbiedad media y turbiedad alta). Para ello se eligieron los siguientes niveles de turbiedad, 20 UNT, 120 UNT y 500 UNT (Ver Figura 8). Se escogieron dichos niveles de turbiedad teniendo en cuenta a Andía (2000) acerca de los niveles de turbiedad característicos del río Rímac, fuente de abastecimiento de agua para la Planta de Tratamiento de Aguas de la Atarjea. Se considera baja turbiedad en el río Rímac cuando se presentan valores entre 6 a 50 UNT y con un promedio de 15 UNT. Para los valores de alta turbiedad se consideran valores entre 50 y 50,000 UNT con un valor promedio de 300 UNT.

Para la preparación de dichos niveles de turbiedad se adicionó 10 gramos de caolinita a un litro de agua destilada (Okuda *et al.*, 1999; Golestanbagh *et al.*, 2015; Bhuptawat *et al.*, 2007). Luego, se agitó esta solución en un agitador magnético durante 1 hora para lograr la dispersión de las partículas de caolinita y se dejó sedimentar por 24 horas para permitir la completa hidratación las partículas. A esta solución preparada se le llamó como solución stock y a partir de ella se prepararon las aguas sintéticas de 20 UNT, 120 UNT y 500 UNT, mediante la dilución de la solución stock con agua destilada. Finalmente, el pH del agua sintética se ajustó a 7 ± 0.2 con NaOH 1M y HCl 1M. Asimismo, se registró el nivel de conductividad eléctrica del agua sintética a tratar.



Figura 8: Muestras de agua sintética de 20 UNT, 120 UNT Y 500 UNT

Prueba de Jarras

La prueba de jarras se empleó para evaluar el efecto de la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* en los procesos de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbiedad. Para la realización de esta prueba, se colocó en el Equipo de Jarras 6 Beakers, cada uno con 1L del agua sintética preparada. Los parámetros de la coagulación–floculación empleados en las pruebas de jarras se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Parámetros de la coagulación-floculación

Parámetro	Valor	Duración
Mezcla rápida	300 rpm	1 minuto
Mezcla lenta	40 rpm	40 minutos
Sedimentación	0 rpm	25 minutos

FUENTE: Elaboración propia

La solución del coagulante natural preparada (con su concentración óptima) se adicionó en diferentes volúmenes a 5 de los Beakers, dejando un Beaker como blanco, es decir, en el blanco no se adicionó coagulante. La relación entre el volumen de coagulante adicionado en mL y su equivalente en dosis adicionada del coagulante en mg/L en el beaker se determinó con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{q * C}{Q}$$

D= Dosis del coagulante (mg/L)

q = volumen de la solución del coagulante adicionado (mL)

C = concentración de la solución coagulante (mg/mL). Por ejemplo, una concentración del 1 por ciento es equivalente a 10 mg/mL.

Q = Capacidad de la Jarra (L). En la presente investigación fue de 1 L.

g. Fase 7: Tratamiento de los Resultados

Determinación de la dosis óptima

Se realizó mediante el análisis de las gráficas de Turbiedad (UNT) vs. Dosis de coagulante (mg/L) y Remoción de Turbiedad (%) vs. Dosis de coagulante (mg/L). La dosis óptima fue la dosis en mg/L, donde se obtuvo la turbiedad residual mínima (máxima remoción) o el menor valor de dosis a partir del cual las dosis siguientes fueron muy similares entre sí. En las gráficas de Remoción de Turbiedad (%) vs. Dosis de coagulante (mg/L), solo se consideraron remociones de turbiedad positivas; es decir, aquellas dosis de coagulante (mg/L) que pudieron disminuir la turbiedad de la muestra de agua sintética.

Determinación del mejor solvente

La determinación del mejor solvente (agua destilada o NaCl 1M) para la extracción de los componentes activos de la coagulación se realizó por comparación de los resultados de la dosis optima; turbiedad residual y remoción de turbiedad en la dosis. Un buen solvente significó aquel que requiriera una

menor dosis óptima, permitiera un menor valor de turbiedad residual en el agua tratada y alcanzara una mayor remoción de turbiedad.

Evaluación del efecto de la turbiedad inicial en el proceso de coagulación-floculación

El efecto de la turbiedad inicial (20 UNT, 120 UNT y 500 UNT) en el proceso de coagulación-floculación se determinó analizando los valores de la turbiedad alcanzada y remoción de turbiedad en las dosis óptimas de cada tipo de coagulante natural preparado; como también las dosis óptimas en cada uno de los valores de la turbiedad inicial.

Evaluación del efecto del coagulante natural sobre el pH y conductividad eléctrica del agua tratada

La evaluación del efecto del coagulante natural sobre el pH se realizó por medio del análisis de varianza de un solo factor con un nivel de significación del 5 por ciento con el objetivo de determinar si existe una diferencia significativa entre los pH residuales de las 6 unidades experimentales. La evaluación del efecto del coagulante natural sobre la conductividad eléctrica se determinó analizando el comportamiento de dicho parámetro cuando el coagulante se preparó con agua destilada y cuando este se preparó con NaCl 1M. Para los dos coagulantes preparados con agua destilada (Mo-AD y MosinAc-AD) se realizó un análisis de varianza de un solo factor con un nivel de significación del 5 por ciento con el objetivo de determinar si existe una diferencia significativa entre las conductividades eléctricas de las 6 unidades experimentales. Para los coagulantes preparados con NaCl 1M (Mo-NaCl y MosinAc-NaCl), se realizó un análisis de regresión lineal entre las variables dosis de coagulante (mg/L) y conductividad eléctrica ($\mu\text{mho/cm}$). Los resultados de la evaluación del efecto del coagulante natural sobre el pH y conductividad eléctrica del agua tratada se llevaron a cabo para cada una de las tres aguas sintéticas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS SEMILLAS DE *Moringa oleifera*

La Tabla 10 muestra la composición proximal de las muestras «Mo» y «MosinAc». Inicialmente, la muestra de semilla de *Moringa oleifera* posee en mayor cantidad grasa seguido de proteína en un porcentaje de 38.0 y 36.7 por ciento, respectivamente. Con el empleo del extractor de Soxhlet, se aprecia una remoción del 63.4 por ciento de la grasa de la semilla de *Moringa oleifera*, o de manera equivalente una pérdida de 24.1 g de peso por 100 gramos de semilla. La remoción del aceite elevó la concentración de las proteínas en la muestra «MosinAc» en 46 por ciento su concentración inicial en la muestra «Mo».

Amante *et al.*, (2015) y Diaz *et al.*, (2017) mediante el extractor de Soxhlet y etanol como solvente lograron valores de pérdida de peso de la semilla por la remoción del aceite contenido de 36.1 y 31.6 por ciento, respectivamente. En otras palabras, lograron valores superiores en comparación con los resultados de esta investigación. Esto puede haber sucedido porque la presente investigación no consideró optimizar los parámetros para la remoción de aceite empleando el equipo de Soxhlet (tamaño de las partículas de las semillas de *Moringa oleifera*, temperatura de extracción, tiempo total de extracción) como lo investigó Mani *et al.*, 2007 para la extracción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera*. Premi *et al.*, (2013) para la optimización de la extracción de aceite consideró la proporción entre el solvente y la muestra. Este factor tampoco fue considerado.

Tabla 10: Composición proximal de las semillas de *Moringa oleífera* (g/100 gramos de muestra)

Parámetro	Semilla original de <i>Moringa oleífera</i> «Mo»	Semilla de <i>Moringa oleífera</i> con remoción de aceite «MosinAc »
Grasa cruda	38.0	13.9
Proteína cruda (factor 6.25)	36.7	53.6
Carbohidratos	15.2	21.0
Fibra cruda	3.0	2.1
Cenizas Totales	3.3	4.8
Humedad	6.8	6.7

4.2. CANTIDAD DE PROTEÍNAS ACUOSAS EN LOS COAGULANTES DE *Moringa oleífera*

La Tabla 11 muestra los resultados de la determinación de la concentración de proteínas en los coagulantes naturales preparados al 1 por ciento con el método Micro-Lowry, modificado por Onishi y Barr. La remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleífera* fue responsable del aumento de la concentración de proteínas en la solución coagulante en 1.95 y 1.44 veces más cuando se mantuvo el mismo solvente para la extracción de componentes activos, agua destilada y NaCl 1M, respectivamente. En la muestra «Mo», el NaCl 1M solubilizó 4 veces más proteínas que el agua destilada. Similarmente, en la muestra «MosinAc», el NaCl 1M solubilizó 3 veces más proteínas.

De estos resultados se puede comprobar que se puede aumentar la concentración de proteínas acuosas en la solución coagulante con la remoción de aceite de las semillas de *Moringa oleífera* y el uso de NaCl 1M como solvente de extracción de los componentes activos de la coagulación. Similar a lo obtenido por Scaramal *et al.* (2010) en cuanto a una mayor solubilización de proteínas con una solución iónica. Cabe destacar que el método Micro-Lowry, modificado por Onishi y Bar no realiza diferencia entre las proteínas con propiedades coagulantes y no coagulantes, pero nos puede indicar una relación proporcional entre a mayor solubilización de las proteínas totales se tendrá mayor cantidad de proteínas coagulantes solubilizadas. Es decir, se puede esperar mayor eficiencia en la coagulación-floculación con el coagulante MosinAc-NaCl, seguido de

Mo-NaCl, MosinAc-AD y por último Mo-AD debido a una mayor concentración de proteínas coagulantes solubilizadas.

Tabla 11: Cantidad de proteínas acuosas en los coagulantes preparados al 1% de concentración

Tipo de semilla	Mo		MosinAc	
	Agua destilada	NaCl 1M	Agua destilada	NaCl 1M
Repetición 1	585 mg/L	2365 mg/L	1065 mg/L	3488 mg/L
Repetición 2	535 mg/L	2347 mg/L	1116 mg/L	3407 mg/L
Repetición 3	593 mg/L	2399 mg/L	1155 mg/L	3368 mg/L
Proteína promedio	571 mg/L	2370 mg/L	1112 mg/L	3421 mg/L
Desviación standard	31.4 mg/L	26.2 mg/L	45.1 mg/L	61.2 mg/L
Coefficiente de Variabilidad	5.5%	1.1%	4.1%	1.8%

Scaramal *et al.* (2010) determinó que la preparación del coagulante de *Moringa oleifera* al 1 por ciento con agua destilada fue de 873 mg/L y la presente investigación de 575 mg/L. Golestanbagh *et al.* (2015) y Scaramal *et al.* (2012) determinaron que la concentración de proteínas en el coagulante preparado con las semillas originales de *Moringa oleifera* y NaCl 1M al 1 por ciento fue de 2850 mg/L y 4,499 mg/L respectivamente. En nuestra investigación correspondió a un valor de 2370 mg/L. Es posible que estas diferencias en los valores de la concentración de proteínas se deban a que las semillas de *Moringa oleifera* correspondieron a diferentes especies y/o las diferencias geográficas y de siembra que tuvieron los cultivos del árbol de *Moringa oleifera*.

4.3. ANÁLISIS DE LA TURBIEDAD RESIDUAL EN LAS AGUAS SINTÉTICAS

4.3.1. Resultados del agua sintética de turbiedad baja

En el Tabla 12 se puede apreciar los resultados de la coagulación – floculación relacionados al parámetro de turbiedad para el agua sintética de turbiedad inicial de 20 UNT con aquellos coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo» (Mo-AD y

Mo-NaCl).

Tabla 12: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 20 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas Mo

Coagulante preparado: Mo-AD Concentración del coagulante: 2%			Coagulante preparado: Mo-NaCl Concentración del coagulante: 1%		
Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)
0	7.53	0	0	7.92	0
4	8.50	-12.7	2	6.95	12.2
10	8.59	-13.4	5	6.76	14.7
20	8.89	-16.8	10	4.75	40.0
40	8.04	-6.2	20	3.38	57.3
80	8.34	-10.2	40	4.83	39.0

En el Tabla 13 se puede apreciar los resultados de la coagulación – floculación relacionados al parámetro de turbiedad para el agua sintética de turbiedad inicial de 20 UNT con aquellos coagulantes preparados con la muestra de semillas «MosinAc» (MosinAc-AD y MosinAc-NaCl).

Tabla 13: Resultados de la coagulación-floculación en muestra de 20 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas MosinAc

Coagulante preparado: MosinAc-AD Concentración del coagulante: 1%			Coagulante preparado: MosinAc- NaCl Concentración del coagulante: 1%		
Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)
0	7.61	0	0	7.29	0
2	8.01	-5.2	2	4.85	33.5
5	5.39	29.2	5	2.96	59.3
10	6.82	10.4	10	2.55	65.1
20	7.77	-2.1	20	2.41	66.9
40	7.88	-3.6	40	2.31	68.3

En base a las Tablas 12 y 13 se procedió a graficar las Figuras 9 y 10 para la determinación de las dosis óptimas en la muestra sintética de 20 UNT.

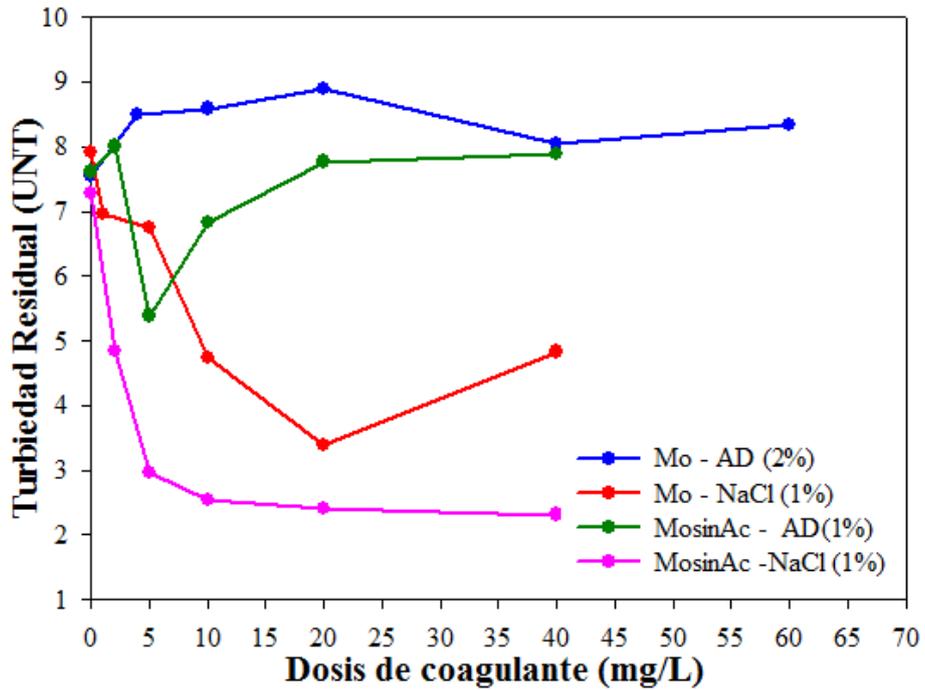


Figura 9: Turbiedad residual en agua sintética de 20 UNT

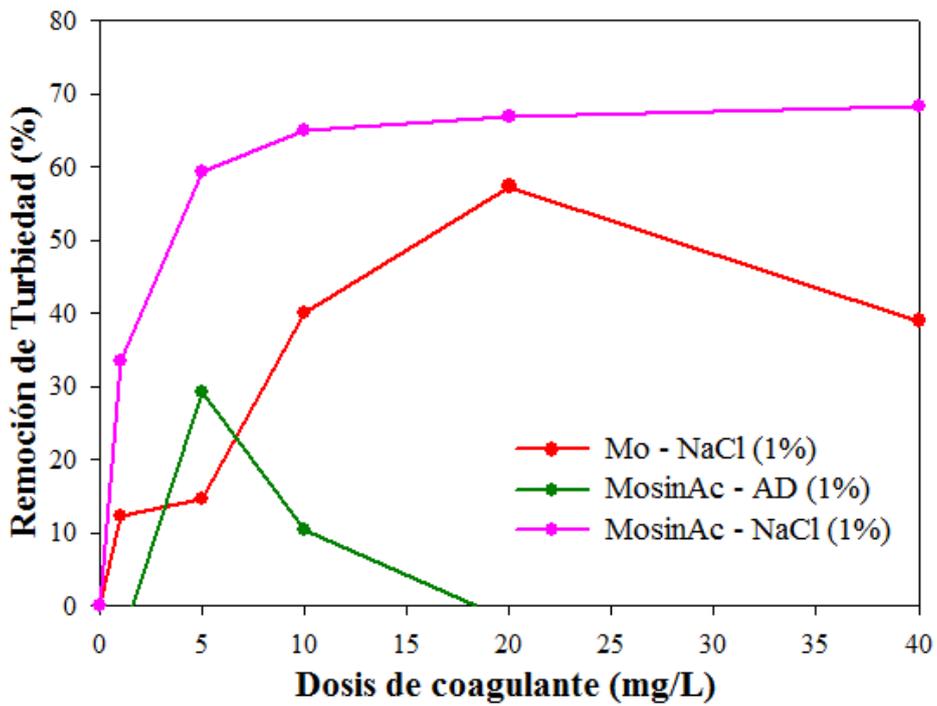


Figura 10: Remoción de turbiedad en agua sintética de 20 UNT

De las Figuras 9 y 10 se puede apreciar los resultados de los procesos de coagulación – floculación respecto al parámetro turbiedad en un agua sintética de baja turbiedad (20 UNT). En el Beaker considerado como blanco, donde no se adicionó ningún coagulante, se obtuvo una turbiedad residual promedio de 7.58 UNT, es decir, existió una remoción promedio de turbiedad de 62.1 por ciento debido a la sedimentación natural ocurrida en las unidades experimentales.

La coagulación –floculación no funcionó para ninguna dosis con el coagulante Mo-AD preparado ya que en todas las dosis las turbiedades residuales fueron mayores a la obtenida en el blanco. Las dosis óptimas para los coagulantes Mo-NaCl, MosinAc-AD y MosinAc-NaCl fueron 20 mg/L, 5mg/L y 5mg/L respectivamente. La remoción del aceite de las semillas de Moringa redujo la dosis óptima del coagulante 4 veces cuando se empleó NaCl 1M y permitió que la coagulación-floculación remueva la turbiedad cuando se emplea agua destilada como solvente de extracción de los componentes activos. En estas dosis óptimas las remociones de turbiedad alcanzadas fueron 57.3 por ciento, 29.2 por ciento y 59.3 por ciento, respectivamente.

En cuanto a la eficiencia relacionada a la turbiedad mínima alcanzada en las dosis óptimas, los coagulantes Mo-NaCl y MosinAc-NaCl preparados lograron reducir la turbiedad a valores menores de 5 UNT (valor límite según Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano), por el contrario, con el coagulante MosinAc-AD solo se logró alcanzar en promedio 5.39 UNT. La remoción del aceite no influyó significativamente en la reducción de la turbiedad mínima. Por ejemplo, en los coagulantes MosinAc-NaCl y Mo-NaCl, solo hubo una diferencia en la turbiedad residual de 0.42 UNT.

De manera general, en el agua sintética de 20 UNT, la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* redujo las dosis óptimas cuando se mantuvo constante el mismo solvente de extracción de componentes activos, pero no disminuyó significativamente la turbiedad mínima, y por consiguiente la remoción de turbiedad se mantuvo en valores similares. También, se observó un aumento en la turbiedad residual cuando se adicionó volúmenes mayores a la dosis óptima, tendencia similar ocurrida en la investigación de Tunggolou *et al.* (2017) y Muyibi *et al.* (1995).

4.3.2. Resultados del agua sintética de turbiedad intermedia

En las Tablas 14 y 15 se puede apreciar los resultados de la coagulación – floculación relacionados al parámetro de turbiedad para el agua sintética de turbiedad inicial de 120 UNT con aquellos coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo» y «MosinAc» respectivamente.

Tabla 14: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 120 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo».

Coagulante preparado: Mo-AD Concentración del coagulante: 2%			Coagulante preparado: Mo-NaCl Concentración del coagulante: 1%		
Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)
0	19.3	0	0	18.4	0
4	13.1	32.24	2	6.22	66.3
10	8.59	55.57	5	4.58	76.2
20	8.80	54.47	10	4.12	77.3
30	12.0	40.59	20	3.96	78.5
40	13.4	30.86	40	3.73	79.8

Tabla 15: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 120 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «MosinAc»

Coagulante preparado: MosinAc-AD Concentración del coagulante: 0.5%			Coagulante preparado: MosinAc-NaCl Concentración del coagulante: 0.5%		
Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)
0	16.9	0	0	19.1	0
1	9.27	45.28	1	5.01	73.7
2.5	5.65	66.65	2.5	3.61	81.1
5	6.50	61.61	5	3.53	81.5
10	6.71	60.37	10	3.21	83.2
20	8.19	51.65	20	3.39	82.2

En base a las Tablas 14 y 15 se procedieron a graficar las Figuras 11 y 12 que se muestran a continuación para la determinación de las dosis óptimas en la muestra sintética de 120 UNT.

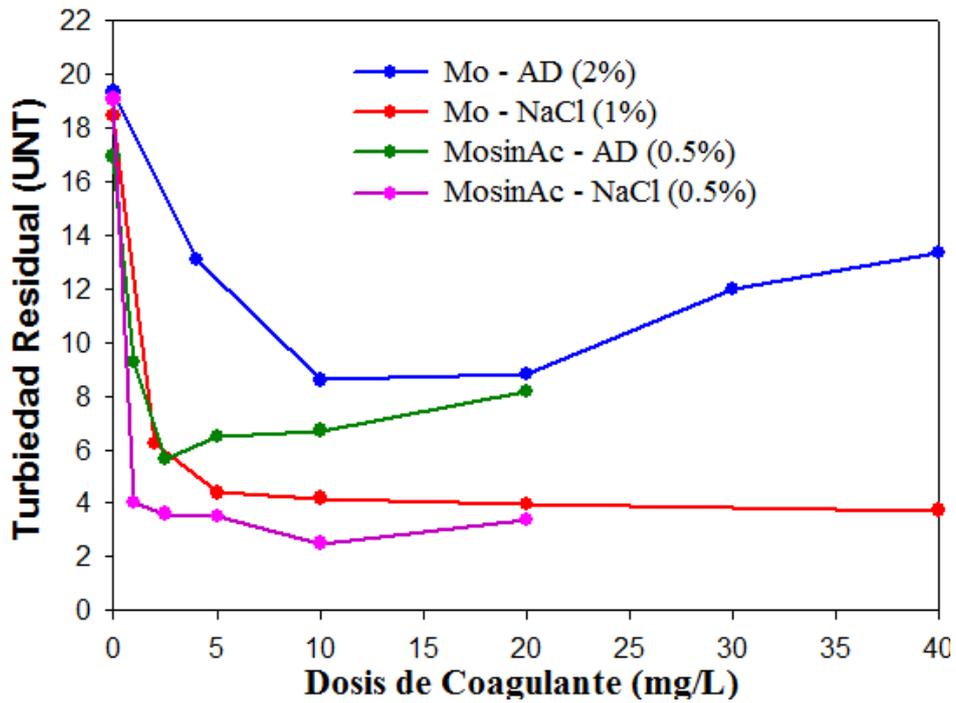


Figura 11: Turbiedad residual en agua sintética de 120 UNT

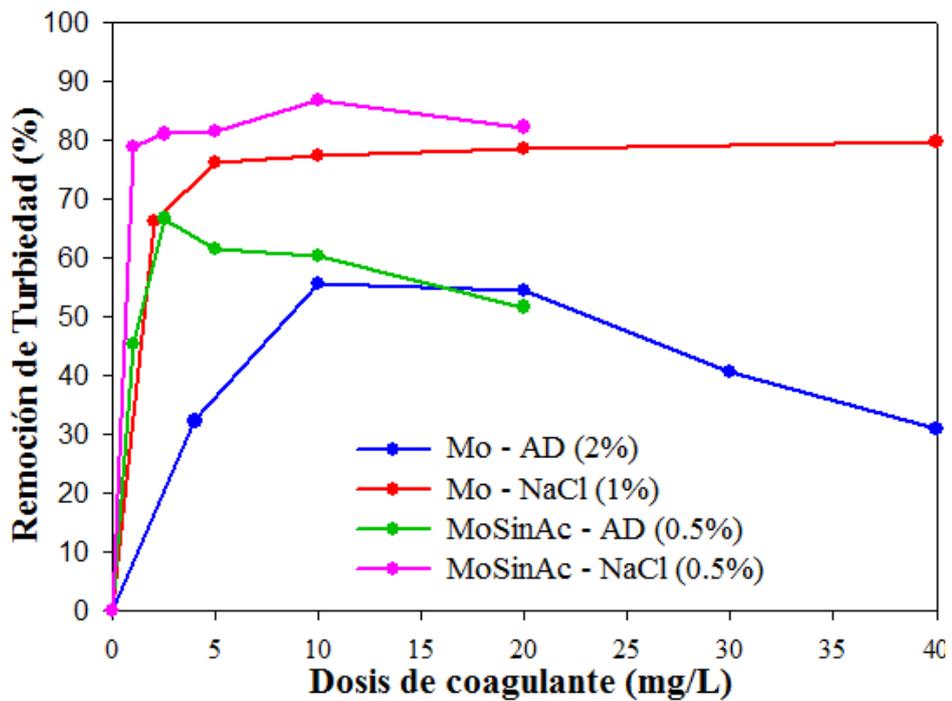


Figura 12: Remoción de turbiedad en agua sintética de 120 UNT

De las Figuras 11 y 12 se puede apreciar los resultados de los procesos de coagulación – floculación respecto al parámetro turbiedad en un agua sintética de turbiedad intermedia (120 UNT). En el Beaker considerado como blanco, donde no se adicionó ningún coagulante, se obtuvo una turbiedad residual promedio de 18.4 UNT, es decir, existió una remoción promedio de turbiedad de 84.6 por ciento debido a la sedimentación natural ocurrida en las unidades experimentales.

A diferencia de lo ocurrido en el agua sintética de 20 UNT, la coagulación–floculación funcionó para todos los coagulantes preparados, incluido el coagulante Mo-AD. Las dosis óptimas para los coagulantes Mo-AD, Mo-NaCl, MosinAc-AD y MosinAc-NaCl fueron 10 mg/L, 5 mg/L, 2.5mg/L y 2.5mg/L respectivamente. La remoción del aceite de las semillas de *Moringa* redujo la dosis óptima del coagulante 4 veces y 2 veces cuando se empleó agua destilada y NaCl 1M como solvente de extracción de los componentes activos, respectivamente. En estas dosis óptimas las remociones de turbiedad alcanzadas fueron 55.57 por ciento, 76.20 por ciento, 66.65 por ciento y 81.08 por ciento, respectivamente.

Similarmente como lo ocurrido en el agua sintética de 20 UNT, solo los coagulantes que emplearon NaCl 1M como solvente de extracción de los componentes activos (Mo-NaCl y MosinAc-NaCl), lograron reducir la turbiedad a valores menores de 5 UNT (valor límite según la OMS). Por el contrario, con los coagulantes Mo-AD y MosinAc-AD solo se lograron alcanzar en promedio 8.59 UNT y 5.65 UNT. La remoción de aceite redujo la turbiedad residual alcanzada en 2.94 UNT y 0.97 UNT cuando se empleó agua destilada y NaCl como solventes de extracción de los componentes activos, respectivamente.

De manera general, en el agua sintética de 120 UNT, la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* redujo las dosis óptimas, disminuyó la turbiedad mínima alcanzada y por consiguiente aumentó la remoción de la turbiedad. Al igual que Tunggolou *et al.* (2017) y Muyibi *et al.* (1995), se observó también el aumento de turbiedad residual por sobredosisificación de coagulante.

4.3.3. Resultados del agua sintética de turbiedad alta

En la Tabla 16 y 17 se puede apreciar los resultados de la coagulación – floculación relacionados al parámetro de turbiedad para el agua sintética de turbiedad inicial de 500 UNT con aquellos coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo» y «MosinAc», respectivamente.

Tabla 16: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 500 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «Mo»

Coagulante preparado: Mo-AD Concentración del coagulante: 2%			Coagulante preparado: Mo-NaCl Concentración del coagulante: 1%		
Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)
0	59.6	0	0	56.83	0
4	49.5	16.95	2	12.73	77.60
10	23.9	59.96	5	10.20	82.05
20	16.1	72.93	10	6.69	88.23
40	17.2	71.09	20	9.49	83.30
60	23.0	61.41	40	11.27	80.18

Tabla 17: Resultados de la coagulación-floculación en la muestra de 500 UNT con los coagulantes preparados con la muestra de semillas «MosinAc»

Coagulante preparado: MosinAc-AD Concentración del coagulante: 2%			Coagulante preparado: MosinAc-NaCl Concentración del coagulante: 0.5%		
Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad Residual (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)
0	52.0	0	0	58.6	0
4	7.05	86.43	1	9.24	84.23
10	13.5	74.02	2.5	6.37	89.12
20	42.5	18.22	5	10.1	82.73
30	82.1	-57.92	10	13.0	77.75
40	114.00	-119.37	20	9.94	83.03

En base a las Tablas 16 y 17 se procedieron a graficar las figuras 13 y 14 que se muestran a continuación para la determinación de las dosis óptimas en la muestra sintética de 500 UNT.

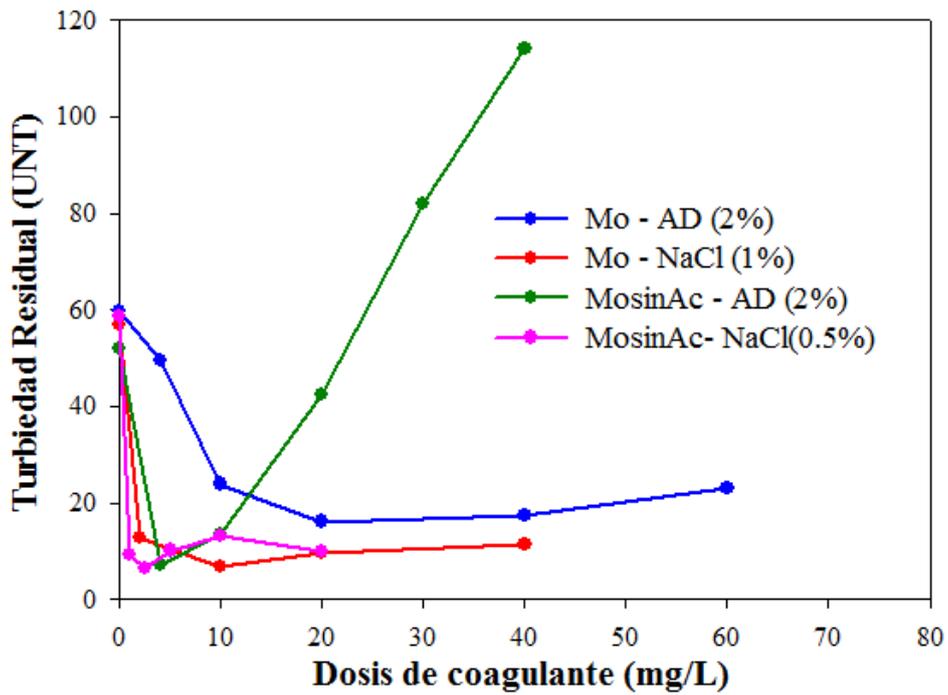


Figura 13: Turbiedad residual en agua sintética de 500 UNT

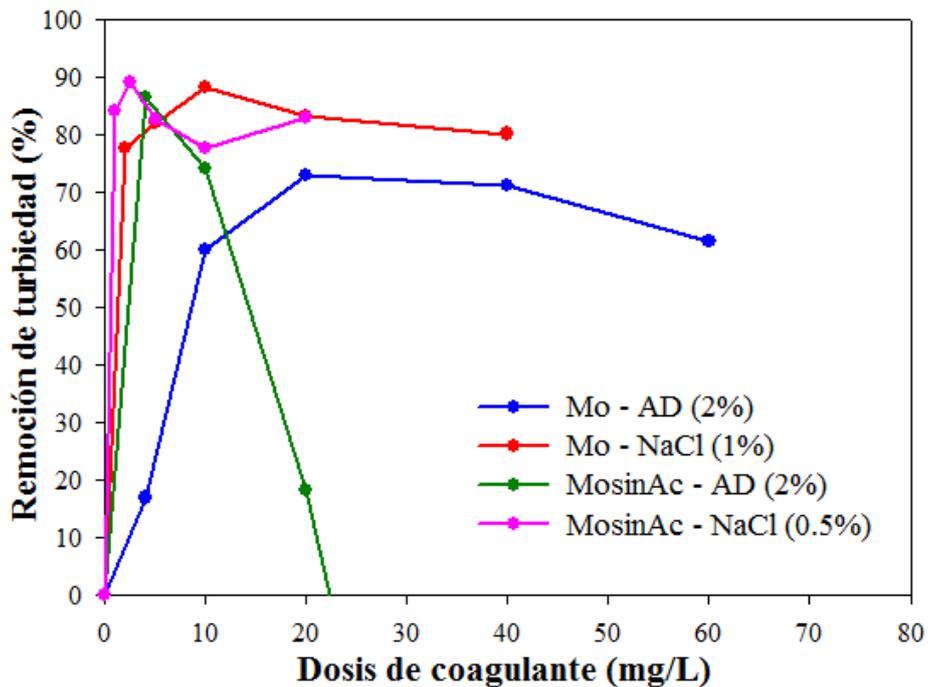


Figura 14: Remoción de turbiedad en agua sintética de 500 UNT

De las Figuras 13 y 14 se puede apreciar los resultados de los procesos de coagulación – floculación respecto al parámetro turbiedad en un agua sintética de turbiedad intermedia (500 UNT). En el Beaker considerado como blanco, donde no se adicionó ningún coagulante, se obtuvo una turbiedad residual promedio de 56.7 UNT, es decir, existió una remoción promedio de turbiedad de 88.7 por ciento debido a la sedimentación natural ocurrida en las unidades experimentales.

Similarmente a lo ocurrido en el agua sintética de 120 UNT, la coagulación–floculación funcionó para todos los coagulantes preparados, incluido el coagulante Mo-AD. Las dosis óptimas para los coagulantes Mo-AD, Mo-NaCl, MosinAc-AD y MosinAc-NaCl fueron 20 mg/L, 5 mg/L, 4 mg/L y 2.5mg/L, respectivamente. La remoción del aceite de las semillas de Moringa redujo la dosis óptima del coagulante 5 veces y 4 veces cuando se empleó agua destilada y NaCl 1M como solvente de extracción de los componentes activos, respectivamente. En estas dosis óptimas las remociones de turbiedad alcanzadas fueron 72.93 por ciento, 88.23 por ciento, 86.81 por ciento y 89.63 por ciento, respectivamente.

Ningún coagulante preparado (Mo-AD, Mo-NaCl, MosinAc-AD y MosinAc-NaCl), logró reducir la turbiedad a valores menores de 5 UNT (valor límite según el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano). Las turbiedades residuales alcanzadas en las dosis óptimas fueron de 16.13 UNT, 6.69 UNT, 6,85 UN y 6.07 UNT para los coagulantes Mo-AD, Mo-NaCl, MosinAc-AD y MosinAc-NaCl, respectivamente. La remoción del aceite redujo la turbiedad residual alcanzada en 9.28 UNT y 0.62 UNT cuando se empleó agua destilada y NaCl como solventes de extracción de los componentes activos, respectivamente.

De manera general, en el agua sintética de 500 UNT, la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* redujo las dosis óptimas y disminuyó la turbiedad mínima alcanzada y por consiguiente aumentó la remoción de la turbiedad, en especial cuando se empleó el agua destilada como solvente. Al igual que Tunggolou *et al.* (2017) y Muyibi *et al.* (1995), se observó el aumento de turbiedad residual por sobredosificación de coagulante.

4.4. MEJOR SOLVENTE PARA LA EXTRACCIÓN DE COMPONENTES ACTIVOS

Para la determinación del mejor solvente (agua destilada o NaCl 1M) en la extracción de componentes activos se evaluaron los resultados de turbiedad residual alcanzada y remoción de turbiedad en las dosis óptimas; y las dosis óptimas. Estos resultados se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18: Resultados en las dosis óptimas de los coagulantes preparados

	Coagulante preparado	Mo-AD	Mo-NaCl	MosinAc-AD	MosinAc-NaCl
20 UNT	Dosis óptima	No funcionó	20	5	5
	Turbiedad residual (UNT)	No funcionó	3.38	5.39	2.96
	Remoción de turbiedad (%)	No funcionó	57.3	29.2	59.3
120 UNT	Dosis optima (mg/L)	10	5	2.5	2.5
	Turbiedad residual (UNT)	8.59	4.39	5.65	3.61
	Remoción de turbiedad (%)	55.57	76.20	66.65	81.08
500 UNT	Dosis óptima (mg/L)	20	10	4	2.5
	Turbiedad residual (UNT)	16.13	6.69	6.85	6.07
	Remoción de turbiedad (%)	72.93	88.23	86.81	89.63

En la muestra de agua sintética de 20 UNT, el NaCl 1M permitió que el proceso de coagulación-floculación funcionara cuando se empleó la semilla de *Moringa oleifera* sin remoción de aceite «Mo», mientras que el agua destilada para el mismo tipo de semilla no produjo remoción de turbiedad sino lo contrario, un aumento de la turbiedad residual respecto al Beaker considerado como blanco. En relación con el coagulante preparado

con las semillas «MosinAc», el NaCl 1M redujo la turbiedad 1.8 veces respecto al agua destilada, un equivalente a una remoción de turbiedad del 30.1 por ciento. Esta turbiedad residual logró estar por debajo de los 5 UNT, valor límite según el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano. Las dosis óptimas permanecieron iguales para los coagulantes MosinAc-AD y MosinAc-NaCl.

En la muestra sintética de 120 UNT, todos los coagulantes preparados con agua destilada y NaCl 1M funcionaron para el proceso de coagulación -floculación. Con el coagulante preparado a base de la semilla «Mo», el NaCl 1M redujo la turbiedad 1.9 veces respecto al agua destilada, es decir un equivalente a un aumento de la remoción de turbiedad de 20 por ciento. Las turbiedades residuales lograron encontrarse debajo de los 5 UNT (valor límite según Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano) y disminuyó la cantidad de coagulante a la mitad. Similarmente, cuando se preparó el coagulante con la semilla «MosinAc», la turbiedad residual se redujo en 1.6 veces, la remoción de turbiedad aumentó en casi 15 por ciento y la turbiedad residual fue menor a los 5 UNT cuando se empleó el NaCl 1M para la extracción de los componentes activos. No obstante, a diferencia del coagulante preparado con las semillas «Mo», las dosis óptimas permanecieron iguales para los coagulantes MosinAc-AD y MosinAc-NaCl, similar a lo ocurrido en el agua sintética de 20 UNT.

En la muestra sintética de 500 UNT, todos los coagulantes preparados con agua destilada (Mo-AD y MosinAc-AD) y NaCl 1M (Mo-NaCl y MosinAc) funcionaron para el proceso de coagulación -floculación. Con el coagulante preparado a base de la semilla «Mo», el NaCl 1M redujo la turbiedad residual 2.4 veces, aumentó la remoción de turbiedad en 15 por ciento y redujo la dosis de coagulante a la mitad. Sin embargo, el NaCl 1M no logró reducir la turbiedad residual por debajo de los 5 UNT (valor límite Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano). Respecto a los coagulantes preparados con la semilla «MosinAc», no existió una diferencia significativa entre el uso de agua destilada y NaCl 1M como solventes de extracción ya que solo hubo una diferencia de la remoción de turbiedad de casi el 3 por ciento, un equivalente a una reducción de la turbiedad residual en 1.1 veces. Al igual que con la semilla «Mo», la turbiedad residual tampoco logró ser menor a los 5 UNT. En relación a la dosis óptima, esta se logró reducir 1.6 veces cuando se empleó el NaCl 1M.

Similarmente a los resultados de la presente investigación, Scaramal *et al.* (2010) para el tratamiento de un agua superficial 850 UNT, obtuvo porcentajes de remoción del 96 por ciento y 52 por ciento con el KCl 1M y agua destilada, respectivamente. En nuestra investigación, en nuestra agua considerada como agua con turbiedad alta los valores de remoción fueron de 73 y 88 por ciento. Okuda *et al.* (1999) logró una reducción de la turbiedad residual de 7.4 veces con el NaCl 1M y una reducción de la dosis de la mitad. En la presente investigación se obtuvo un máximo valor de reducción de la turbiedad residual de 2.4 veces para el agua de alta turbiedad de 500 UNT y una reducción de la mitad en la dosis óptima cuando se emplearon las semillas originales. Sandoval (2013) para el tratamiento de un agua superficial de 36 UNT con semillas de Moringa con extracción de aceite logró una turbiedad residual 5.5 veces menor con el NaCl 1M en comparación con el agua destilada. En la presente investigación, cuando se emplearon las semillas con extracción de aceite, se redujo la turbiedad residual un máximo de 1.8 veces cuando se empleó el NaCl 1M y esta se dio en el agua sintética de 20 UNT.

En síntesis, en los tres tipos de agua sintética, los mejores resultados en el proceso de coagulación –floculación se obtuvieron cuando se empleó el NaCl 1M como solvente de extracción de los componentes activos en comparación del agua destilada al reducir la turbiedad residual en comparación con el agua destilada y por consiguiente aumentar el porcentaje de remoción. Respecto a las dosis óptimas, el NaCl 1M tuvo un efecto menor en la reducción de las dosis óptimas. Todas las dosis óptimas solo se redujeron cuando se emplearon las semillas originales «Mo». Con las semillas «MosinAc», las dosis solo se redujeron en el agua de alta turbiedad, y para las aguas de 20 UNT y 120 UNT las dosis permanecieron iguales.

4.5. EFECTO DE LA TURBIEDAD INICIAL EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

En esta sección se evaluó el efecto de la turbiedad inicial (20 UNT, 120 UNT y 500 UNT) sobre la turbiedad residual, dosis óptima y remoción alcanzada en la dosis óptima para describir la influencia de la turbiedad inicial en el proceso de coagulación-floculación.

4.5.1. Turbiedad residual

En la Figura 15 se observa el efecto de la turbiedad inicial en la turbiedad residual del agua tratada para los coagulantes preparados. Se puede apreciar que a mayor turbiedad inicial de la muestra de agua a tratar existe mayor turbiedad residual en el agua tratada para cualquiera de los coagulantes preparados. Asimismo, solo para las aguas sintéticas de 20 UNT y 120 UNT y con aquellos coagulantes preparados con el solvente de extracción NaCl 1M se pudo estar por debajo de los 5 UNT, valor límite del Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano.

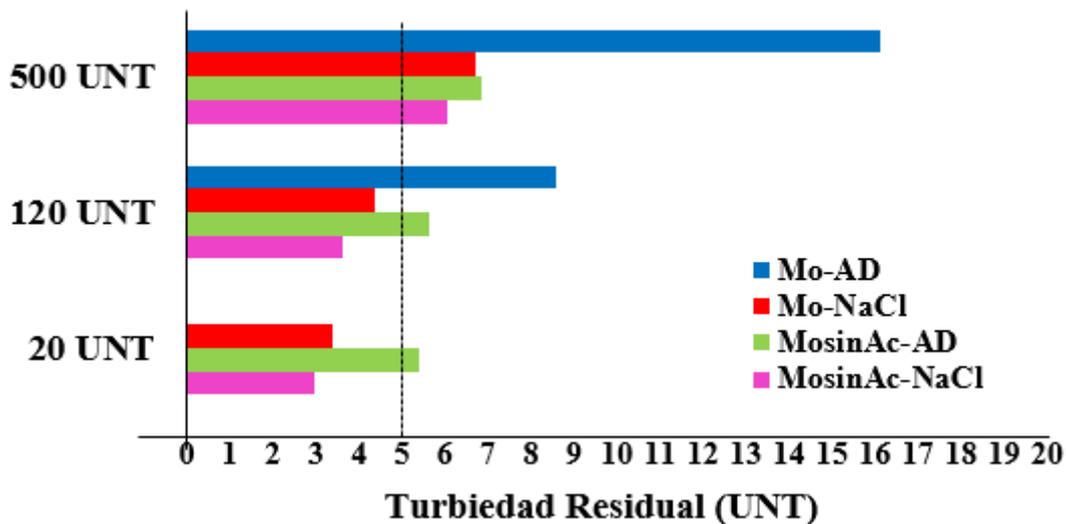


Figura 15: Efecto de la turbiedad inicial en la turbiedad residual del agua tratada para los coagulantes preparados

4.5.2. Dosis óptima

En la Figura 16 se observa el efecto de la turbiedad inicial en las dosis óptimas de los coagulantes preparados. Se aprecia un aumento de las dosis óptimas cuando aumenta la turbiedad inicial de 120 UNT a 500 UNT para todos los coagulantes excepto el MosinAc-NaCl. Estos resultados concuerdan con Majithiya *et al.* (2013) donde existe un aumento de las dosis óptimas cuando la turbiedad inicial aumenta desde los 50 UNT hasta los 450 UNT tanto para los coagulantes con semillas originales y con semillas con extracción de aceite.

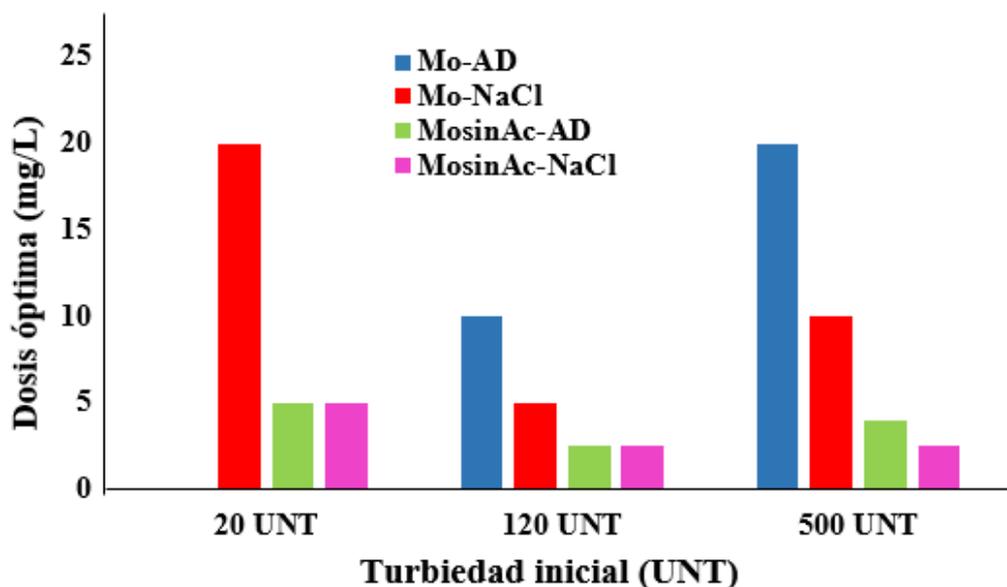


Figura 16: Efecto de la turbiedad inicial en las dosis óptimas de los coagulantes preparados

Es posible que no se cumpla esta tendencia en el agua sintética de 20 UNT debido a que no existe suficientes partículas en suspensión para producir el contacto necesario para la formación del floculo y se necesita mayores dosis (Stumm y O'Melia, citados por Pérez *et al.*, 1977).

4.5.3. Remoción de turbiedad

La figura 16 nos muestra el efecto de la turbiedad inicial en la remoción de la turbiedad en las dosis óptimas de los coagulantes preparados. Al igual que Nkurunziza *et al.*, (2009), Ravikumar *et al.*, (2012), Muyibi *et al.* (2003), Muthuraman *et al.*, (2013) y Majithiya *et al.*, (2013), se observa que la remoción de turbiedad aumenta a medida que se incrementa la turbiedad inicial del agua a tratar. También, existe mayor variabilidad en las remociones de turbiedad en aguas de baja turbiedad y esta variabilidad en las remociones se reduce a medida que aumenta la turbiedad inicial. Es decir, en aguas de alta turbiedad, cualquiera de los coagulantes preparados posee parecidas eficiencias en la remoción de turbiedad. Esto último acerca de la variabilidad en las remociones concuerda con Nkurunziza *et al.* (2009). Una mayor remoción de turbiedad en aguas de alta turbiedad

confirma la efectividad de la *Moringa oleifera* en las aguas de alta turbiedad y su poca efectividad en aguas de baja turbiedad.

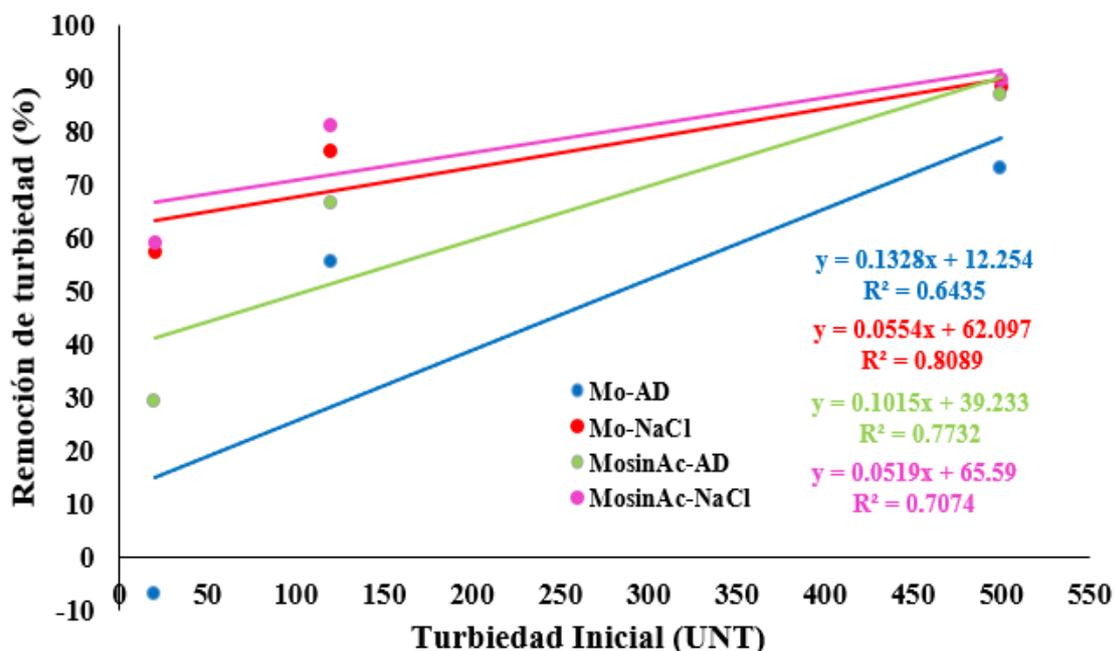


Figura 17: Efecto de la turbiedad inicial en la remoción de la turbiedad

4.6. INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES DE *Moringa oleifera* SOBRE EL pH DEL AGUA TRATADA

En la Figura 18 se aprecia la influencia de los distintos coagulantes preparados de *Moringa oleifera* sobre el pH residual del agua tratada. Para todas las muestras de agua sintética (20 UNT, 120 UNT y 500 UNT) no se observó alguna tendencia de aumento o disminución del pH a medida que aumentaba la dosis de cualquiera de los coagulantes preparados y ello se corrobora con los resultados estadísticos del análisis de varianza donde a un nivel de significancia del 95 por ciento, todos los pH residuales en las 6 unidades experimentales son estadísticamente iguales. Esto demuestra que los coagulantes preparados en base a las semillas de *Moringa oleifera* (Mo-AD, Mo-NaCl, MosinAc-AD y MosinAc-NaCl) no varían el pH del agua a tratar. Estos resultados coinciden con las investigaciones de Tunggolou *et al.*, (2017), Ravikumar *et al.*, (2012), Jadhav *et al.*, (2012), Arnoldsson *et al.*, (2008) y Feria *et al.*, (2014). Es importante resaltar que, aunque el agua sintética se ajustó a un pH inicial entre 6.8 y 7.2 unidades de

pH, finalizado el proceso de coagulación-floculación existió una ligera disminución del pH en las 6 unidades experimentales, incluido la unidad experimental considerada como blanco. No se ha encontrado en la bibliografía una explicación a este hecho, sin embargo, es probable que sea por la disolución de CO₂ durante la mezcla rápida, lenta y sedimentación.

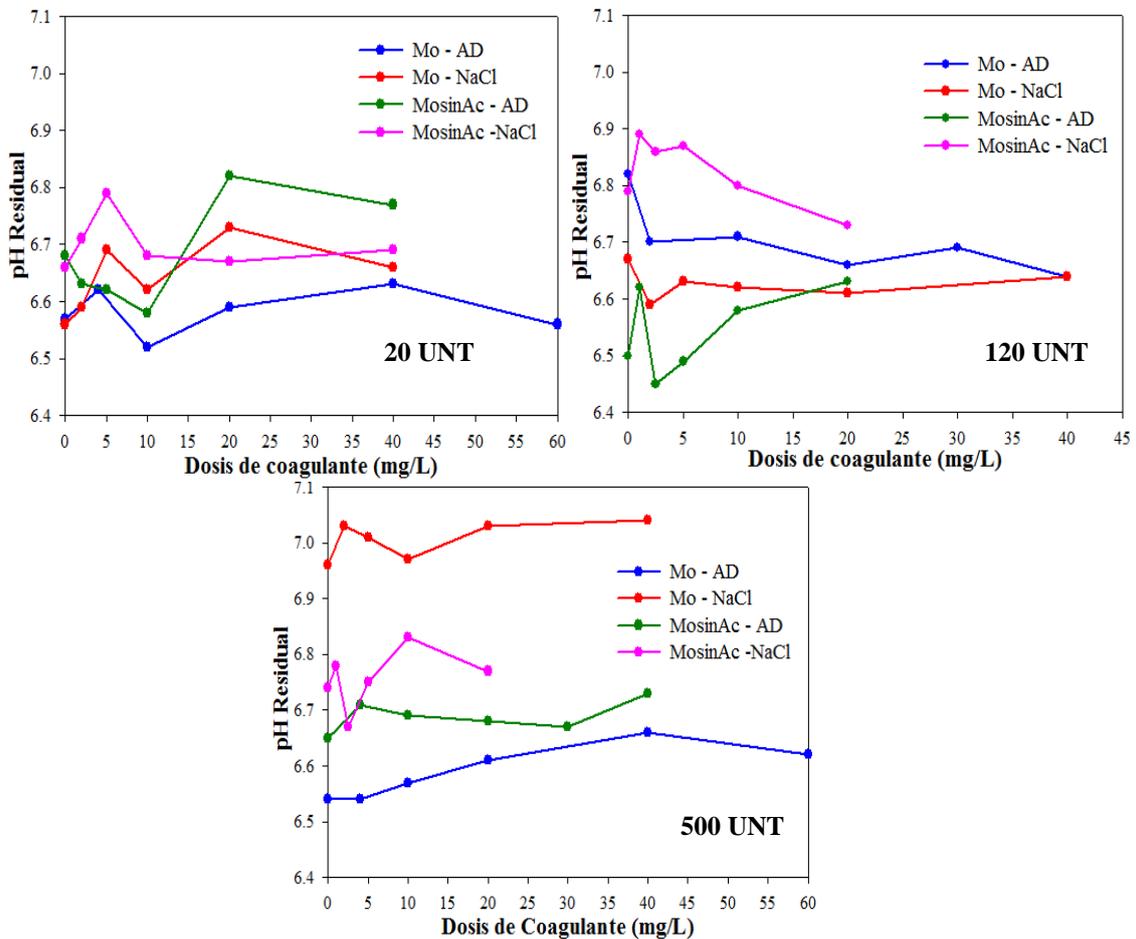


Figura 18: Influencia de las dosis de los coagulantes de *Moringa oleifera* sobre el pH residual del agua tratada

4.7. INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES DE *Moringa oleifera* SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL AGUA TRATADA

La Figura 19 muestra la influencia de las dosis de los coagulantes de *Moringa oleifera* sobre la conductividad eléctrica en el agua tratada. Se observa dos tipos de comportamiento de la conductividad eléctrica, el primero cuando se utiliza agua destilada

como solvente de extracción de los componentes activos y el segundo cuando se emplea NaCl 1M. Para todas las aguas sintéticas, en los casos en que se utilizó el agua destilada como solvente de extracción se observa que no existe un comportamiento definido en la conductividad eléctrica a medida que se aumentan las dosis de cualquiera de los coagulantes *Moringa oleifera*. Por tanto, se puede deducir que los coagulantes en base a *Moringa oleifera* cuando emplean el agua destilada como solvente de extracción de los componentes activos no influyen en la conductividad eléctrica del agua a tratar. Esto se confirma con los resultados estadísticos en donde a un nivel de significancia del 95 por ciento, el análisis de varianza concluye que las conductividades eléctricas residuales en cada una de las 06 unidades experimentales son iguales.

En los casos en donde se empleó el NaCl 1M como solvente de extracción se observa un aumento de la conductividad residual a medida que se aumentan las dosis de los coagulantes preparados. Esto se debe a que el NaCl 1M es una sal y por tanto la adición de ella aumentó la conductividad residual del agua. Este aumento siguió una relación lineal y con valores de R^2 superiores a 0.95. Todas las conductividades eléctricas resultaron por debajo de los 1500 $\mu\text{mho/cm}$, límite máximo permisible del Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano de la Dirección General de Salud Ambiental.

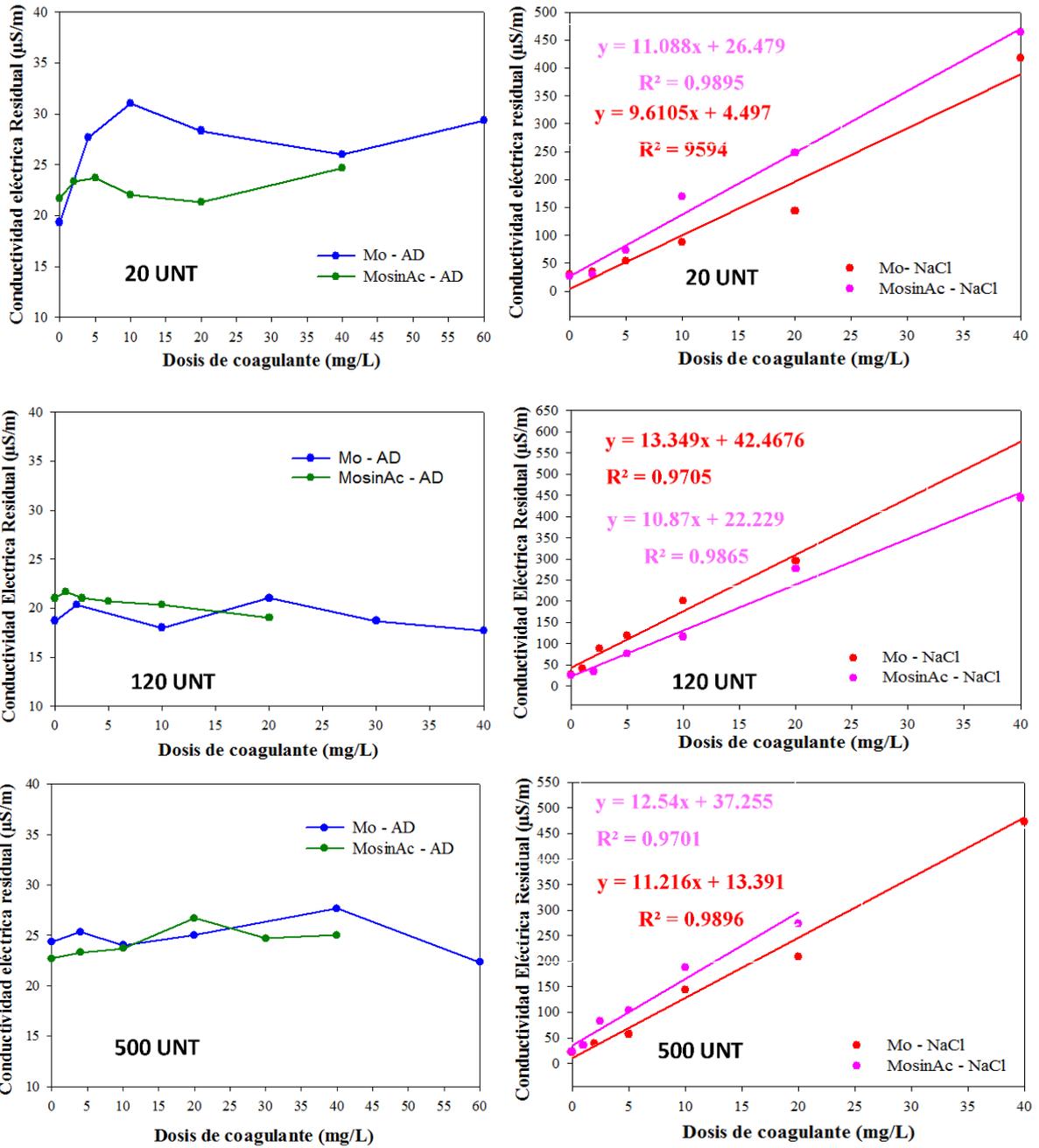


Figura 19: Influencia de las dosis de los coagulantes de Moringa oleifera sobre la conductividad eléctrica del agua tratada

V. CONCLUSIONES

1. En base a la composición proximal, la remoción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* produjo una pérdida del 63.4 por ciento de la grasa total de la semilla de *Moringa oleifera*, o de manera equivalente una pérdida de 24.1 g de grasa por cada 100 gramos de peso de la semilla y permitió elevar la concentración de proteínas en un 46 por ciento.
2. La remoción del aceite logró elevar la concentración de proteínas acuosas en el coagulante natural en un 93 por ciento y 44 por ciento cuando se empleó agua destilada y NaCl 1M como solventes de extracción, respectivamente.
3. La remoción del aceite redujo la dosis óptima hasta 5 veces cuando se empleó agua destilada como solvente de extracción y hasta 4 veces cuando se empleó NaCl 1M. En cuanto a la remoción, logro aumentarla hasta casi un 14 por ciento (disminución de casi 10 UNT) cuando se empleó agua destilada y hasta casi un 5 por ciento (disminución de casi 1 UNT) cuando se empleó NaCl 1M.
4. El mejor solvente para la extracción de los componentes activos del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera* fue el NaCl 1M al aumentar la remoción de turbiedad hasta un 30 por ciento (equivalente a una disminución de 2.43 UNT). En cuanto a la dosis óptima, pudo reducirla hasta la mitad.
5. Los coagulantes naturales preparados a base de las semillas de *Moringa oleifera* no modifican el pH en el agua a tratar. La conductividad eléctrica en el agua tratada no varió por las semillas de *Moringa oleifera* en sí mismas sino por el tipo de solvente de extracción, en este caso el NaCl 1M al ser una sal. La conductividad eléctrica del agua tratada resultó ser menor a 1500 $\mu\text{mho/cm}$ para

todas las dosis de todos los coagulantes preparados.

6. A medida que se incrementa la turbiedad inicial del agua a tratar aumenta también la turbiedad residual (en UNT), la remoción de turbiedad (medido en porcentaje) y las dosis óptimas a excepción cuando se tratan aguas de baja turbiedad. Al tratar aguas de alta turbiedad, los distintos coagulantes preparados a base de las semillas de *Moringa oleífera* tienen parecidas remociones de turbiedad.

VI. RECOMENDACIONES

1. Incluir las mediciones de Carbono Orgánico Total (COT) o Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las muestras de aguas tratadas para evaluar si existe una disminución significativa de dichos parámetros cuando se realiza la remoción de aceite de las semillas de *Moringa oleifera* en la preparación de los coagulantes.
2. Emplear Caolinita químicamente pura en la preparación de aguas sintéticas para evaluar los procesos de coagulación-floculación con la finalidad de reducir la sedimentación natural en las unidades experimentales.
3. Optimizar los parámetros de la prueba de jarras como la velocidad de agitación en la mezcla rápida y mezcla lenta, así como la duración de ellas y de la etapa de sedimentación.
4. Evaluar las variables duración del tiempo de extracción, temperatura de extracción, número de ciclos, relación muestra-solvente en el proceso de extracción de aceite con el equipo de Soxhlet con la finalidad de lograr la mayor cantidad de aceite extraído en el menor tiempo posible.
5. Siempre que se realice la prueba de jarras para la coagulación-floculación, considerar una de las unidades experimentales como blanco para que sea posible calcular la remoción de turbiedad solo por la adición del coagulante sin consideración de la sedimentación natural.
6. Comparar el coagulante natural preparado con las semillas de *Moringa oleifera* posterior a la remoción de su aceite y con NaCl 1M como solvente de extracción con un coagulante químico para evaluar la eficiencia de este coagulante natural preparado.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulkarim, S; Long, K; Lai, O; Muhammad, S; Ghazali, H. 2005. Some physico-chemical properties of *Moringa oleifera* seeds oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. Food Chemistry 93: 253- 263.
- Abolore, M; Saedi, M; Monsur, A; Jamal, P. 2016. *Moringa oleifera* seed extract: A review on its environmental applications. International journal of applied environmental sciences 11(6): 1469-1486.
- Adegbe, A; Larayeta, R; Omojuwa, T. 2016. Proximate analysis, physicochemical properties and chemical constituents characterization of *Moringa oleifera* (Moringaceae) seed oil using GC-MS Analysis. American Journal of Chemistry 6(2): 23-28.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). 2016. Indicators: Conductivity. Consultado 03 ene. 2019. Disponible en: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>
- Agrawal, H; Shee, C; Sharma, A. 2007. Isolation of a 66 kDa protein with coagulation activity from seeds of *Moringa oleifera*. Research journal of agriculture and biological sciences 3(5): 418-421.
- Amante, B; López, V; Smith, T. 2015. Valuation of oil extraction residue from *Moringa oleifera* seeds for water purification in Burkina Faso. Desalination and water treatment 85(4): 2743-2749.
- Andía, Yolanda. 2000. Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Lima, Perú. 44p.

- Andrade, L; Cabral, M; Silva, R; Aparecida, L; Santana, L; Silva, R; Mentele, R; Vilela, M; Guedes, P; Breitenbach, L. 2013. Structural characterization of coagulant *Moringa oleifera* lectin and its effect on hemostatic parameters. International journal of biological macromolecules 58: 31-36.
- Anwar, F; Bhangeer, M. 2003. Analytical characterization of *Moringa oleifera* seed oil grown in temperate regions of Pakistan. Journal of agricultural and food chemistry 51(22):6558-6563.
- Anwar, F; Latif, S; Ashraf, M; Hassan, A. 2007. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. Phytotherapy research 21(1): 17-15.
- Asociación Oficial de Química Analítica. 1990. Métodos oficiales de análisis. Washington DC, USA. 13va edición.
- Aremu, S; Johari, M; Kok, T; Hong, L. 2002. Effects of oil extraction from *Moringa oleifera* seeds on coagulation of turbid water. International journal of environmental studies 59(2):243-254.
- Arnoldsson, E; Bergman, M; Matsinhe, N; Persson, K. 2008. Assessment of drinking water treatment using *Moringa oleifera* natural coagulant. VATTEN 64: 137-150.
- Awad, M; Wang, H; Li, F. 2013. Weaknesses of *Moringa oleifera* use in water treatment. International journal of current research 5(5): 1165-1167.
- Azad, A; Rasul, M; Khan, M; Sharma, S; Islam, R. 2015. Prospect of Moringa seed oil as a sustainable biodiesel fuel in Australia: A review.
- Barrenechea, Ada. 2004. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. In Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. OPS/CEPIS. Lima, Perú.

- Beltrán, J; Sánchez, J; Serrano, A; Peres, J. 2012. Towards overcoming TOC increase in wastewater treated with *Moringa oleifera* seed extract. *Chemical Engineering Journal* 188:40-46.
- Bhuptawat, H; Folkard, G; Chaudhari, S. 2007. Laboratory evaluation of a water-treatment sequence using *Moringa oleifera* seed coagulant. *International Journal of Water* 3(3): 299-315.
- Bratby, John. 2016. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. 3 ed. London, Reino Unido, IWA publishing.
- Broin, M; Santaella, C; Cuine, S; Kokou, K; Peitier, G; Joet, T. 2002. Flocculent activity of a recombinant protein from *Moringa oleifera* Lam. Seeds. *Applied microbiology and biotechnology* 60:114-119.
- Díaz, Y; Tabio, D; Rondón, M; Fernández, E; Muñoz, S; Ameneiros, J; Piloto, R. 2017. Extraction and characterization of *Moringa oleifera* Lam var. Supergenius seed oil from Cuba. *Revista CENIC Ciencias Químicas* 48(1): 17-26.
- Ezeamuzie, I; Ambakederemo, A; Shode, F; Ekwebelem, S. 1996. Antiinflammatory effects of *Moringa oleifera* root extract. *International journal of pharmacognosy* 34(3):207-212.
- Gassenschmidt, U; Jany, K; Tauscher, B; Niebergall, H. 1995. Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. *Biochimica et Biophysica Acta* 1243:477-481.
- Ghebremichael, K; Gunaratna, K; Henriksson, H; Brumer, H; Dalhammar, G. 2005. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Water research* 39: 2338-2344.
- Golestanbagh, M; Parvini, M; Salwani, I. 2015. Studying effect of water quality parameters on coagulation efficiency by *Moringa oleifera* seeds. *Advances in Environmental Technology Journal* 1:41-47.

- Gómez, D; Pita, V; Zumalacárregui, B. Caracterización de aceites de las semillas de *Moringa oleifera* a partir de la extracción por diferentes métodos. Revista Colombiana de Biotecnología 18(2): 106-111.
- Gopalakrishnan, L; Doriya, K; Santhosh, D. 2016. *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. Food science and human wellness 5(2): 49-56.
- Hariz, A; Syamimi, N; Muda, K; Wai, L. 2018. Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: a review. International journal of engineering and technology 7(3.9): 34-37.
- Jadhav M; Mahajan Y. 2012. Study on locally available coagulant (*Moringa oleifera*) for removal of turbidity from water. Journal of Environmental Research and Development 7(1A): 361-367.
- Lea, M. 2014. Bioremediation of turbid surface water using seed extract from the *Moringa oleifera* Lam. (Drumstick) tree. Currents protocols in Microbiology 33(1): 1G.2.1-1G.2.8.
- Leone, A; Spada, A; Battezzati, A; Schiraldi, A; Aristil, J y Bertoli, S. 2016. *Moringa oleifera* seeds and oil: Characteristics and uses for human health. International Journal of Molecular Sciences. 17(2):2141.
- Lou, I; Gong, S; Huang, X; Liu, Y. 2012. Coagulation optimization for low temperature and low turbidity source water using combined coagulants: a case study. Desalination and water treatment 46(1-3): 107-114.
- Mani, S; Jaya, S; Vadivambal, R. 2007. Optimization of solvent extraction of *Moringa* (*Moringa oleifera*) seed kernel oil using response surface methodology. Food and Bioprocess processing 85(4): 328-335.

- Majithiya, H; Gidde, M; Maithiya, A. *Moringa oleifera* – Household alternative coagulant for water treatment. Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology 2(2): 356-363.
- Muyibi, S; Evison, L. 1995. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* sedes. Water resources 29(12): 2689-2695.
- Muyibi, S; Abbas, S; Johari, M; Razi, F. 2003. Enhanced coagulation efficiency of *Moringa oleifera* seeds through selective oil extraction. IIUM Engineering journal 4(1):1-5.
- Ndabigengesere, A; Narasiah, K; Talbot, B. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water research 29(2): 703-710.
- Nkurunziza, T; Nduwayezu, B; Banadda, E; Nhapi, I. 2009. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. Water Science and Technology 59(8): 1551-1558.
- Okuda, T; Baes, A; Nishijima, W; Okada, M. 1999. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. Water research 33(15): 3373-3378.
- Okuda, T; Baes, A; Nishijima, W; Okada, M. 2001. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. Water research 35(2): 405-410.
- Okuda, T; Ali, E. 2019. Application of *Moringa oleifera* plant in water treatment. In Water and wastewater treatment technologies.
- Organización Mundial de la Salud. 2006. Guideline for drinking water quality: first addendum to third edition. Volume 1, Recommendations. 3er ed.
- Pavankumar, A; Kayathri, R; Murugan, N; Zhang, Q; Srivastava, C; Bulone, V; Rajarao, G; Agren, H. 2014.

- Ramalho, C; Andrade, L; Guedes, P; Breitenbach, C; Marangoni, S; Rodrigues, M. 2011. Evaluation of seed coagulant *Moringa oleifera*. Process Biochemistry 46: 498-504.
- Rashid, U; Anwar, F; Moser, B; Knothe, G. 2008. *Moringa oleifera* oil: A possible source of biodiesel. Bioresource Technology 99(17): 8175-8179.
- Ravikumar, K; Sheeja, A. 2012. Water clarification using *Moringa oleifera* seed coagulant. International Conference on Green Technologies (ICGT).
- Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA. Diario Oficial El Peruano. Perú. 24 set. 2010.
- Sandoval, M; Laines, J. 2013. *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. Water, air, soil pollution 211:409-415.
- Santos, A; Argolo, A; Coelho, L; Paiva, P. 2005. Detection of water soluble lectin and antioxidant component from *Moringa oleifera* sedes. Water research 39(6): 975-980.
- Santos, A; da Silva, M; Napoleao, T; Paiva, P; Correia, M. 2009. Lectins: Functions, structure, biological properties and potential applications. Current topics in peptide & protein research 15: 41-62.
- Santos, A; Luz, L; Argolo, A; Teixeira, J. 2009. Isolation of a seed coagulant *Moringa oleifera* lectin. Process Biochemistry 44: 504-508.
- Scaramal, G; Bordini, G; Marquetotti, A; Nishi, L; Cordeiro, K. 2010. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* sedes active component for water treatment. Water, air, soil pollution 211: 409-415.
- Scaramal, G; Guilherme, I; Jurca, V; Abreu, B; Regina, M; Bergamasco, R. 2012. Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. Acta scientiarum Technology 34(3): 289-293.

- Singh, D; Gesare, J; Kaur, H. 2013. Bioprospecting of *Moringa* (Moringaceae): Microbiological perspective. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 1(6):193-215.
- Tsaknis, J; Spiliotis, V; Lalas, S; Gergis, V; Dourtoglou, V. 1999. Quality changes of *Moringa oleifera*, variety Mbololo of Kenya seed oil during frying. *International journal of fats and oils* 50(1): 37-48.
- Tunggolou, J; Payus, C. 2017. *Moringa oleifera* as coagulant used in water purification process for consumption. *Earth science Pakistan* 1(2): 1-3.
- Vargas, L. 2004. Coagulación. In *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida*. OPS/CEPIS. Lima, Perú.
- Vargas, L. 2004. Floculación. In *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida*. OPS/CEPIS. Lima, Perú.
- Warra, A. 2014. A review of *Moringa oleifera* Lam seed oil prospects in personal care formulations. *Journal of pharmaceutics and nanotechnology* 2(3): 31-34.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Resultados del proceso de coagulación- floculación

1. Muestra 20 UNT

Coagulante preparado: Mo-AD (2%)																	
N°	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	6.95	6.74	8.91	7.53	15.9	6.38	6.78	6.54	6.57	3.1	27	25	28	26.67	5.7
2	0.2	4	7.96	7.35	10.2	8.50	17.6	6.47	6.73	6.65	6.62	2.0	28	26	29	27.67	5.5
3	0.5	10	8.15	7.01	10.6	8.59	21.4	6.41	6.62	6.52	6.52	1.6	31	30	32	31.00	3.2
4	1	20	7.81	7.27	11.6	8.89	26.5	6.41	6.65	6.70	6.59	2.4	29	30	26	28.33	7.3
5	2	40	7.05	7.08	10	8.04	21.1	6.42	6.63	6.84	6.63	3.2	28	18	32	26.00	27.7
6	3	60	7.54	7.24	10.7	8.49	20.6	6.43	6.54	6.72	6.56	2.2	30	26	32	29.33	10.4

Coagulante preparado: Mo-AD (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarr a	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	8.36	7.89	7.5	7.92	5.4	6.67	6.47	6.53	6.56	1.6	26	29	32	29.00	10.3
2	0.2	2	6.64	7.09	7.12	6.95	3.9	6.44	6.83	6.51	6.59	3.2	37	31	35	34.33	8.9
3	0.5	5	6.35	7.10	6.82	6.76	5.6	6.54	6.87	6.66	6.69	2.5	51	55	57	54.33	5.6
4	1	10	3.95	5.86	4.43	4.75	20.9	6.44	6.79	6.63	6.62	2.6	75	104	83	87.33	17.2
5	2	20	3.62	3.34	3.17	3.38	6.7	6.83	6.78	6.58	6.73	2.0	176	131	126	144.33	19.1
6	4	40	3.69	6.58	4.22	4.83	31.9	6.50	6.93	6.55	6.66	3.5	408	430	415	417.67	2.7

Coagulante preparado: MosinAc-AD (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV (%)	R1	R2	R3	Prom	CV (%)	R1	R2	R3	Prom	CV (%)
1	0	0	7.23	7.51	8.09	7.61	5.8	6.59	6.69	6.75	6.68	1.2	23	20	22	21.67	7.1
2	0.2	2	7.47	7.91	8.64	8.01	7.4	6.51	6.56	6.83	6.63	2.6	24	23	23	23.33	2.5
3	0.5	5	5.19	5.70	5.27	5.39	5.1	6.54	6.72	6.60	6.62	1.4	22	26	23	23.67	8.8
4	1	10	6.57	6.32	7.57	6.82	9.7	6.71	6.54	6.48	6.58	1.8	23	18	25	22.00	16.4
5	2	20	7.26	7.44	8.60	7.77	9.4	6.65	6.89	6.61	6.72	2.2	23	19	22	21.33	9.8
6	4	40	7.43	7.55	8.67	7.88	8.7	6.74	6.92	6.64	6.77	2.1	27	24	23	24.67	8.4

Coagulante preparado: MosinAc- NaCl (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	6.80	7.50	7.56	7.29	5.8	6.78	6.44	6.77	6.66	2.90	24	15	20	19.67	16.5
2	0.2	2	5.56	4.51	4.48	4.85	12.7	6.84	6.46	6.84	6.71	3.27	30	29	32	30.33	5.0
3	0.5	5	3.71	2.86	2.32	2.96	23.6	6.88	6.96	6.54	6.79	3.28	73	70	78	73.67	5.5
4	1	10	3.50	2.03	2.11	2.55	32.5	6.85	6.75	6.45	6.68	3.11	153	176	180	169.67	8.6
5	2	20	2.85	1.83	2.55	2.41	21.8	6.72	6.48	6.82	6.67	2.62	262	278	202	247.33	16.2
6	4	40	2.75	2.05	2.14	2.31	16.5	6.65	6.60	6.82	6.69	1.72	470	450	408	442.67	7.2

2. Muestra 120 UNT

Coagulante preparado: Mo-AD (Concentración del coagulante: 2%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	20.2	19.7	18.1	19.3	5.7	6.70	6.76	6.65	6.70	0.8	28	27	29	28.00	3.6
2	0.2	4	12.1	12.6	14.6	13.1	10.1	6.81	6.65	6.64	6.70	1.4	25	26	30	27.00	9.8
3	0.5	10	8.70	7.58	9.49	8.59	11.2	6.78	6.72	6.62	6.71	1.2	26	28	29	27.67	5.5
4	1	20	8.40	7.41	10.6	8.80	18.5	6.68	6.64	6.65	6.66	0.3	30	31	25	28.67	11.2
5	1.5	30	12.1	11.2	12.7	12.0	6.3	6.57	6.68	6.83	6.69	1.9	25	26	26	25.67	2.2
6	2	40	14.7	11.4	14.0	13.4	13.0	6.79	6.54	6.58	6.64	2.0	27	28	26	27.00	3.7

Coagulante preparado: Mo-AD (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	20.1	16.8	18.4	18.4	9.0	6.64	6.47	6.91	6.67	3.3	22	27	25	27.33	15.2
2	0.2	2	6.95	5.35	6.36	6.22	13.0	6.63	6.33	6.80	6.59	3.6	41	39	39	40.67	15.8
3	0.5	5	4.59	4.29	4.87	4.58	6.3	6.60	6.45	6.85	6.63	3.0	73	70	65	88.33	9.8
4	1	10	4.24	4.10	4.03	4.12	2.6	6.59	6.50	6.76	6.62	2.0	132	120	135	118.67	4.8
5	2	20	4.01	3.98	3.90	3.96	1.4	6.62	6.49	6.72	6.61	1.7	230	249	232	200.67	4.5
6	4	40	3.75	3.80	3.65	3.73	2.0	6.69	6.53	6.71	6.64	1.5	449	447	433	294.33	20.1

Coagulante preparado: MosinAc-AD (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	15.1	18.5	17.2	16.9	10.1	6.52	6.40	6.57	6.50	1.3	28	25	22	25.00	12
2	0.2	1	10.7	7.75	9.35	9.27	15.9	7.01	6.36	6.50	6.62	5.2	29	23	25	25.67	11.9
3	0.5	2.5	5.66	5.18	6.10	5.65	8.1	6.53	6.36	6.45	6.45	1.3	27	26	22	25.00	10.6
4	1	5	6.18	6.77	6.55	6.50	4.6	6.43	6.47	6.56	6.49	1.0	27	25	22	24.67	10.2
5	2	10	6.39	6.98	6.76	6.71	4.4	6.59	6.63	6.53	6.58	0.8	28	24	21	24.33	14.4
6	4	20	7.33	8.12	9.11	8.19	10.9	6.36	6.95	6.57	6.63	4.5	25	22	23	23.33	6.5

Coagulante preparado: MosinAc- NaCl (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	20.1	18.5	18.6	19.1	4.7	6.77	6.68	6.92	6.79	1.8	17	23	25	21.67	10.2
2	0.2	1	4.9	5.26	4.87	5.01	4.3	6.94	6.81	6.91	6.89	1.0	36	48	38	40.67	13.5
3	0.5	2.5	3.24	3.62	3.96	3.61	10.0	7.01	6.74	6.82	6.86	2.0	84	78	66	76.00	11.8
4	1	5	3.30	3.43	3.86	3.53	8.3	6.92	6.82	6.88	6.87	0.7	125	114	117	118.67	9.5
5	2	10	3.01	3.12	3.49	3.21	25.1	6.84	6.74	6.82	6.80	0.8	200	192	210	200.67	9.8
6	4	20	3.10	3.62	3.45	3.39	7.8	6.72	6.68	6.79	6.73	0.8	325	226	332	294.33	8.6

3. Muestra 500 UNT

Coagulante preparado: Mo-AD (2%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (μS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	54.4	59.1	65.3	59.6	9.2	6.51	6.66	6.45	6.54	1.7	27	24	22	24.33	10.3
2	0.2	4	48	42.8	57.7	49.5	15.3	6.49	6.67	6.47	6.54	1.7	29	24	23	25.33	12.7
3	0.5	10	25.2	22.3	24.1	23.9	6.1	6.55	6.66	6.49	6.57	1.3	27	24	21	24.0	12.5
4	1	20	17.7	14.8	15.9	16.1	9.1	6.57	6.78	6.49	6.61	2.3	28	25	22	25.0	12.0
5	2	40	18.0	15.5	18.2	17.2	8.7	7.01	6.55	6.43	6.66	4.6	29	30	24	27.67	11.6
6	3	60	23.1	24.2	21.7	23.00	5.4	6.84	6.58	6.45	6.62	3.0	22	26	19	22.33	15.7

Coagulante preparado: Mo-AD (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (μS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	50.5	63.3	56.7	56.8	11.3	7.06	6.98	6.85	6.96	1.5	22	20	25	22.33	11.3
2	0.2	2	12.8	13.5	11.9	12.7	6.3	7.07	7.10	6.91	7.03	1.5	43	44	30	39.0	20.0
3	0.5	5	10.2	11.0	9.48	10.2	7.3	7.06	7.02	6.96	7.01	0.7	59	62	50	57	11.0
4	1	10	6.62	7.81	5.65	6.69	16.2	6.89	6.98	7.03	6.97	1.0	167	138	125	143.3	15.0
5	2	20	9.51	10.3	8.67	9.49	8.6	7.05	7.07	6.98	7.03	0.7	186	229	212	209	10.4
6	4	40	10.9	12.4	10.5	11.3	8.9	7.00	7.04	7.08	7.04	0.6	475	490	455	473.33	3.7

Coagulante preparado: MosinAc-AD (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	60.3	42.5	53.1	52.0	17.2	6.43	6.57	6.95	6.65	4.0	21	27	20	22.7	16.7
2	0.2	4	7.37	6.6	7.29	7.05	5.7	6.50	6.63	6.99	6.71	3.8	22	27	21	23.3	13.8
3	0.5	10	11.3	13.5	15.7	13.5	16.3	6.45	6.62	7.01	6.69	4.3	23	28	20	23.7	17.1
4	1	20	32	47.5	48	42.5	21.4	6.38	6.67	6.98	6.68	4.5	24	29	27	26.7	9.4
5	1.5	30	72.2	94.7	79.3	82.1	14.0	6.49	6.55	6.97	6.67	3.9	22	30	22	24.7	18.7
6	2	40	115	123	104	114	8.4	6.52	6.68	6.98	6.73	3.5	24	26	25	25.0	4.0

Coagulante preparado: MosinAc- NaCl (Concentración del coagulante: 1%)																	
Jarra	Dosis (mL)	Dosis (mg/L)	Turbiedad (UNT)					pH					Conductividad eléctrica (µS/m)				
			R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV	R1	R2	R3	Prom	CV
1	0	0	59.2	60.9	55.6	58.6	4.6	6.75	6.46	7.01	6.74	4.1	19	20	32	23.67	30.6
2	0.2	1	8.62	9.12	9.97	9.24	7.4	6.82	6.58	6.93	6.78	2.6	31	35	41	35.67	14.1
3	0.5	2.5	5.76	6.89	6.47	6.37	9.0	6.71	6.41	6.89	6.67	3.6	82	76	90	82.67	8.5
4	1	5	9.65	9.20	11.5	10.1	12.0	6.70	6.64	6.91	6.75	2.1	105	96	109	103.33	6.4
5	2	10	11.4	13.9	13.8	13.0	10.9	6.80	6.78	6.90	6.83	0.9	200	185	176	187.0	6.5
6	4	20	9.64	10.4	9.83	9.94	3.7	6.79	6.52	6.99	6.77	3.5	298	255	269	274	8.0

Anexo 2: Prueba de Levene para igualdad de varianzas de los pH residuales

Hipótesis nula: Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna: Por lo menos una varianza es diferente

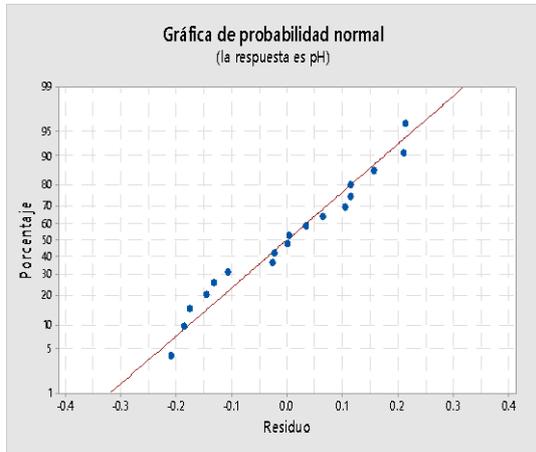
Nivel de significancia: 0.05

Turbiedad Inicial	Coagulante	Estadística de prueba	Valor p
20 UNT	Mo-AD	0.20	0.955
	Mo-NaCl	0.14	0.980
	MosinAc-AD	0.13	0.981
	MosinAc-NaCl	0.06	0.997
120 UNT	Mo-AD	0.46	0.798
	Mo-NaCl	0.39	0.849
	MosinAc-AD	1.08	0.420
	MosinAc-NaCl	0.55	0.739
500 UNT	Mo-AD	0.47	0.793
	Mo-NaCl	0.37	0.862
	MosinAc-AD	0.03	1.00
	MosinAc-NaCl	0.53	0.752

Anexo 3: Normalidad de los residuos de los pH residuales

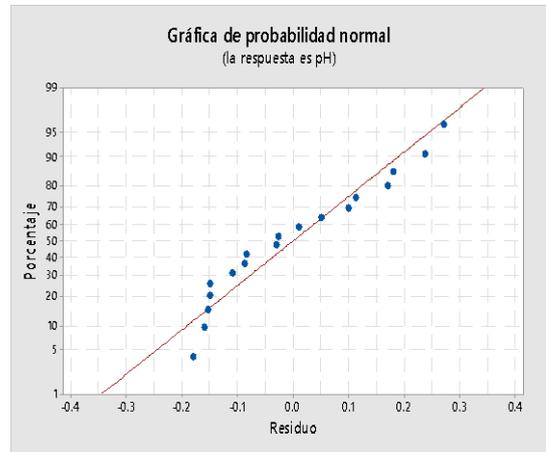
Turbiedad inicial: 20 UNT

Coagulante: Mo-AD



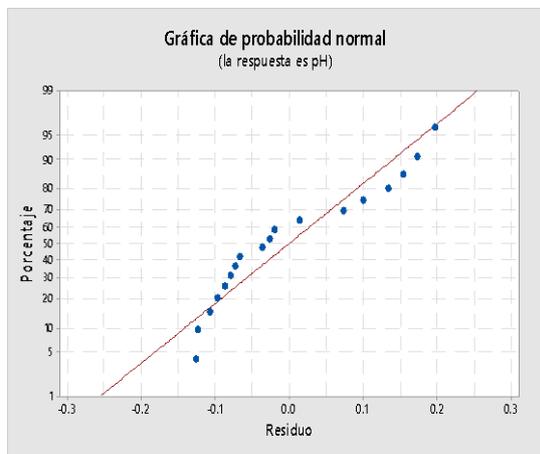
Turbiedad inicial: 20 UNT

Coagulante: Mo-NaCl



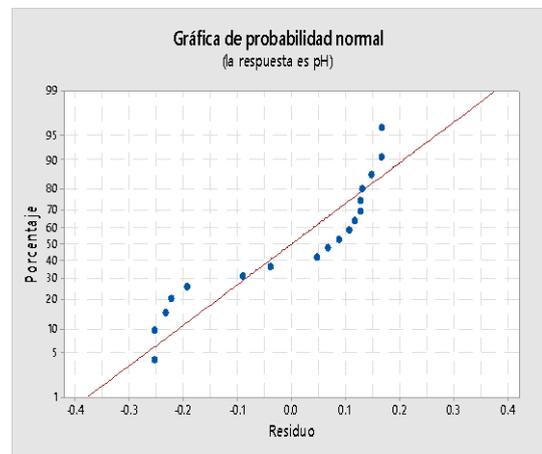
Turbiedad inicial: 20 UNT

Coagulante: MosinAc-AD



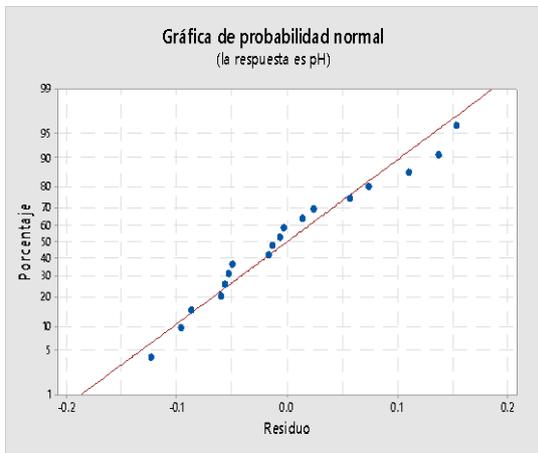
Turbiedad inicial: 20 UNT

Coagulante: MosinAc-NaCl



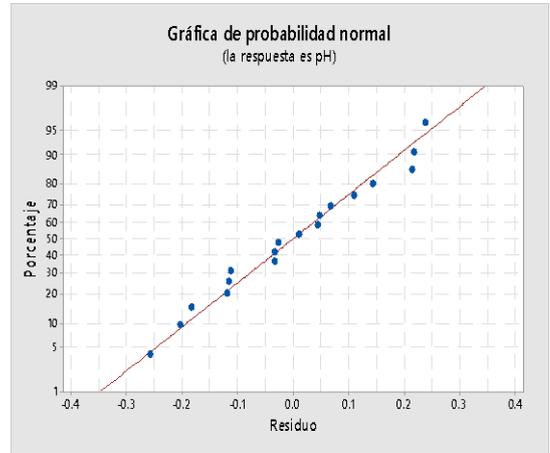
Turbiedad inicial: 120 UNT

Coagulante: Mo-AD



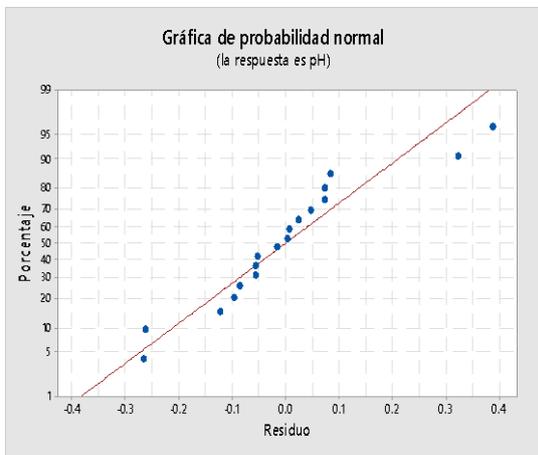
Turbiedad inicial: 120 UNT

Coagulante: Mo-NaCl



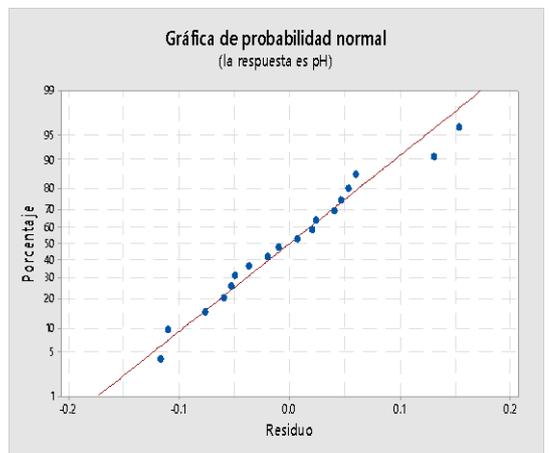
Turbiedad inicial: 120 UNT

Coagulante: MosinAc-AD



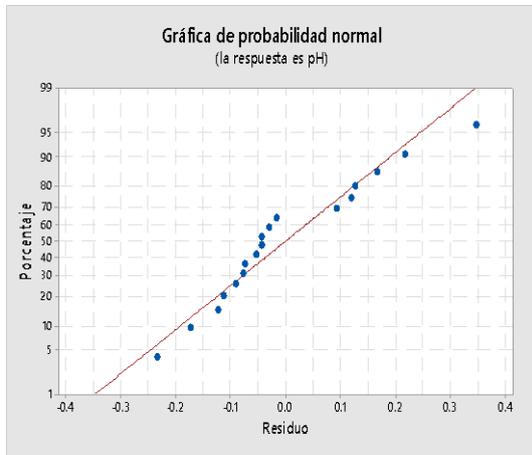
Turbiedad inicial: 120 UNT

Coagulante: MosinAc-NaCl



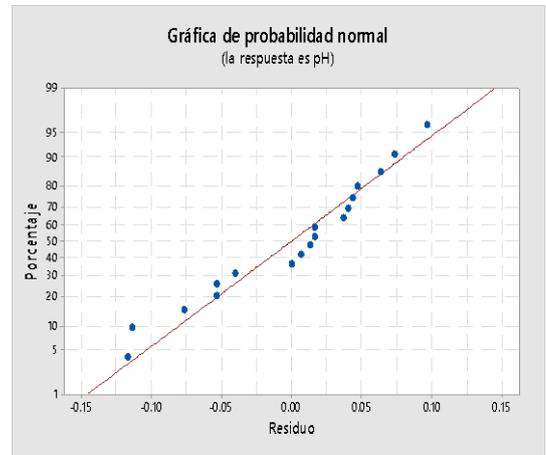
Turbiedad inicial: 500 UNT

Coagulante: Mo-AD



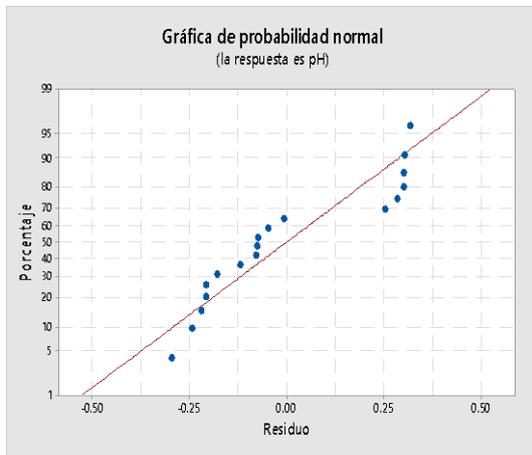
Turbiedad inicial: 500 UNT

Coagulante: Mo-NaCl



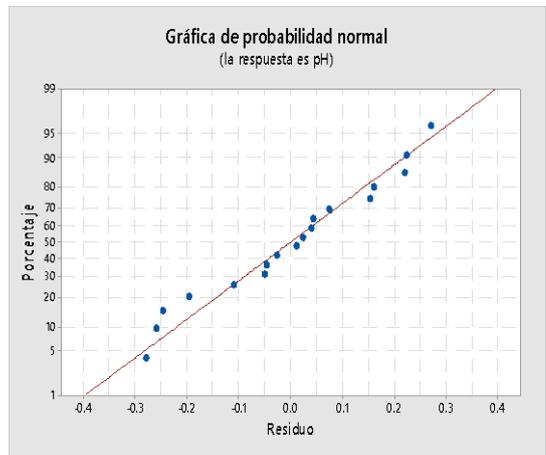
Turbiedad inicial: 500 UNT

Coagulante: MosinAc-AD



Turbiedad inicial: 500 UNT

Coagulante: MosinAc-NaCl



Anexo 4: Análisis de Varianza a los pH residuales

Hipótesis nula: Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna: Por lo menos una media es diferente

Nivel de significancia: 0.05

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
20 UNT	Mo-AD	Entre grupos	0.02507	5	0.005013	0.19	0.961
		Dentro de grupos	0.31773	12	0.026478		
		Total	0.34280	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
20 UNT	Mo-NaCl	Entre grupos	0.06152	5	0.01230	0.40	0.841
		Dentro de grupos	0.37033	12	0.03086		
		Total	0.43185	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
20 UNT	MosinAc-AD	Entre grupos	0.07192	5	0.01438	0.85	0.542
		Dentro de grupos	0.20373	12	0.01698		
		Total	0.27565	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
20 UNT	MosinAc-NaCl	Entre grupos	0.03383	5	0.006766	0.18	0.964
		Dentro de grupos	0.44493	12	0.037078		
		Total	0.47876	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
120 UNT	Mo-AD	Entre grupos	0.01263	5	0.002526	0.28	0.915
		Dentro de grupos	0.10833	12	0.009028		
		Total	0.12096	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
120 UNT	Mo-NaCl	Entre grupos	0.013443	5	0.002686	0.09	0.993
		Dentro de grupos	0.37433	12	0.031194		
		Total	0.38776	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
		Entre grupos	0.08903	5	0.01781	0.47	0.793

120 UNT	MosinAc-AD	Dentro de grupos	0.45660	12	0.03805		
		Total	0.54563	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
120 UNT	MosinAc-NaCl	Entre grupos	0.05396	5	0.010792	1.38	0.300
		Dentro de grupos	0.09400	12	0.007833		
		Total	0.14796	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
500 UNT	Mo-AD	Entre grupos	0.03672	5	0.007343	0.24	0.939
		Dentro de grupos	0.37373	12	0.031144		
		Total	0.41045	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
500 UNT	Mo-NaCl	Entre grupos	0.01723	5	0.003446	0.63	0.684
		Dentro de grupos	0.06613	12	0.005511		
		Total	0.08336	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
500 UNT	MosinAc-AD	Entre grupos	0.01129	5	0.002259	0.03	0.999
		Dentro de grupos	0.86447	12	0.072039		
		Total	0.87576	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
500 UNT	MosinAc-AD	Entre grupos	0.01129	5	0.002259	0.03	0.999
		Dentro de grupos	0.86447	12	0.072039		
		Total	0.87576	17			

Anexo 5: Prueba de Levene para igualdad de varianzas de las conductividades eléctricas

Hipótesis nula: Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna: Por lo menos una varianza es diferente

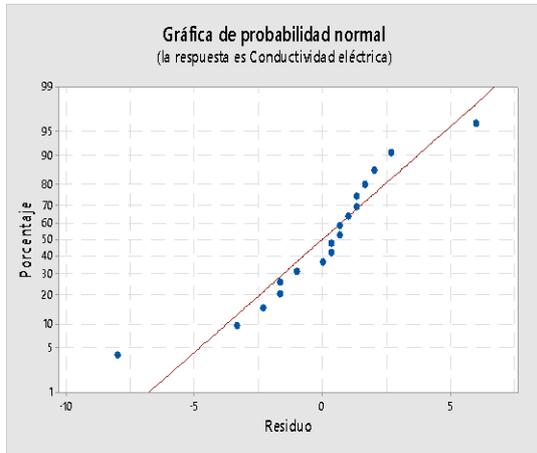
Nivel de significancia: 0.05

Turbiedad Inicial	Coagulante	Estadística de prueba	Valor p
20 UNT	Mo-AD	1.17	0.379
	MosinAc-AD	0.51	0.761
120 UNT	Mo-AD	0.57	0.725
	MosinAc-AD	0.20	0.958
500 UNT	Mo-AD	0.03	0.999
	MosinAc-AD	0.22	0.948

Anexo 6: Normalidad de los residuos de las conductividades eléctricas

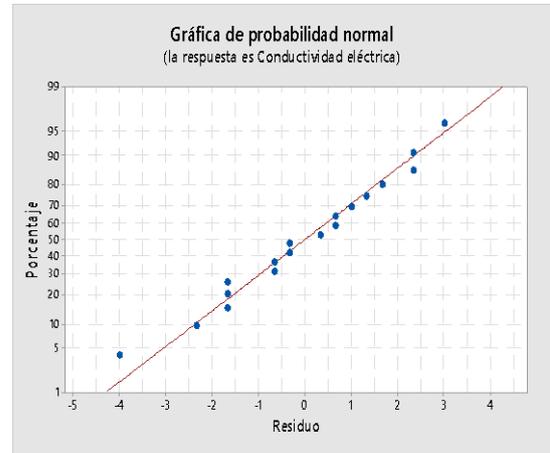
Turbiedad inicial: 20 UNT

Coagulante: Mo-AD



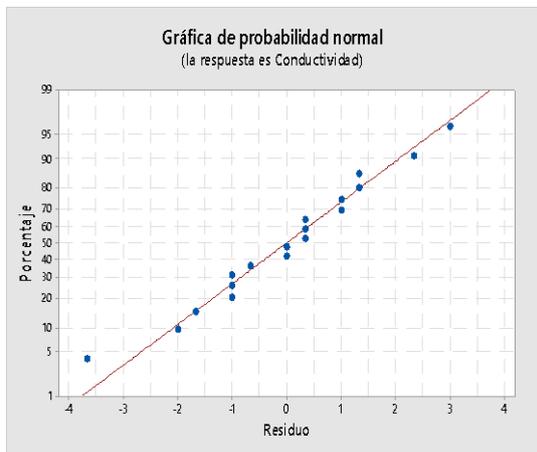
Turbiedad inicial: 20 UNT

Coagulante: MosinAc-AD



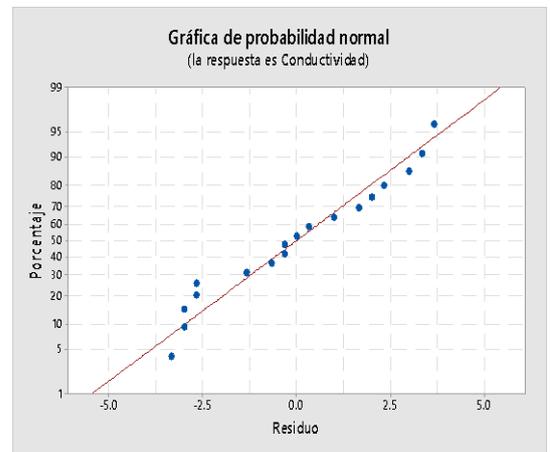
Turbiedad inicial: 120 UNT

Coagulante: Mo-AD



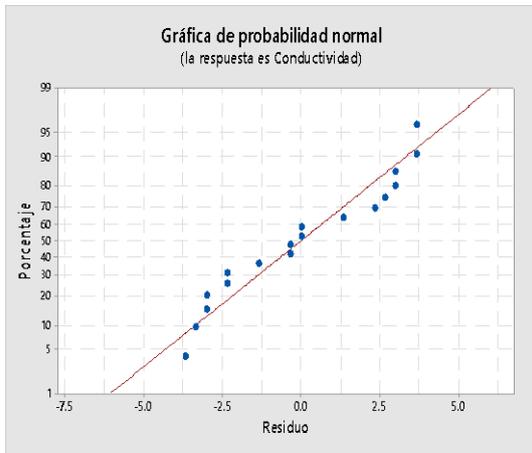
Turbiedad inicial: 120 UNT

Coagulante: MosinAc-AD



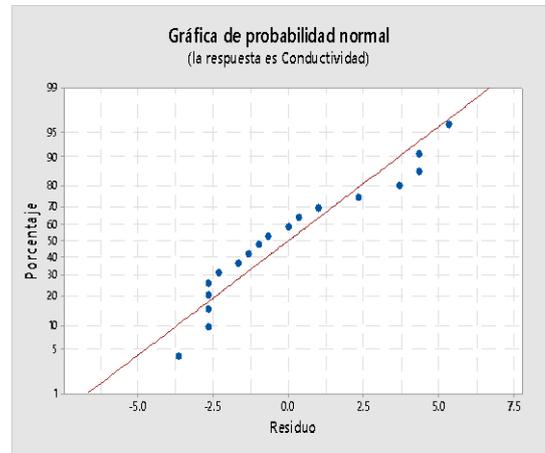
Turbiedad inicial: 500 UNT

Coagulante: Mo-AD



Turbiedad inicial: 500 UNT

Coagulante: MosinAc-AD



Anexo 7: Análisis de Varianza a las conductividades eléctricas

Hipótesis nula: Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna: Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia: 0.05

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
20 UNT	Mo-AD	Entre grupos	49.83	5	9.967	0.84	0.547
		Dentro de grupos	142.67	12	11.889		
		Total	192.50	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
20 UNT	MosinAc-AD	Entre grupos	25.78	5	5.156	1.08	0.419
		Dentro de grupos	57.33	12	4.778		
		Total	83.11	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
120 UNT	Mo-AD	Entre grupos	16.00	5	3.2	0.87	0.527
		Dentro de grupos	44.00	12	3.667		
		Total	60.00	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
120 UNT	MosinAc-AD	Entre grupos	9.333	5	1.867	0.24	0.936
		Dentro de grupos	92.667	12	7.722		
		Total	102.00	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
500 UNT	Mo - AD	Entre grupos	46.44	5	9.289	0.97	0.473
		Dentro de grupos	114.67	12	9.556		
		Total	161.11	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática ajustada	F	Valor p
500 UNT	MosinAc - AD	Entre grupos	30.67	5	6.133	0.53	0.751
		Dentro de grupos	139.33	12	11.611		
		Total	170.00	17			

Turbiedad inicial	Coagulante	Detalle	Suma de cuadrados ajustados	gl	Media cuadrática Ajustada	F	Valor p
		Entre grupos	0.03965	5	0.007930	0.19	0.959

500 UNT	MosinAc- NaCl	Dentro de grupos	0.49280	12	0.041067		
		Total	0.53245	17			

Anexo 8: Ficha Técnica Caolinita



HOJA TÉCNICA

CAOLÍN R-4

Descripción: Caolín R-4 se presenta en forma de polvo de color crema a rojo; es insoluble en agua, ácidos diluidos e hidróxidos alcalinos; tiene gran plasticidad y lubricidad.

Aplicación: Uso en relleno, revestimiento de papel y caucho, cementos, fertilizantes, preparaciones antiaglutinantes, insecticidas, fuente de alúmina, aislantes eléctricos.

Presentación: Sacos de polipropileno de 30kg y big bag de 800kg

ESPECIFICACIONES FÍSICAS		
Descripción	Unidad	Rango
Valor de blancura Y (Minolta CR-400)	---	Max. 20,0
Valor de amarillo b* (Minolta CR-400)	---	Max.36,0
Residuo en tamiz 325 (45um)	%	Max. 2,00
Humedad a 105°C	%	Max.7,00
Gravedad Especifica	---	2,50 - 2,80
Dureza (Mohs)	---	1,50 - 2,50
Densidad aparente sin empacar	g/cm ³	0,40 - 0,55
Densidad aparente empacada	g/cm ³	0,70 - 0,95
Absorción de aceite	g/100g	30,0 - 40,0
Decantación (Cono imhoff)	ml	300 - 400
pH al 20%	---	3,50 - 7,80
Área superficial, BET	m ² /g	12,00 - 20,00
Perdida por Calcinación a 1050°C	%	Max. 17,00

ESPECIFICACIONES QUÍMICAS		
Descripción	Unidad	Rango
Caolinita – Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	%	Min. 35

Última Revisión Enero 2017

Av. San Juan 1611 Urb. Ind. Santa Martha Ate – Lima – Perú
Teléfono (511) 351-1937 / Fax (511) 351-3737

ventas@insumex.com.pe

Los datos presentados corresponden al promedio típico para este producto, estos datos están basados en pruebas efectuadas por Insumex S.A. pero no implican una garantía de uso para un propósito específico.

Anexo 9: Ficha Técnica Agua destilada



Agua Desionizada, Desmineralizada, Blanda,
Osmosis Inversa, Destilada no esteril

FICHA TECNICA DEL AGUA DESTILADA Y/O DESIONIZADA

Nro. Lote: 080119	Fecha de Producción: 08-ENE-19	Fecha de Vencimiento: ENE- 2020
--------------------------	---------------------------------------	--

PRODUCTO: AGUA TRATADA MICROFILTRADO POR OSMOSIS INVERSA Y DESIONIZADORES

RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICOS MEDIDOS EN PLANTA

ANALISIS	RESULTADO
conductividad	< 1 µS/cm
PH	5.5 – 7.5
Solidos Totales	< 0.5 mg/L

RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICOS MEDIDOS POR UN LABORATORIO EXTERNO

ANALISIS	RESULTADO
Aluminio	< 0.01 mg/L
Cloruros	< 0.15 mg/L
Arsenico	< 0.01 mg/L
Bario	< 0.01 mg/L
Silice(SiO2)	< 0.10 mg/L
Berilio	< 0.01 mg/L
Antimonio	< 0.01 mg/L
Arsénico	< 0.01 mg/L
Boro	< 0.01 mg/L
Bario	< 0.01 mg/L
Niquel	< 0.01 mg/L
Densidad	0.9979 g/cm3
Magnesio	< 0.01 mg/L
Manganeso	< 0.01 mg/L
Molibdeno	< 0.01 mg/L
Sodio	< 0.01 mg/L
Níquel	< 0.01 mg/L
Estaño	< 0.01 mg/L
Vanadio	< 0.01 mg/L
Calcio	< 1.00 mg/L
Cadmio	< 0.01 mg/L
Cromo	< 0.01 mg/L
Molibdeno	< 0.01 mg/L
Temperatura	22°C

METODOLOGÍA DE ANALISIS

- Dureza Total : Standard Methods 2340C, titulation EDTA
- Conductividad: Equipo medidor de Conductividad,
- pH: Método Potenciométrico, medidor de pH con electrodo combinado.

ANALIZADO POR:


Damaris Villanueva Morillo
Ingeniera Química
Reg. CIP Nº 194563

ventas@adescoperu.com teléfonos: Nro. Cel. 998452174 RPC.981011591
Urb. Taurija Mz.G Lt.5 Los Olivos (cdra.7 angelica gamarra)

Anexo 10: Análisis Proximal a semillas originales de *Moringa oleifera*



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

N° 010120-2018

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DIRECCIÓN LEGAL : AV. LA MOLINA NRO. SN LIMA - LIMA - LA MOLINA
 RUC : 20147897406 Teléfono : 6147800

PRODUCTO : SEMILLAS TRITURADAS DE MORINGA OLEIFERA

NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : SIN EXTRACCIÓN DE ACEITE
CANTIDAD RECIBIDA : 526,9 g (+envase) de muestra proporcionado por el solicitante
MARCA(S) : S.M
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en bolsa cerrada
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN- 006141-2018
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 07/11/2018
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS
ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	3,0	3,0	3,1
2.- Cenizas Totales (g/100 g de muestra original)	3,3	3,30	3,27
3.- Grasa Cruda (g/100 g de muestra original)	38,0	37,96	37,99
4.- Humedad (g/100 g de muestra original)	6,8	6,80	6,85
5.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	36,7	36,8	36,6
6.- Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	15,2	---	---
7.- Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	549,6	---	---
8.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos	11,1	---	---
9.- % Kcal. proveniente de Grasa	62,2	---	---
10.- % Kcal. proveniente de Proteínas	26,7	---	---

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- NTP 205.003:1980 (Revisada al 2011)
- 2.- AOAC 930.05 Cap. 3, Pág. 1, 20th Edition 2016
- 3.- AOAC 922.06 Cap. 32, Pág. 5, 20th Edition 2016
- 4.- AOAC 925.10 Cap. 32, Pág. 1, 20th Edition 2016
- 5.- AOAC 978.04 Cap. 3, Pág. 28, 20th Edition, 2016
- 6.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
- 7.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 9.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 10.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993

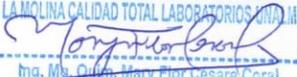
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 07/11/2018 Al 16/11/2018.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA



Dirección Técnica



Ing. Ms. Q. Mary Flor Cesare Coral
DIRECTORA TÉCNICA

La Molina, 16 de Noviembre de 2018

Pág. 1/1

La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794
 E-mail: mktg@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal - la molina calidad total

Anexo 11: Análisis Proximal a semillas de *Moringa oleifera* con extracción de aceite



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

N° 000166-2019

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DIRECCIÓN LEGAL : AV. LA MOLINA NRO. SN LIMA - LIMA - LA MOLINA
 RUC : 20147897406 Teléfono : 6147800
PRODUCTO : SEMILLAS TRITURADAS DE MORINGA OLEIFERA
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : CON REMOCIÓN DE ACEITE
CANTIDAD RECIBIDA : 369 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en bolsa cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN- 007217 -2018
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 28/12/2018
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO / QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	2,1	2,0	2,1
2.- Cenizas Totales (g/100 g de muestra original)	4,8	4,76	4,76
3.- Grasa Cruda (g/100 g de muestra original)	13,9	13,92	13,90
4.- Humedad (g/100 g de muestra original)	6,7	6,74	6,72
5.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	53,6	53,5	53,6
6.- Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	21,0	---	---
7.- Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	423,5	---	---
8.- % Kcal proveniente de Carbohidratos	19,8	---	---
9.- % Kcal proveniente de Grasa	29,5	---	---
10.- % Kcal proveniente de Proteínas	50,6	---	---

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- NTP 205.003:1980 (Revisada al 2011)
- 2.- AOAC 923.03 Cap. 32, Pág. 2, 20th Edition 2016
- 3.- AOAC 922.06 Cap. 32, Pág. 5, 20th Edition 2016
- 4.- AOAC 925.10 Cap. 32, Pág. 1, 20th Edition 2016
- 5.- AOAC 920.87 Cap. 32, Pág. 14, 20th Edition 2016
- 6.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
- 7.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 9.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 10.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 31/12/2018 Al 09/01/2019.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM

La Molina, 9 de Enero de 2019

Mary Flor Césare Coral
 Ing. M. Q. Mary Flor Césare Coral
 DIRECTORA TÉCNICA

Av. La Molina 1257 (frente a la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Telf.: (511) 6147800 C.I.P. N° 635 - 3492507 Fax: (511) 3495794
 E-mail: mkt@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal - la molina calidad tot

Anexo 12: Fotos

Agua sintética 20 UNT – Coagulante Mo-AD



Agua sintética 20 UNT – Coagulante Mo-NaCl



Agua sintética 20 UNT – Coagulante MosinAc-AD



Agua sintética 20 UNT – Coagulante MosinAc-NaCl



Agua sintética 120 UNT – Coagulante Mo-AD



Agua sintética 120 UNT – Coagulante Mo-NaCl



Agua sintética 120 UNT – Coagulante MosinAc-AD



Agua sintética 120 UNT – Coagulante MosinAc-NaCl



Agua sintética 500 UNT – Coagulante Mo-AD



Agua sintética 500 UNT – Coagulante Mo-NaCl



Agua sintética 500 UNT – Coagulante MosinAc-AD



Agua sintética 500 UNT – Coagulante MosinAc-NaCl

