



UNIVERSIDAD DE LAMBAYEQUE
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

EFFECTO COAGULANTE DE LA SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*) PARA CLARIFICAR AGUA DEL CANAL MONSEFÚ, CENTRO POBLADO CALLANCA, DISTRITO MONSEFÚ, 2019.

PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

Autor:

CAMPOS CASTRO HUGO SANTIAGO

Asesor (a):

Mg. Betty Esperanza Flores Mino

Línea de Investigación:

Calidad ambiental y Biotecnología

Chiclayo, Perú

2020

**EFFECTO COAGULANTE DE LA SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*) PARA
CLARIFICAR AGUA DEL CANAL MONSEFÚ, CENTRO POBLADO CALLANCA,
DISTRITO MONSEFÚ, 2019.**

FIRMA DEL ASESOR Y JURADO DE TESIS

Mg. Betty Esperanza Flores Mino
ASESOR

Mg. Enrique Santos Nauca Torres
PRESIDENTE

Ing. Jorge Tomás Cumpa Vásquez
SECRETARIO

Mg. Betty Esperanza Flores Mino
VOCAL

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a Dios, quien me dio esa fuerza espiritual para encaminarme por la senda del estudio; a mis padres, hermanos y amigos más cercanos por el apoyo y la confianza constante que siempre me dan para realizar las metas trazadas.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios por permitirme lograr uno de mis objetivos propuestos, a mis docentes por inculcarme los conocimientos durante todos los años de estudio, a mis padres, hermanos y sobrinos, por ser el motivo de seguir adelante ante cualquier adversidad y a mis amigos más cercanos por apoyarme siempre en la culminación de mis estudios.

Santiago

RESUMEN

La erosión del suelo de las cuencas hidrográficas, el arrojado de residuos sólidos y el vertimiento de aguas residuales en fuentes superficiales de agua, genera un nivel considerable de turbidez, esto impide el consumo o utilización por las poblaciones de zonas rurales y es necesario darle un tratamiento previo. Actualmente tratan el agua agregando compuestos químicos para la remoción de turbidez, como el sulfato de aluminio, pero este compuesto está asociado con la enfermedad de Alzheimer.

El trabajo de investigación tuvo como objetivo principal evaluar el efecto coagulante de la semilla de Moringa (*Moringa oleífera*) para clarificar agua del Canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú, 2019, para lo cual se tomaron muestras de agua del canal mencionado, se hizo análisis fisicoquímico obteniendo una turbidez inicial de 413 NTU, pH de 8 y conductividad de 818 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posterior a esto se aplicó 3 dosis de polvo de semilla de Moringa (0,2; 0,4 y 0,6 g) como coagulante natural, para tres alícuotas de 500 ml de muestra de agua, con una agitación rápida de 5 minutos y una agitación lenta de 20 minutos.

Los resultados fueron que para 0,2 g se redujo de 413 NTU a 48,1 NTU, para 0,4 g se redujo de 413 NTU a 46,5 NTU y para 0,6 g se redujo de 413 NTU a 54,8 NTU.

Al término del experimento se concluyó que el mejor porcentaje de eficiencia con un 88,74 % se obtuvo con una dosis de 0,4 g de polvo semilla de Moringa.

Palabras clave: Coagulante natural, semilla de Moringa, turbidez, eficiencia.

ABSTRACT

The erosion of the soil of the river basins, the dumping of solid waste and the dumping of wastewater in surface water sources, generates a considerable level of turbidity, this prevents consumption or use by the populations of rural areas and it is necessary to give previous treatment. They currently treat water by adding chemical compounds for turbidity removal, such as aluminum sulfate, but this compound is associated with Alzheimer's disease.

The main objective of the research was to evaluate the coagulant effect of the Moringa (*Moringa oleifera*) seed to clarify water from the Monsefú Canal, Callanca populated center, Monsefú district, 2019, for which water samples were taken. In said channel and physicochemical analysis was performed in the turbidity parameters with a value of 413 NTU, pH of 8 and conductivity of 818 $\mu\text{S} / \text{cm}$, after this 3 doses of Moringa seed powder (0.2; 0.4 and 0.6 g) were applied as natural coagulant, for three 500 ml aliquots of water sample, with a rapid stirring of 5 minutes and a slow stirring of 20 minutes.

The results were that for 0.2 g it was reduced from 413 NTU to 48.1 NTU, for 0.4 g it was reduced from 413 NTU to 46.5 NTU and for 0.6 g it was reduced from 413 NTU to 54.8 NTU.

At the end of the experiment it was concluded that the best percentage of efficiency with 88.74% was obtained with a dose of 0.4 g of Moringa seed powder.

Keywords: Natural coagulant, Moringa seed, turbidity, efficiency.

Índice general

| | |
|---|----|
| RESUMEN | V |
| ABSTRACT..... | VI |
| I. Introducción..... | 1 |
| II. Marco teórico..... | 4 |
| 2.1. Antecedentes bibliográficos..... | 4 |
| 2.1.1. Internacional..... | 4 |
| 2.1.2. Nacionales..... | 5 |
| 2.2. Bases teóricas | 6 |
| 2.2.1. Agua..... | 6 |
| 2.2.1.1. Características físicas..... | 6 |
| 2.2.1.1.1. Temperatura..... | 6 |
| 2.2.1.1.2. Color..... | 7 |
| 2.2.1.1.3. Olor y sabor..... | 7 |
| 2.2.1.1.4. Turbidez..... | 7 |
| 2.2.1.1.5. Conductividad..... | 7 |
| 2.2.1.1.6. Sólidos..... | 8 |
| 2.2.1.2. Características químicas..... | 8 |
| 2.2.1.2.1. pH..... | 8 |
| 2.2.1.2.2. Dureza..... | 8 |
| 2.2.1.2.3. Alcalinidad..... | 8 |
| 2.2.2. Moringa oleífera..... | 8 |
| 2.2.2.1. Caracterización de las semillas de Moringa oleífera..... | 9 |
| 2.2.2.2. Utilización de las semillas de Moringa oleífera en el tratamiento del agua..... | 9 |
| 2.2.3. Partículas en suspensión..... | 10 |
| 2.2.3.1. Tamaño de las partículas en suspensión..... | 10 |
| 2.2.3.2. Afinidad de las partículas coloidales por el agua..... | 11 |
| 2.2.3.3. Carga eléctrica y doble capa..... | 11 |
| 2.2.3.4. Factores de estabilidad e inestabilidad..... | 12 |
| 2.2.3.4.1. Fuerzas de atracción de Van der Waals..... | 12 |
| 2.2.3.4.2. Fuerzas de repulsión electrostáticas..... | 12 |
| 2.2.4. Coagulación..... | 12 |
| 2.2.4.1. Mecanismo de coagulación que emplea la semilla de Moringa: absorción y neutralización de cargas..... | 13 |
| 2.2.4.2. Factores que influyen en la coagulación..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.2.4.2.1. Influencia del pH..... | 14 |
| 2.2.4.2.2. Influencia de las sales disueltas. | 15 |
| 2.2.4.2.3. Influencia de la temperatura del agua. | 15 |
| 2.2.4.2.4. Influencia de la dosis del coagulante. | 15 |
| 2.2.4.2.5. Influencia de mezcla. | 15 |
| 2.2.4.2.6. Influencia de la turbidez..... | 16 |
| 2.2.5. Floculación..... | 16 |
| 2.2.5.1. Tipos de floculación. | 17 |
| 2.2.5.1.1. Floculación pericinetica. | 17 |
| 2.2.5.1.2. Floculación ortocinetica..... | 17 |
| 2.2.5.1.3. Parámetros de la floculación. | 17 |
| 2.2.5.2. Floculantes..... | 18 |
| 2.2.5.2.1. Floculantes minerales..... | 18 |
| 2.2.5.2.2. Floculantes orgánicos naturales. | 18 |
| 2.2.5.2.3. Floculantes orgánicos de síntesis. | 18 |
| 2.2.6. Sedimentación..... | 18 |
| 2.3. Definición de términos básicos..... | 18 |
| 2.4. Hipótesis..... | 19 |
| III. Materiales y métodos..... | 20 |
| 3.1. Variables – operacionalización..... | 20 |
| 3.2. Tipo de estudio y diseño de investigación..... | 22 |
| 3.3. Población y muestra del estudio..... | 22 |
| 3.4. Instrumentos y materiales..... | 22 |
| 3.5. Metodología..... | 23 |
| 3.6. Plan de procesamiento para análisis de datos. | 24 |
| IV. Resultados..... | 25 |
| V. Discusión..... | 32 |
| VI. Conclusiones..... | 34 |
| VII. Recomendaciones..... | 35 |
| VIII. Referencias bibliográficas..... | 36 |
| IX. Anexos..... | 39 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Tiempos de decantación de las diferentes partículas en función de: sus dimensiones; densidad y de la temperatura del agua. | 11 |
| Tabla 2. Operacionalización de variables. | 21 |
| Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua del canal Monsefú..... | 25 |
| Tabla 4. Dosis de coagulante natural (semilla de Moringa) aplicadas a las muestras de agua. | 25 |
| Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos del agua del canal Monsefú tratadas con coagulante natural (semilla de Moringa). | 26 |
| Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos del agua antes y después de ser tratadas con coagulante natural (semilla de Moringa). | 27 |
| Tabla 7. Porcentaje de remoción de turbidez con coagulante natural (semilla de Moringa)... | 30 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Doble capa de una partícula coloidal..... | 12 |
| Figura 2. Proceso de coagulación. | 13 |
| Figura 3. Reestabilización de la partícula. | 14 |
| Figura 4. Floculación. | 17 |
| Figura 5. Diseño experimental de estímulo creciente..... | 22 |
| Figura 6. Turbidez post tratamiento..... | 28 |
| Figura 7. pH post tratamiento. | 28 |
| Figura 8. Conductividad post tratamiento..... | 29 |
| Figura 9. Porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez según la dosis de coagulante natural (semilla de Moringa oleífera)..... | 30 |

I. Introducción

El agua es un recurso natural vital para preservar la vida en el planeta, si bien sabemos las fuentes superficiales de agua (ríos, canales, lagunas, lagos, etc.) son la forma más accesible de abastecerse de este recurso, estas están siendo deterioradas por el incremento de la erosión del suelo por la degradación de las cuencas hidrográficas, lo que genera el arrastre de partículas orgánicas y minerales por la fuerza del agua, además del arrojado de residuos sólidos o el vertimiento de aguas residuales a estas fuentes por parte de poblaciones, esto genera que el agua que discurre por las fuentes mencionadas, tome un nivel considerable de turbidez, lo que da paso a un indicio de contaminación, esto impide el consumo o utilización directa del agua, y es necesario darle un tratamiento previo, sin embargo en el caso de las poblaciones de zonas rurales consumen el agua recolectada de fuentes superficiales sin ningún tratamiento previo.

Por otro lado hay que agregar la inexistente cobertura de agua de potable en zonas rurales genera que estas poblaciones se abastezcan de fuentes superficiales, este es el caso de las pequeñas poblaciones que se ubican a los márgenes del canal Monsefú del centro poblado Callanca, quienes se abastecen de esta fuente durante todo el año, sin embargo, la turbidez del agua es uno de los problemas principales, ya que este aumenta en épocas de lluvia, entre los meses de enero y abril donde es casi imposible ser consumida o utilizada directamente el agua que discurre por dicho canal.

Actualmente se utilizan técnicas que permiten tratar el agua para consumo humano, estas son un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, dentro de los procesos químicos existe la etapa llamada coagulación – floculación (Salamanca, 2016), dentro de esta etapa es común agregar compuestos químicos para la remoción de turbidez, uno de los más utilizados es el sulfato de aluminio, a pesar de ser eficaz para clarificar agua Costa, et al (2008, citado por Aguirre, Piraneque, y Cuz, 2018), afirma que este compuesto está asociado con la enfermedad de Alzheimer. Por otro lado, Miller, et al (2008, citado por Aguirre, Piraneque, y Cuz, 2018), nos dice que mayores concentraciones a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de aluminio en el agua la vuelve tóxica, y estas ya no pueden ser utilizadas. Estas desventajas han sido demostradas para otros polímeros artificiales utilizados en esta etapa. Por otro lado, y en relación con el ambiente, según Flaton (2001, citado por Meza et al, 2018), el sulfato de aluminio se acumula en el agua de una manera residual, permaneciendo así en el ambiente, así mismo Melo (2017), menciona que esta sustancia es fácil de asimilar por seres vivos, afectando principalmente a los que pertenecen a los medios acuáticos.

Teniendo en cuenta que la turbidez del agua es un problema por el cual las personas que viven en zonas rurales les impide consumir un agua de calidad y que estas no cuentan con un método de fácil acceso para solucionar dicho problema, este proyecto propone un coagulador natural que permite remover la turbidez del agua en cierto porcentaje, que puede ser utilizado como un tratamiento primario. Para este fin se utilizó las semillas de *Moringa oleifera*, porque según Villarreal y Ortega (2014), estas semillas tienen propiedades coaguladoras para clarificar distintos tipos de agua, a diferentes valores de turbidez, lo que se puede utilizar con fines doméstico, determinando este método de bajo costo y de fácil manipulación. Con todo esto se podría mejorar la calidad de vida en comunidades rurales del departamento e incluso del país. La remoción de turbidez se da por determinadas proteínas floculantes catiónicas divalentes que contiene las semillas de Moringa, estas proteínas tienen un mecanismo de coagulación de adsorción y neutralización de las cargas coloidales, lo que avala su uso para un tratamiento primario en la potabilización del agua.

Determinando la problemática de esta investigación, esta tuvo como formulación del problema la siguiente interrogante ¿Cuál es el efecto coagulante de la semilla de Moringa (*Moringa oleifera*) para clarificar agua del canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú, 2019?, respondiendo a dicha interrogante se planteó como hipótesis que el efecto coagulante de la semilla de Moringa (*Moringa oleifera*) será eficiente para clarificar agua del Canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú, 2019.

Para resolver la interrogante antes mencionada y afirmar la hipótesis planteada esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar el efecto coagulante de la semilla de Moringa (*Moringa oleifera*) para clarificar agua del Canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú, 2019. Así mismo, se planteó cuatro objetivos específicos, los cuales fueron los siguientes:

- Identificar los parámetros fisicoquímicos del agua del canal de Monsefú, antes de aplicar el coagulante natural (semilla de Moringa).
- Aplicar el coagulante natural (semilla de Moringa) a las muestras del agua del canal de Monsefú para la remoción de turbidez.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de las aguas del canal de Monsefú después de aplicar el coagulante natural (semilla de Moringa).
- Comparar los parámetros fisicoquímicos del agua del canal de Monsefú antes y después del uso del coagulante natural (semilla de Moringa).

Justificando la importancia de esta investigación se debió a la carencia del servicio de agua potable en zonas rurales, como el caso de las poblaciones ubicadas a los márgenes del

canal Monsefú en el centro poblado de Callanca, agregándole el incremento de turbidez en ciertas épocas del año, lo que impide poder aprovechar el agua. Conllevó a buscar soluciones en beneficio de estas poblaciones, si bien es cierto que existen diversos métodos para tratar el agua, la desventaja de estas es que son muy costosas y complicados para estas poblaciones, además de que estos métodos utilizan compuestos químicos poco amigables con el ambiente y la salud humana ya que generan impactos negativos en ellos.

Es por ello que surgió la necesidad de buscar un método de remover turbidez de aguas superficiales en zonas rurales y he aquí la importancia de este estudio de proponer un método fácil, económicamente factible, ya que es sencillo de acceder a él sin gastar dinero ni tiempo y es amigable con el ambiente, porque no genera impactos negativos sobre este ni la salud de la persona y que en cierto grado puede permitir la mejora de calidad de vida para estas poblaciones rurales escasas de agua saludable. Se utilizaron las semillas de *Moringa oleifera* como coagulador natural debido a que, en muchos estudios similares a este, han demostrado un alto porcentaje de eficiencia para clarificar aguas superficiales, comparado con un coagulante químico.

Además, hay que agregar que árbol se adapta a climas cálidos como el que se tiene en el departamento Lambayeque. Por último, este estudio tuvo la finalidad de brindar una forma innovadora, eficiente y amigable con el ambiente, además de ser económica en su obtención y aplicación, para la mejora de la calidad de vida de las poblaciones de zonas rurales.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes bibliográficos

2.1.1. Internacional.

Para **Feria, Bermúdez y Estrada (2014)**, en su estudio de investigación titulado Eficiencia de la semilla *Moringa oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú, tuvieron como objetivo principal evaluar la eficiencia de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural y sus efectos sobre el pH y la alcalinidad. Para el desarrollo de su objetivo, recolectaron ocho muestras de agua del río mencionado a través de muestreos simples. La obtención del coagulante natural se obtuvo separando la cascara de las semillas en sí, posterior a esto lo pusieron a secar, lo trituraron y tamizaron el polvo obtenido de estas semillas, este polvo fue llevado a un proceso de desengrasado utilizando un equipo de extracción Soxhlet. La dosificación del coagulante natural fue en un rango desde 2,5 mg/l hasta 30,0 mg/l, al polvo obtenido se le adicionó una solución salina y se aplicó a las muestras de agua. Como resultado final del tratamiento, obtuvieron altas eficiencias de remoción de turbidez, mayor al 90% de eficiencia, logrando estos porcentajes con dosis entre 4,5 mg/l y 17,5 mg/l de coagulante natural.

Para **Tumbaco y Acebo (2018)**, en su trabajo de titulación Eficiencia de Biocoagulante a base de semilla de *Moringa oleífera* para aplicación de tratamiento de agua como fuente de captación el río Guayas, investigaron la afectividad del extracto de semilla de *Moringa oleífera* para el tratamiento de agua, para este estudio se tuvo como objetivo principal determinar la eficiencia del biocoagulante a base de semilla de *Moringa oleífera* para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación el Río Guayas, a las aguas del río mencionado se le hizo análisis fisicoquímicos de los parámetros de Turbidez, color y pH, antes y después del tratamiento, para determinar la efectividad del extracto de la semilla de *Moringa oleífera* sobre la reducción en aguas altamente turbias. La turbidez inicial de la muestra fue de 1820 NTU y color un valor de 550 de Pt/Co, a esta se le agregaron dosis de biocoagulante más NaCl al 1M de 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,7 - 0,8 - 0,9 ml, a estas se les dejo sedimentar por 5 minutos. Los mejores resultados que se obtuvieron fueron que para la dosis de 0,5 ml (100% de eficiencia) y 0,7 ml (92,91% de eficiencia) del biocoagulante, reduciendo la turbidez de 1820 a 0 NTU para la primera dosis y de 1820 a 15 NTU para la segunda dosis. Al final del estudio concluyeron que el biocogulante de *Moringa oleífera* tuvo efectividad en aguas turbias, pero tuvo un mejor comportamiento al agregarle una solución salina (NaCl 1M), ya que de ese modo existe una mayor adherencia con las partículas presentes en el agua.

Según **Acevedo (2019)**, en su trabajo de investigación titulado Uso de Semillas de Moringa (*Moringa olífera*) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río Negro, río De Oro y quebrada Floridablanca, Santander, propuso un tratamiento primario para potabilizar agua utilizando las semillas de *Moringa oleífera*, como floculante natural en reemplazo del sulfato de aluminio que normalmente se utiliza para tal fin. El estudio tuvo como objetivo principal analizar las propiedades como floculante de la semilla de *Moringa oleífera* (Teberinto), a diferentes concentraciones sobre aguas crudas de río de Oro, río Negro y quebrada Floridablanca. A las muestras de agua se les hizo análisis físico – químicos y microbiológicos. Una vez realizada el análisis procedió a evaluar el porcentaje de efectividad de la semilla de Moringa utilizada como coagulante natural, para ello se realizó un análisis posterior al experimento. Durante el desarrollo del estudio utilizo el método de prueba de jarras, con variaciones en los tiempos, diferentes a los que se hace cuando se usa el sulfato de aluminio. Las dosis aplicadas fueron distintas en un rango de entre 3,5 mg/L y 170 mg/L, todos ellos tuvieron altos porcentajes de remoción de turbidez muy eficientes, pudiendo llegar a más de 90% en ciertos casos. Al final del estudio el autor concluyó que las proteínas catiónicas presentes en las semillas de Moringa, responsables de remover turbidez en el agua, pueden ser utilizadas junto al sulfatos de aluminio, hasta que este se reemplazado en un 100% por el floculante natural en un futuro.

2.1.2. Nacionales.

Para **Bravo y Gutiérrez (2016)**, desarrollaron la investigación titulada Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara), teniendo como principal objetivo evaluar la utilización de la goma extraída de las semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara) como un método de remoción de sólidos suspendidos totales y materia orgánica biodegradable en aguas del río Pollo (Otuzco, La libertad), el coagulante se evaluó en dos concentraciones (2000 y 3000 ppm), a una velocidad rápida (200 y 300 rpm) y velocidad lenta (30 y 45 rpm), los parámetros que tuvieron en cuenta fueron turbidez, DBO, DQO y sólidos suspendidos totales. Al culminar, los resultados demostraron eficiencia de la goma extraída de las semillas de Tara, para remover valores de turbidez inicial de 42,6 NTU hasta mínimo de 8,92 NTU. La concentración óptima del coagulador fue de 3000 ppm a una velocidad de agitación de 200 rpm por 1 minuto y medio; y velocidad de agitación lenta de 45 rpm por 25 minutos, los porcentajes de remoción para estas condiciones fueron de hasta 79.06 %.

Para **Vela (2016)**, en su trabajo de investigación titulado Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural *Moringa oleífera* en agua obtenidas del río Alto Chicama, puente

Ingón, Trujillo 2016, tuvo como objetivo principal disminuir la turbiedad utilizando el coagulante natural *Moringa oleífera* en las aguas del río Alto Chicama, puente Ingón., las muestras de aguas extraídas del río mencionado tuvieron una turbidez inicial de 297 NTU, a estas se le aplicó cuatro dosis distintas (15, 18, 20 y 25 ml) a cuatro velocidades de agitación (200 rpm (2') con 60 rpm (15') - 300 rpm (2') con 80 rpm (15') - 200 rpm (15') con 80 rpm (2') - 300 rpm (15') con 60 rpm (2')). Al término de los ensayos se obtuvo que el coagulante natural utilizado si disminuyo la turbidez del agua del río, siendo la mejor dosis 20 mL y la mejor velocidad de agitación de 300 rpm y 80 rpm por 2 y 15 minutos respectivamente, alcanzando un pico de eficiencia de 93,10% de disminución en turbidez. El culminar su estudio concluyo que se disminuyó la turbidez con la utilización del coagulante natural *Moringa oleífera* en las aguas turbias del río Alto Chicama, los resultados que obtuvo lo llevaron a comprobar la eficiencia del coagulante natural, sin la necesidad de adquirir cantidades considerables de ese recurso y que obtuvo la mayor disminución fue de 93,10% y la menor fue de 69,16% con valores de 20,50 NTU y 91,60 NTU respectivamente. Porcentajes considerables teniendo en cuentas que la turbidez inicial fue un valor de 297 NTU.

Para **Sáenz (2015)**, en su trabajo de investigación Utilización de la semilla natural *Moringa oleífera* como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz, provincia de Huaylas, Ancash, utilizó semilla de *Moringa oleífera* como ayudante de reducción de turbidez en agua para consumo humano. Este tuvo como objetivo principal evaluar la efectividad del extracto de la semilla *Moringa oleífera* como coagulante natural, en la planta potabilizadora de agua potable de la ciudad de Caraz. Las muestras de agua fueron caracterizadas y obtuvo una turbidez de 30 UNT y un pH 7.6. Este utilizó extracto de la semilla de Moringa como coagulante primario y como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio. Los resultados mostraron que semilla *M. oleífera* como coagulante natural primario resulto ser muy eficiente, logrando reducir la turbiedad de 30 NTU a 2 NTU. La utilización de esta semilla como ayudante primario resultó eficiente, porque logró reducir la dosis de sulfato de aluminio de 20 mg/l a 18 mg/l y obtuvo mejoras en la calidad del agua, sin embargo, el sulfato de aluminio resulto ser más eficiente en cuanto al tiempo de sedimentación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua.

2.2.1.1. Características físicas.

2.2.1.1.1. Temperatura.

Este parámetro es muy importante, ya que influye en las reacciones químicas que se puedan producir dentro del agua. Además de indicar como se encuentra la calidad del agua,

este puede influir en el comportamiento de otros parámetros de calidad es este recurso hídrico, como el pH, conductividad eléctrica y otros indicadores fisicoquímicos. (Espinoza, Castillo y Rovira, 2014).

2.2.1.1.2. Color.

El color en el agua es consecuencia de la presencia en solución de distintas sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. El término color define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbidez. El término “color aparente” engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla.

2.2.1.1.3. Olor y sabor.

Sabemos que hay cuatro verdaderas sensaciones de sabor o gusto: agrio, dulce, salado y amargo. Aquellas sensaciones que, comúnmente, se atribuyen al sentido del gusto, son realmente olores, aunque la sensación no se perciba hasta que el material se lleve a la boca. El agua pura es inodora, los olores se dan en las aguas debido a la existencia de distintas sustancias, generalmente orgánicas, aunque pocas veces generan olores ciertas sustancias inorgánicas, como el sulfuro de hidrógeno.

2.2.1.1.4. Turbidez.

La turbidez en el agua se debe a la existencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica en tamaños muy finos. Esta propiedad del agua es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se esparzan y se absorban, en vez de que se transmitan sin alterarse a través de una muestra. No se debe confundir la turbiedad con la concentración en peso de los sólidos en suspensión, pues el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas, son factores que también afectan la dispersión de la luz.

Para determinar la turbidez se utiliza un turbidímetro (nefelómetro), este instrumento ofrece la lectura directa de turbiedad en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

2.2.1.1.5. Conductividad.

La conductividad es una expresión numérica de la facultad de una solución para conducir corriente eléctrica. Esta característica depende de la existencia de iones y de la cantidad total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición.

El agua pura tiene una mínima conductividad, por lo que la medición de este parámetro de un agua nos brinda una noción de la existencia de sólidos disueltos en la misma.

Esta propiedad del agua, indica la presencia de sales en la solución, lo que incrementa la capacidad de transferir una corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, manifestadas en micro Siemens/l ($\mu\text{S/l}$) (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013).

2.2.1.1.6. Sólidos.

Los sólidos pueden estar disueltos o suspendidos en el agua, estos pueden influir de manera negativa en la calidad del agua. Los sólidos podríamos definirlo como la materias o residuo que permanece después de la evaporación o secado del agua. Así mismo la presencia de estos sólidos genera la turbidez del agua. Dentro de estos incluimos los sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos y coloidales. (Duarte, 2019).

2.2.1.2. Características químicas.

2.2.1.2.1. pH.

El pH es la estimación que establece si una sustancia es ácida, neutra o alcalina, cuantificando el número de iones hidrogeno presentes. Se calcula en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores inferiores a 7 indican que una sustancia es ácida y los valores superiores a 7 indican que es alcalina.

2.2.1.2.2. Dureza.

La dureza del agua está dada cuando se encuentran disueltos iones de magnesio y calcio, así mismo la existencia de hierro en el agua colabora con la dureza de esta. La dureza en el agua se incrementa en medida que haya más magnesio y calcio disuelto en ella. Estos iones tienen una carga positiva, esto genera que otros iones de igual carga se disuelvan en menor cantidad en el agua dura y en mayor cantidad cuando no hay presencia de magnesio y calcio. (Espinoza, Castillo y Rovira, 2014).

2.2.1.2.3. Alcalinidad.

Según RED (2007, citado por Geovanni, 2017) determina que la alcalinidad es la propiedad que tiene el agua para neutralizar ácidos y/ o existencia de iones de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

2.2.2. *Moringa oleífera.*

Según Adedapo *et al.* (2009, citado por Romero, Arvayo y Ruvalcaba, 2014), el árbol de la *Moringa oleífera* es de desarrollo rápido, que tiene copas abiertas y su follaje tiene la característica de ser pináceo, esta especie pertenece a la familia de la *Moringáceas* juntamente con 12 variedades propias de los climas áridos tropicales, puntualmente en el sur de los Himalayas, al norte de la India.

Puede propagarse por reproducción asexual por esquejes bajo condiciones secas y esta puede llegar a crecer hasta cuatro metros de alto, sin haberle dado las condiciones necesarias para su crecimiento.

2.2.2.1. Caracterización de las semillas de Moringa oleífera.

Los aminoácidos (aa) contenidos en la semilla de Moringa que se han podido observar son 17 aa:

Ácido aspártico (Asp), ácido glutámico (Glu), serina (Ser), glicina (Gli), histidina (His), arginina (Arg), treonina (Tre) alanina (Ala), prolina (Pro), tirosina (Tir), valina (Val) metionina (Met), cistina (Cis), isoleucina (Ile), leucina (Leu), fenilamina (Fen) y lisina (Lis).

Los aminoácidos encontrados en la semilla de Moringa representan el 6,92% p/p. Siendo el ácido glutámico el de mayor porcentaje con (1,68%) y el de menor porcentaje lo tiene la tirosina (0,105%).

De los 17 aa obtenidos, solo 8 de estos son aa no polares: Ala, Gli, Pro, Met, Val, Leu, Ile y Fen, estos aminoácidos tienen la característica de ser hidrófobos, en pocas palabras, estos no tienden a asociarse con el agua, todos estos representan un porcentaje másico de 2, 779% p/p. Los 9 aminoácidos restantes son: Tre, Ser, Cis, Tir, Arg, His, Asp, Lis y Glu, representan un 4,135% p/p; estos son hidrófilos, con la tendencia a asociarse con el agua, en mayor o menor grado, esto es dependencia de la carga que tenga el grupo radical de cada aminoácido. De estos 9 aa, cuatro no poseen carga, Tre, Ser, Cis y Tir y son levemente polares. Los aminoácidos fuertemente polares son tres, His, Lis y Arg, estos tienen carga netamente positiva y se suelen encontrar en las superficies exteriores de las proteínas donde tienen mejor contacto con el entorno acuoso, por último, tenemos los aa Glu y Asp con carga netamente negativa, estos al igual que los de carga positiva son hidrófilos, por ello se suele encontrarlos en la superficie de las proteínas, en contacto directo con el medio acuoso que los rodea.

La existencia de aminoácidos catiónicos, Lis, Arg y His y de aminoácidos aniónicos, Asp y Glu, da paso a deducir que la proteína activa de la semilla de Moringa, es un poli electrólito, que es posible tener en su superficie aminoácidos polares, tanto positivos como negativos, los cuales contribuyen al proceso de coagulación –floculación, ya que los aminoácidos mencionados estarán disponibles a interactuar con partículas coloidales causantes de la turbidez del agua. (Campos et al., 2003)

2.2.2.2. Utilización de las semillas de Moringa oleífera en el tratamiento del agua.

La propiedad clarificadora de la semilla de Moringa fue descubierta en China por mujeres de bajos recursos, quienes, en la búsqueda de agua para consumir, hallaron que la semilla de cierto árbol que tenían cerca de sus viviendas, tenía la propiedad de remover la

turbidez del agua, sedimentándola al fondo de los recipientes donde ellas almacenaban, dejándola clara el agua. Desde ese momento la planta y las propiedades de esta fueron llevadas no solo en toda Asia sino a otras regiones, habituándose muy bien en los climas tropicales.

La semilla de Moringa es un coagulante natural que neutraliza partículas en suspensión en el agua y provoca que se reúnan entre sí para que, por peso mayor a la inicial, comiencen a sedimentarse.

El componente activo es el polielectrólito que ya fue identificado y aislado para utilizarlo como prueba de un coagulante natural. (Sáenz, 2015).

Las semillas secas, son las partes utilizadas de la Moringa, estas son pulverizadas para obtener las propiedades activas que funcionan como coagulante, estas se utilizan con cascara y sin cascara. La reducción máxima de turbidez que se ha obtenido con este método es de entre 95 y 98,2 %, pese a tener distintas variaciones dadas las características del agua a tratar según Ndabigengesere et al., (1995, citado por Bravo, 2017).

Uno de los factores más influyentes en el proceso de coagulación – floculación es el pH, ya que las sustancias químicas que se utilizan en este proceso alteran significativamente el pH final del agua. Por otro lado, tenemos al tratamiento con semillas de *Moringa oleífera*, que no altera la calidad final del agua tratada. Según Ndabigengesere (1995, citado por Bravo, 2017), en un pH con valor 7 las partículas coloidales de caolín tienen carga negativa, por lo tanto, el proceso de coagulación con semilla de Moringa en agua turbia con caolín es causado por la desestabilización de las partículas de carga negativa con polielectrólitos catiónicos, este es llamado mecanismo de adsorción y neutralización de cargas.

2.2.3. Partículas en suspensión.

Las fuentes superficiales de agua contienen partículas en suspensión que derivan de la erosión de suelos, de disolución de sustancias minerales y de la descomposición de materia orgánica. A esta contribución natural se debe agregar el vertimiento de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales. Generalmente la turbiedad del agua es originada por partículas de materias inorgánicas (partículas de arcilla y limo).

Las características de las partículas en suspensión son las siguientes:

2.2.3.1. Tamaño de las partículas en suspensión.

Las partículas en suspensión se ordenan por su tamaño; las partículas con diámetro menor a un 1 micrómetro (μm) caracteriza a partículas de materia orgánica e inorgánicas, estas se depositan muy lentamente.

Tabla 1. *Tiempos de decantación de las diferentes partículas en función de: sus dimensiones; densidad y de la temperatura del agua.*

| Tipo de Partículas | Diámetro (mm) | Tiempo de caída | |
|--------------------|---------------|-----------------|--------------|
| | | Densidad 2.65 | Densidad 1.1 |
| Grava | 10 | 0.013 s. | 0.2 s. |
| Arena Gruesa | 1.0 | 1.266 s | 20.9 s |
| Arena fina | 0.1 | 126.66 s | 34.83 min. |
| Lodo fino | 0.01 | 3.52 h. | 58 h. |
| Bacterias | 0.001 | 14.65 d. | 249.1 d. |
| Coloides | 0.0001 | 4.12 a. | 66.59 d. |

Fuente: Andía, 2000. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación, citado por Carrera e Infante, 2015.

2.2.3.2. Afinidad de las partículas coloidales por el agua.

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas (afinidad por el agua) e hidrófobas (rechazan al agua), los hidrofílicos se disgregan naturalmente en el agua y son envueltos por moléculas de agua que evitan todo enlace posterior entre estas partículas; por el contrario, las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su disgregación dentro del agua no es natural por lo que necesita del apoyo de medios químicos y físicos.

Las partículas hidrófobas son generalmente partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas; realmente una pequeña parte son las partículas específicamente hidrofílicas o hidrofóbicas; se adquieren más bien partículas hidratadas a distintos grados.

La carga eléctrica y la capa de agua que rodean las partículas hidrófilas desplazan las partículas unas de otras y como consecuencia, los estabiliza dentro de la solución.

2.2.3.3. Carga eléctrica y doble capa.

Dentro del Agua Superficial, las partículas coloidales, son las generadoras de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua se enfoca en la remoción de estas partículas; estas tienen generalmente una carga eléctrica negativa situado sobre su superficie. Estas cargas nombradas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales adhieren firmemente a las partículas y atraen a su entorno iones negativos añadidos de una frágil porción de iones positivos.

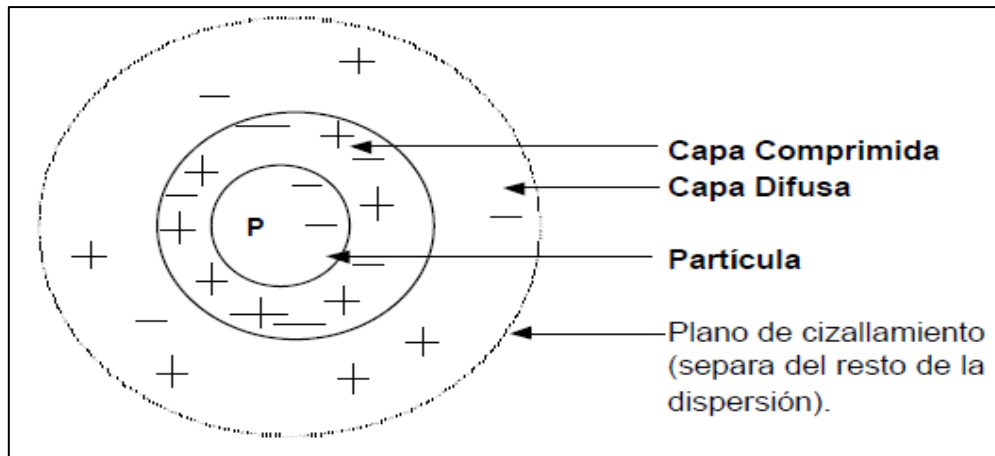


Figura 1. Doble capa de una partícula coloidal.

Fuente: Andía, 2000. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación, citado por Carrera e Infante, 2015.

Los iones que se adhieren firmemente a la partícula y se mueven con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren frágilmente forman la capa difusa, por lo tanto, existe un gradiente electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta.

2.2.3.4. Factores de estabilidad e inestabilidad.

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes de fuerzas:

2.2.3.4.1. Fuerzas de atracción de Van der Waals.

Ea (factores de Inestabilidad); son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.

2.2.3.4.2. Fuerzas de repulsión electrostáticas.

Eb (columbicas – factor de estabilidad); son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras; por ejemplo 2 partículas de igual signo no se pueden aproximar, estas rechazan.

El equilibrio de una suspensión coloidal depende de la fuerza resultante entre la fuerza de atracción y la fuerza de repulsión. (Andía, 2000 citado por Carrera e Infante, 2015).

2.2.4. Coagulación.

Este proceso consiste en la desestabilización química de las partículas coloidales que están suspendidas en el agua, a través del agregado de sustancias coagulantes y la agitación externa que se hace. En la figura 2 se observa que esta desestabilización de partículas se basa en la neutralización de las partículas suspendidas en el agua, la gran mayoría de estas son

negativas y del coagulador agregado (cargas positivas). (Salazar, Rojas y Carrillo, 2016 citado por Iglesias, 2018).

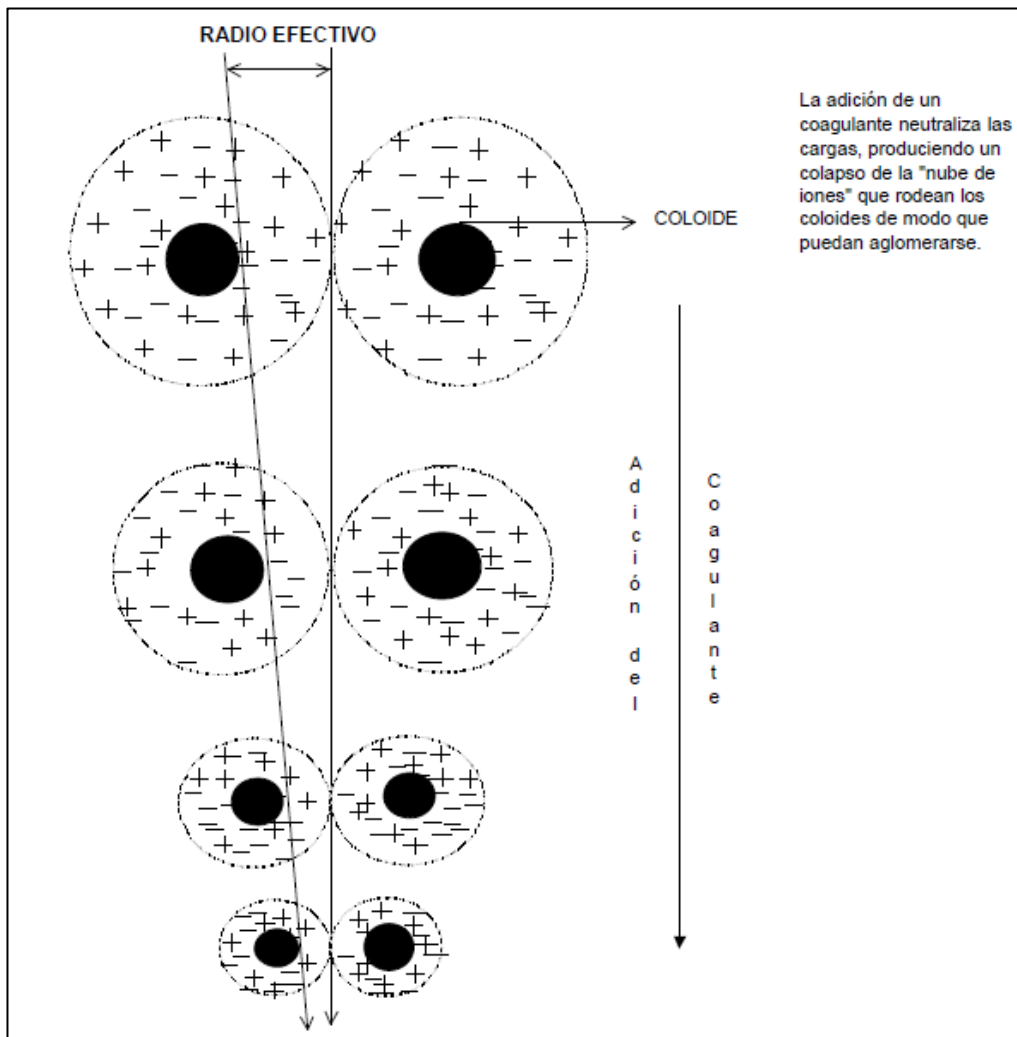


Figura 2. Proceso de coagulación.

Fuente: Andía, 2000. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación, citado por Carrera e Infante, 2015.

2.2.4.1. Mecanismo de coagulación que emplea la semilla de Moringa: absorción y neutralización de cargas.

El proceso de coagulación por absorción, se da cuando el agua contiene una elevada concentración de partículas coloidales; cuando el coagulante es agregado al agua a tratar, las partículas solubles del coagulante son absorbidas por los coloides y generan la formación de flóculos densos que sedimentan casi instantáneamente.

Generalmente las partículas coloidales tienen carga negativa en su superficie, estas generan la atracción de los iones positivos que están disueltos en el agua, esto genera la formación de la primera capa adherida al coloide.

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es la potencial electrocinética – potencial ZETA, este potencial dirige el traslado de coloides y su interacción recíproca.

Seguido de la teoría de la doble capa, el proceso de coagulación es reconocida como la eliminación del potencial generada por la añadidura de sustancias de coagulación – floculación, donde la fuerza natural de mezclado por el movimiento browniano no es lo necesariamente suficiente, por ello es requerida una energía adicional, como la de un mezclado mecánico o hidráulico.

La adición de una dosis excesiva de coagulante al agua que se requiere tratar, genera la reestabilización de la carga de la partícula, esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original. (Ver Figura 3.). (Andía, 2000, citado por Carrera e Infante, 2015).

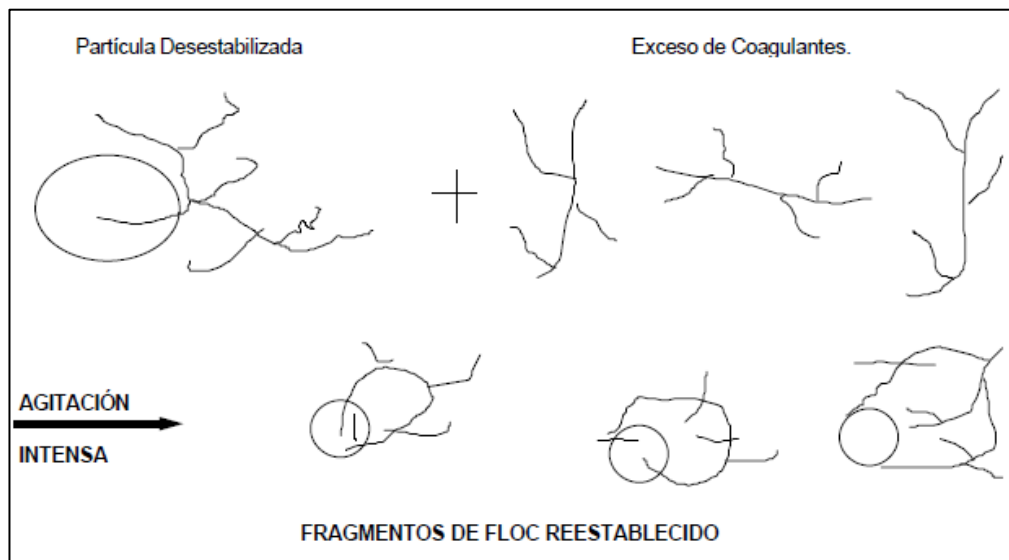


Figura 3. Reestabilización de la partícula.

Fuente: Andía, 2000. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación, citado por Carrera e Infante, 2015.

2.2.4.2. Factores que influyen en la coagulación.

2.2.4.2.1. Influencia del pH.

El pH es uno de los factores muy influyentes a la hora de realizar un proceso de coagulación, existe un rango de valores de pH óptimo para la realización rápida de la coagulación, sin embargo, todo dependerá de la cantidad de los iones y la alcalinidad del agua a tratar.

El valor óptimo del pH depende del tipo de coagulante que va a ser utilizado y de las características del agua a tratar, si no se realiza la coagulación con el valor óptimo puede que incremente la dosis del coagulante.

2.2.4.2.2. Influencia de las sales disueltas.

Las sales disueltas en el agua influyen de las siguientes maneras en la coagulación – floculación:

- Alteración del rango de pH óptimo.
- Alteración del tiempo necesario para la floculación.
- Alteración de la dosis de coagulantes requeridos.
- Alteración del valor residual del coagulante dentro del agua.

2.2.4.2.3. Influencia de la temperatura del agua.

La alteración de la temperatura de 1°C genera la formación de corrientes de densidad a distintos grados hacen variar a la energía cinética de las partículas suspendidas en el agua, esto hace que genere un retraso en la coagulación, así mismo un incremento de la temperatura desfavorece del mismo modo a la coagulación.

Del mismo modo el descenso de la temperatura del agua en una unidad de decantación provoca a un incremento de la viscosidad, esto conlleva a una dificultad de la sedimentación de un floculo.

2.2.4.2.4. Influencia de la dosis del coagulante.

La dosis de coagulante a emplear genera una directa influencia en el porcentaje de eficiencia de la coagulación, tenemos:

- Una diminuta dosis de coagulante, no será la suficiente para neutralizar por completo la carga de la partícula, como consecuencia será mínima la formación de micro flóculos, esto genera que la turbiedad después del tratamiento sea elevada.
- Una exagerada dosis de coagulante, generará la inversión de la carga de la partícula, esto conlleva a la formación de gran número de micro floculos con tamaños muy pequeños, donde la velocidad que tendrán para sedimentar es muy lenta, por consiguiente, la turbidez residual después del tratamiento igual será elevada.

2.2.4.2.5. Influencia de mezcla.

Durante la adición del coagulante, la intensidad de agitación que se haga en el agua, precisara si el proceso de coagulación llevado a cabo completo, si la agitación se hizo desigual hará que una masa de agua obtenga más coagulante y otra porción de agua tenga una mínima o nula cantidad de coagulante; para que se realice un buen proceso de coagulación la agitación que se haga tiene que ser intensa y homogéneo en toda la masa de agua que es tratada, esto

para generar una mezcla igualitaria entre el agua y el coagulante, de este modo se producirá la neutralización de las cargas de las partículas que es la reacción química que se quiere.

2.2.4.2.6. *Influencia de la turbidez.*

La turbidez del agua de fuentes superficiales proviene generalmente por partículas de lodos de sílice, con tamaños que varían entre 0,2 a 5 μSm . La coagulación de estas es simple de efectuar, siempre y cuando el pH del agua sea el rango óptimo. La variedad de la cantidad de partículas hace realizar las siguientes predicciones:

- Para cierto valor de turbidez se dispone una dosis de coagulante, esto obtiene la turbidez mínima, que hace referencia a la dosis óptima.
- Cuando la turbidez incrementa se adiciona una dosis de coagulante que no es muy alta, debido a la posibilidad de colisión entre las partículas es muy elevada, es por ello que la coagulación es fácil de ser realizada; apuesto a esto, cuando la turbidez es baja la coagulación se hace difícil de realizar, la dosis de coagulante es similar o más que si la turbidez estuviese alta.
- Cuando la turbidez tiene un valor muy alto, es recomendable iniciar un proceso de presedimentación forzada o natural, en el primer caso se hace con la adición de un polímero aniónico.

Se hace más sencillo coagular aguas con mínima turbiedad o que estén contaminadas por fluidos residuales, domésticos e industriales, porque necesitan más dosis de coagulante que los que no tienen contaminación. (Andía, 2000, citado por Carrera e Infante, 2015).

2.2.5. **Floculación.**

Proceso seguido de la coagulación, esta trata sobre la agitación del agua coagulada que permitirá el incremento y aglomeración de flóculos inicialmente formados con el fin de aumentar la densidad de estos para que sedimenten con facilidad.

Debido a que los flóculos formados por la acumulación de varios coloides no obtengan el suficiente tamaño para sedimentar con la rapidez que se desea, por este motivo es la necesidad de utilizar un floculante, ya que este permite aglomerar en forma de red, creando puentes de una superficie con otra, uniendo las partículas individuales en los aglomerados, como se muestra en la Figura 4.

Este proceso es apoyado por una agitación lenta que permite reunir lentamente los flóculos; si se realiza una agitación rápida, esta rompe las uniones y difícilmente se vuelven a formar en el tamaño óptimo. La floculación no solo se encarga de aumentar el tamaño del floculo, también de incrementar el peso de este. (Andía, 2000, citado por Carrera e Infante, 2015).

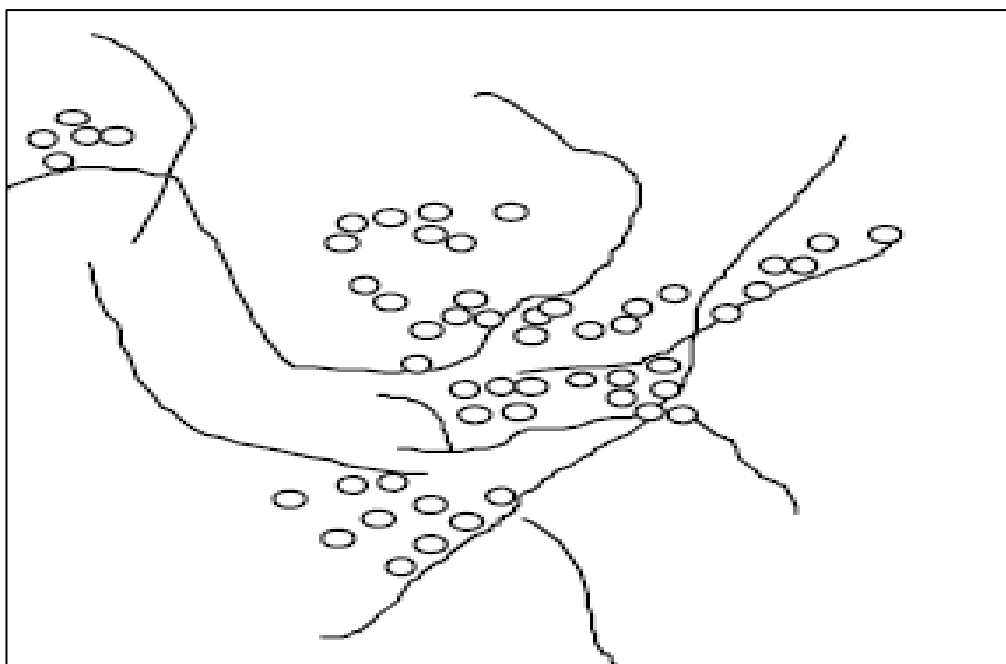


Figura 4. Floculación.

Fuente: Andía, 2000. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación, citado por Carrera e Infante, 2015.

Floculación: El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables.

2.2.5.1. Tipos de floculación.

2.2.5.1.1. Floculación pericinética.

Generada por la circulación natural de las moléculas del agua y esta favorecida por la energía térmica, este tipo es mayormente conocido con el movimiento browniano.

2.2.5.1.2. Floculación ortocinética.

Basada en los choques de las partículas producido por el movimiento del agua, este es favorecido por energía externa al agua, esta puede ser mecánica o hidráulica.

Después del proceso de coagulación es indispensable aglomerar los micro flóculos; para que suceda, primero se da la floculación pericinética y posterior la floculación Ortocinética.

2.2.5.1.3. Parámetros de la floculación.

Los siguientes puntos caracterizan los parámetros de floculación:

- Floculación Ortocinética (Dada por la intensidad de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre micro flóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floculo.

- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

2.2.5.2. Floculantes.

Los floculantes son polímeros o poli-electrolitos con pesos moleculares altos moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga.

La naturaleza del floculante puede ser: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

2.2.5.2.1. Floculantes minerales.

Tenemos a la sílice activada, el primer floculante empleado, este debe prepararse antes de ser empleado, la preparación de esta es muy delicada y corre el riesgo de gelatinizarse; genera la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

2.2.5.2.2. Floculantes orgánicos naturales.

Polímeros naturales obtenidos de sustancias animales o vegetales.

2.2.5.2.3. Floculantes orgánicos de síntesis.

Estos floculantes son los más usados y son macromoléculas de extensa cadena, generados por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 gr. /mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).

Catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico). (Andía, 2000, citado por Carrera e Infante, 2015).

2.2.6. Sedimentación.

Proceso físico que, utilizado para favorecer la precipitación de las partículas coloidales con mayor densidad encontradas en el agua, esto gracias a que es esta etapa se reduce la velocidad del agua, facilitando que sedimenten por gravedad en un tiempo determinado. (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s/f citado por Iglesias, 2018).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Agua.

Recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la nación (Ley de recursos hídricos, 2009).

2.3.2. Agua superficial.

Agua procedente de la lluvia, deshielos o nieve (ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, nieve, hielo, mares, estuarios y humedales) (Glosario de recursos hídricos – ANA, 2016).

2.3.3. Calidad de agua.

Se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por actividades poblaciones y/o productivas (Glosario de recursos hídricos – ANA, 2016).

2.3.4. Clarificación.

Poner claro o limpio y purgar de heces lo que estaba denso, turbio o espeso (RAE, 2017).

2.3.5. Coagulación.

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes y la aplicación de la energía de mezclado (Andía, 2000, citado por Carrera e Infante, 2015).

2.3.6. Coagulante natural.

Son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal, que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de ésta (García, 2007).

2.3.7. Moringa (*Moringa oleífera*).

Árbol verdoso y pequeño, tiene un desarrollo acelerado y logra alcanzar entre los 10 y 12 m de altura. Posee una copa abierta y esparcida de ramas inclinadas y débiles, con un plumoso follaje de hojas pinadas en tres, con gruesa corteza, color blanquecino y de textura corchosa, valorada por sus hojas, flores, frutas y raíces, ya que todas son aprovechables. (Molina, 2016).

2.3.8. Tratamiento de agua.

Conjunto de componentes hidráulicos; de unidades de procesos físicos, químicos y biológicos; y de equipos electromecánicos y métodos de control que tiene la finalidad de producir agua apta para el consumo humano (DIGESA, 2011).

2.4. Hipótesis

El efecto coagulante de la semilla de Moringa (*Moringa oleífera*) será eficiente para clarificar agua del Canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú, 2019.

III. Materiales y métodos

3.1. Variables – operacionalización

3.1.1. Variables.

- **Variable independiente:** Efecto coagulante de la semilla de Moringa (*Moringa oleífera*).
- **Variable dependiente:** Clarificar agua del Canal Monsefú.

3.1.2. Tabla de operacionalización de variables.

Tabla 2. Operacionalización de variables.

| VARIABLE | DEFINICIÓN | DIMENSIÓN | INDICADOR | UNIDAD DE MEDIDA |
|--|---|----------------------------|--------------------|------------------|
| VI: Efecto coagulante de la semilla de Moringa (<i>Moringa oleífera</i>). | Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes y la aplicación de la energía de mezclado. | Dosis de coagulante | Peso de coagulante | g |
| | | Tiempo de agitación | Tiempo | Minuto |
| VD: Clarificar agua del canal Monsefú | Poner claro o limpio y purgar de heces lo que estaba denso, turbio o espeso. | Parámetro Físico y Químico | Turbidez | NTU |
| | | | Conductividad | μS/cm |
| | | | pH | Valor de pH |

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Tipo de estudio y diseño de investigación

El presente estudio tiene un tipo de estudio experimental ya que este es analítico y se caracteriza por la manipulación artificial de un factor de estudio por el investigador y por la aleatorización de los casos o sujetos en dos grupos, llamados grupo control y grupo experimental, así mismo se utilizó el Diseño experimental de Estímulo creciente donde los grupos experimentales fueron constituidos por agua del canal Monsefú a quienes se les realizó un pre análisis y se les aplicó concentraciones crecientes de semilla de Moringa, posterior a esto se realizó un post análisis.

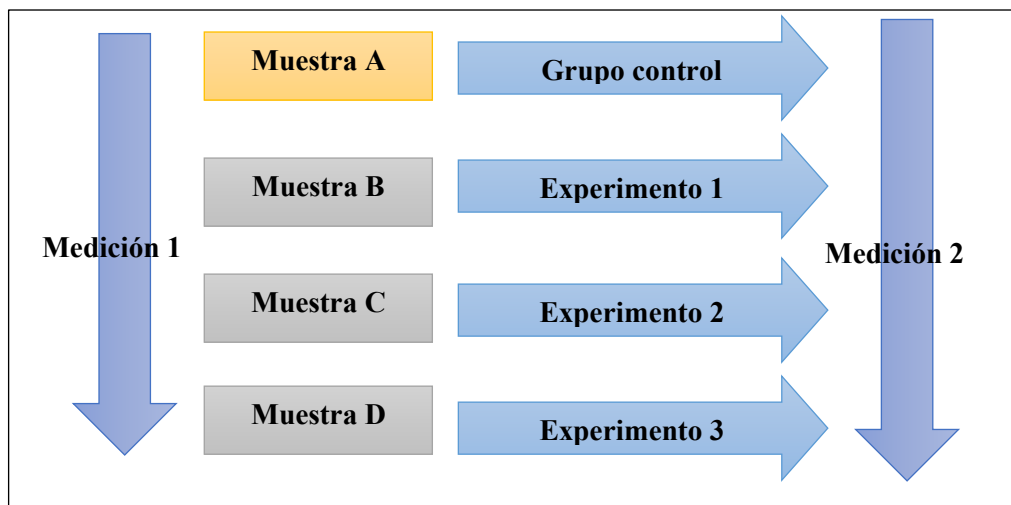


Figura 5. Diseño experimental de estímulo creciente.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Población y muestra del estudio

3.3.1. Población.

El canal Monsefú tiene un caudal promedio al año de 1.200 m³/s.

3.3.2. Muestra.

La muestra para este estudio se utilizó la cantidad de 0,005 m³ (5 litros) de agua tomadas del canal Monsefú.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo de la presente investigación fue de tipo Probabilístico o aleatorio – Al azar simple.

3.4. Instrumentos y materiales

3.4.1. Instrumentos y equipos.

- Balanza analítica digital
- Cronómetro

- Equipo refrigerante
- Equipo mezclador (batidora)
- Cámara fotográfica

3.4.2. Materiales.

- Frascos de plástico polietileno de alta densidad de boca ancha de 1.1 L
- Mortero y pilón
- Vasos de precipitación de 500 ml
- Tamiz
- Semillas de Moringa

3.5. Metodología

3.5.1. Toma de muestras.

El procedimiento de muestreo estuvo basado en el Protocolo Nacional de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2016.

El muestreo se hizo en la orilla del canal Monsefú, para realizar la toma de muestras se colocó botas de jebe y guantes descartables. Posteriormente se buscó un punto de fácil acceso. Antes del inicio de toma de muestras se enjuagó los frascos de plástico con agua del punto de muestreo, en sentido contrario a la corriente, dos veces, luego para la toma de muestras se extendió el brazo y sumergió el frasco a una profundidad aproximada de 20 a 30 cm desde la superficie en dirección opuesta al flujo del canal y se tapó, luego se colocó una etiqueta de identificación y finalmente se almacenó en un equipo refrigerante, las muestras de agua recolectadas fueron llevadas a un laboratorio particular para realizar los análisis fisicoquímicos.

3.5.2. Obtención del coagulante.

Las semillas de Moringa fueron recolectadas en el sector Villa Saúl del centro poblado Callanca, distrito de Monsefú, cuando las vainas estuvieron secas y en la planta, no se utilizó semillas verdes porque según estudios anteriores no tiene propiedades coaguladoras.

Las vainas de Moringa fueron llevadas al Laboratorio de la Universidad de Lambayeque para su respectivo acondicionamiento como coagulador natural.

La obtención del polvo de semillas de Moringa se logró a través de lo siguiente:

- Las vainas recolectadas fueron abiertas para quitar la cáscara y dejar libre a la pequeña semilla, esta es similar a una almendra de color blanquecino.
- Una vez obtenida la semilla se procedió a triturar un número apropiado de estas.
- Después de triturar la semilla se tamizó para eliminar restos de cascara y obtener un polvo más fino.

- Posterior al triturado se procedió a recolectar el polvo obtenido en un recipiente seco para poder pesar las dosis del coagulador propuestas para el tratamiento del agua del canal Monsefú.

3.5.3. Aplicación del coagulante natural: Determinación de la dosis y tiempo de eficiencia.

Para la determinación de la dosificación de este estudio, se realizó la revisión de estudios similares para poder definir las dosis a aplicar. El rango observado en los estudios revisados variaba entre 0,10 g/L hasta 1,70 g/L, esto dependía de la turbidez inicial que obtenían. Debido que se observó altos porcentajes de eficiencia en pequeñas cantidades se determinó por aplicar tres dosis distintas de 0.20 g, 0.40 g y 0.60 g para tres alícuotas de 0,5 L, una alícuota funcionó como la muestra testigo, a esta no se le agrego ninguna dosis. La aplicación de distintas dosis se hizo con el fin de determinar cuál de ellas es la que tiene mayor porcentaje de efectividad para de remover turbidez del agua.

Cada aplicación del coagulante natural se ejecutó una agitación constante, en este caso se hizo a través de una batidora, ya que en el laboratorio no se contó con el equipo de prueba de jarras, se hizo una agitación rápida durante 5 minutos y una agitación lenta por 20 minutos a cada una de las tres alícuotas para activar el efecto coagulante de las semillas de Moringa.

Posterior se dejó reposar 2 horas para que los flóculos formados pudieran sedimentar, y verificar la eficiencia de clarificado de las semillas de Moringa. Pasado el tiempo de sedimentación, se separó el agua del sedimento resultante para ser almacenadas y llevadas a un laboratorio particular y determinar los parámetros fisicoquímicos finales: Turbidez, Conductividad, pH. Todos los ensayos se realizaron a temperatura ambiente.

3.6. Plan de procesamiento para análisis de datos.

Para la realización del presente estudios de investigación los datos que se obtuvieron durante su ejecución fueron plasmados en tablas y figuras elaborados utilizando los programas de software Word 2016 y Excel 2016, permitiendo plasmar los resultados satisfactoriamente.

IV. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la metodología utilizada descrita anteriormente, estos se muestran teniendo en consideración los objetivos específicos planteados inicialmente:

4.1. Identificación de los parámetros fisicoquímicos del agua del canal de Monsefú, antes de aplicar el coagulante natural. (semilla de Moringa)

Tabla 3. *Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua del canal Monsefú.*

| Muestra | Parámetro físico | Parámetro químico | |
|----------------------|------------------|-------------------|------------------------------------|
| | Turbidez (NTU) | pH | Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) |
| Muestra testigo (MT) | 413 | 8 | 818 |

Fuente: Elaboración propia (laboratorio LYCNOR SAC).

En la tabla 3 se muestran los parámetros fisicoquímicos obtenidos del análisis realizado al agua recolectada del canal Monsefú antes de la aplicación del tratamiento con coagulante de las semillas de *Moringa oleífera*. Donde se obtuvo que en el parámetro físico de turbidez tuvo un valor de 413 NTU y para los parámetros químicos se tuvo para pH un valor de 8 y para conductividad un valor de 818 $\mu\text{S/cm}$. Las cantidades iniciales obtenidas de cada parámetro sirvieron más adelante para determinar la eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa comparando los valores del análisis post tratamiento con estos.

4.2. Aplicación el coagulante natural (semilla de Moringa) a la muestra del agua del canal de Monsefú para la remoción de turbidez

Tabla 4. *Dosis de coagulante natural (semilla de Moringa) aplicadas a las muestras de agua.*

| Muestra | Cantidad de agua (l) | Dosis de coagulante natural (g) |
|----------------------|----------------------|---------------------------------|
| Muestra testigo (MT) | 0,5 | 0 |
| Muestra 1 (M1) | 0,5 | 0,2 |
| Muestra 2 (M2) | 0,5 | 0,4 |
| Muestra 3 (M3) | 0,5 | 0,6 |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se indica los ensayos realizados para el tratamiento del agua con coagulante natural de semillas de *Moringa oleífera*. La tabla muestra que se utilizó tres

alícuotas de 0,5 L de agua cada una, etiquetadas como muestra 1 (M1), muestra 2 (M2) y muestra 3 (M3) a quienes se le aplicó dosis de 0,2; 0,4 y 0,6 gramos de coagulante natural semilla de Moringa respectivamente. Cabe mencionar que se utilizó una cuarta alícuota de 0,5 L de agua del canal Monsefú a quien no se le agregó ninguna dosis del coagulante natural ya que este funcionó como la muestra testigo (MT) del experimento realizado.

4.3. Evaluación los parámetros fisicoquímicos de las aguas del canal de Monsefú después de aplicar el coagulante natural (semilla de Moringa)

Tabla 5. *Parámetros fisicoquímicos del agua del canal Monsefú tratadas con coagulante natural (semilla de Moringa).*

| Muestra | Dosis en g de coagulante natural | Parámetro físico | Parámetro químico | |
|----------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------------|
| | | Turbidez (NTU) | pH | Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) |
| Muestra 1 (M1) | 0,2 | 48,1 | 8,1 | 815 |
| Muestra 2 (M2) | 0,4 | 46,5 | 8,1 | 834 |
| Muestra 3 (M3) | 0,6 | 54,8 | 8 | 834 |

Fuente: Elaboración propia (laboratorio LYCNOR SAC).

Luego de haber aplicado las respectivas dosis de coagulante natural a cada una de las alícuotas y haber hecho todo el tratamiento respectivo, se hizo análisis fisicoquímicos a las tres alícuotas tratadas. La Tabla 5 muestra los parámetros fisicoquímicos post tratamiento donde muestra 1 (M1) con una dosis aplicada de 0,2 gramos de coagulante natural, obtuvo una turbidez de 48,1 NTU, un pH de 8,1 y una conductividad de 815 $\mu\text{S/cm}$; para la muestra 2 (M2) con una dosis aplicada de 0,4 gramos de coagulante natural, obtuvo una turbidez de 46,5 NTU, un pH de 8,1 y una conductividad de 834 $\mu\text{S/cm}$ y por último la muestra 3 (M3) con una dosis aplicada de 0,6 gramos de coagulante natural, obtuvo una turbidez de 54,8 NTU, un pH de 8 y una conductividad de 834 $\mu\text{S/cm}$.

4.4. Comparación los parámetros fisicoquímicos del agua del canal de Monsefú antes y después del uso del coagulante natural (semilla de Moringa)

Tabla 6. *Parámetros fisicoquímicos del agua antes y después de ser tratadas con coagulante natural (semilla de Moringa).*

| Muestra | Dosis en g de coagulante natural | Parámetro físico | Parámetro químico | |
|------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------------|
| | | Turbidez (NTU) | pH | Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) |
| Sin tratamiento | | | | |
| Muestra testigo (MT) | 0 | 413 | 8 | 818 |
| Con tratamiento | | | | |
| Muestra 1 (M1) | 0,2 | 48,1 | 8,1 | 815 |
| Muestra 2 (M2) | 0,4 | 46,5 | 8,1 | 834 |
| Muestra 3 (M3) | 0,6 | 54,8 | 8 | 834 |

Fuente: Elaboración propia (laboratorio LYCNOR SAC).

En la tabla 6, se presenta una comparación los valores de los parámetros fisicoquímicos de las distintas muestras (M1, M2 y M3) tratadas con coagulante natural con respecto a los valores de la muestra testigo (MT) a quien no se le aplicó ningún tratamiento. En la tabla se puede observar que, para el parámetro de turbidez, la muestra 2 (M2) con 46,5 NTU tuvo la mejor reducción de turbidez, a diferencia de las dos muestras restantes. Para el parámetro de pH, la muestra 1 (M1) y la muestra 2 (M2) tuvieron una ligera elevación de 0,1 con respecto al pH de la muestra testigo (MT). Por último, en el parámetro de conductividad, la muestra 2 (M2) y la muestra 3 (M3) elevaron su valor a 834 $\mu\text{S/cm}$, en comparación al valor de la muestra testigo (MT) que fue de 818 $\mu\text{S/cm}$.

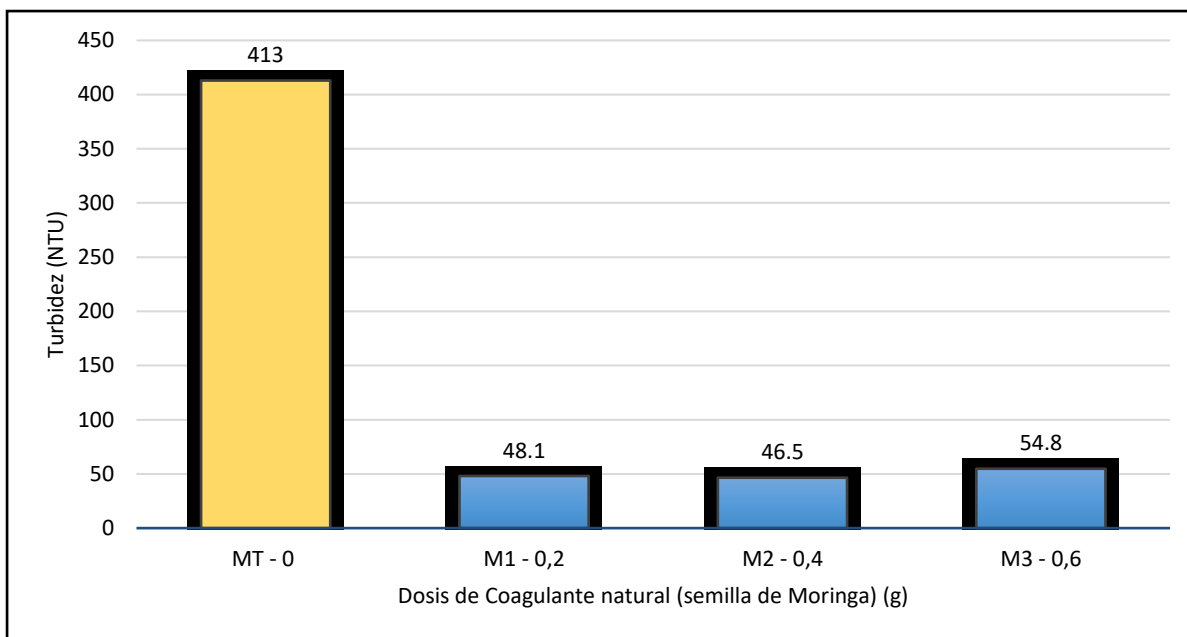


Figura 6. Turbidez post tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6, se observa a MT quien no recibió ningún tratamiento con el coagulador natural con valor de turbidez de 413 NTU. A M1 a quien se le agregó 0,2 g de coagulador natural con valor de turbidez de 48,1 NTU. A M2 a quien se le agregó 0,4 g de coagulador natural con un valor de turbidez de 46,5 NTU. Por ultimo para M3 a quien se le agregó 0,6 con un valor de turbidez de 54,8 NTU. Determinando así que el coagulador natural si tuvo efecto para reducir el nivel de turbidez en comparación con el valor de MT.

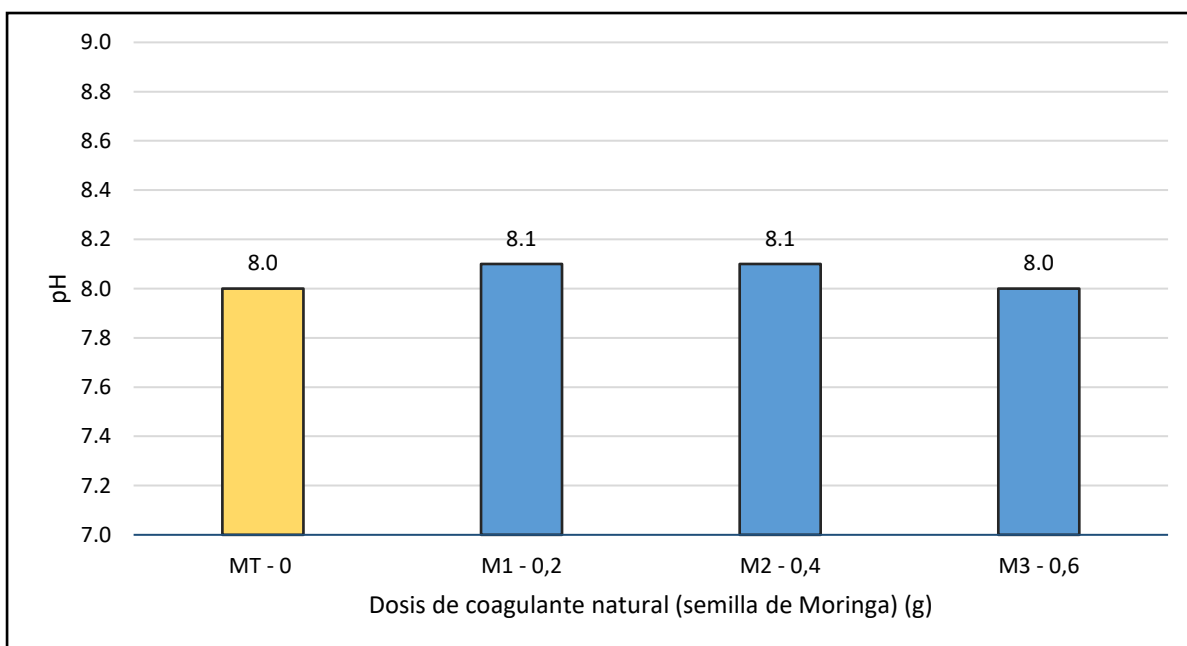


Figura 7. pH post tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7, se observa a MT quien no recibió ningún tratamiento con el coagulador natural con valor de pH de 8. A M1 a quien se le agregó 0,2 g de coagulador natural con valor de pH de 8,1. A M2 a quien se le agregó 0,4 g de coagulador natural con un valor de pH de 8,1. Por ultimo para M3 a quien se le agregó 0,6 con un valor de pH de 8. Determinando así que el coagulador natural tendió a elevar 0,1 el valor de pH para M1 y M2 en comparación con el valor de MT.

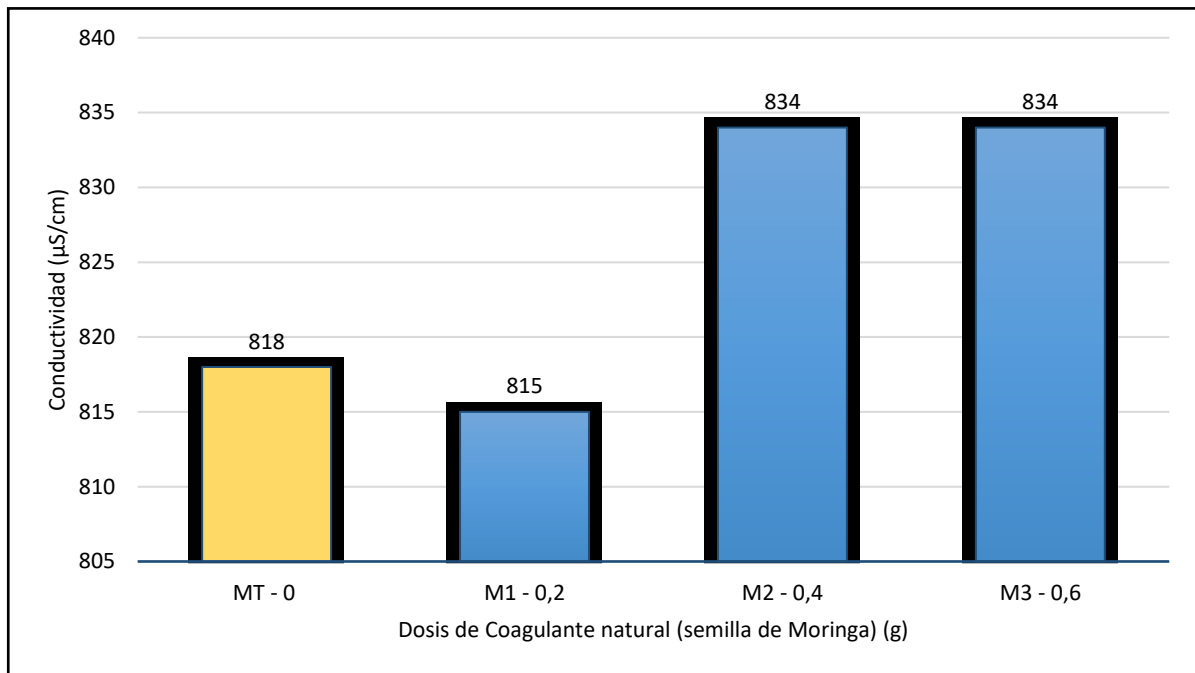


Figura 8. Conductividad post tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8, se observa a MT quien no recibió ningún tratamiento con el coagulador natural con valor de conductividad de 818 µS/cm. A M1 a quien se le agregó 0,2 g de coagulador natural con valor de conductividad de 815 µS/cm. A M2 a quien se le agregó 0,4 g de coagulador natural con un valor de conductividad de 834 µS/cm. Por ultimo para M3 a quien se le agregó 0,6 de coagulador natural con un valor de conductividad de 834 µS/cm. Determinando así que el coagulador natural tendió a elevar de 818 µS/cm a 834 µS/cm para M2 y M3 y para M1 tendió a disminuir de 818 µS/cm a 815 µS/cm.

Tabla 7. Porcentaje de remoción de turbidez con coagulante natural (semilla de Moringa).

| Muestra | Dosis en g de coagulante natural | Turbidez (NTU) | % de eficiencia de remoción |
|----------------------|----------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Muestra testigo (MT) | 0 | 413 | 0,00% |
| Muestra 1 (M1) | 0,2 | 48,1 | 88,35% |
| Muestra 2 (M2) | 0,4 | 46,5 | 88,74% |
| Muestra 3 (M3) | 0,6 | 54,8 | 86,36% |

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 7, nos muestra los porcentajes de eficiencia de reducción de la turbidez, donde podemos observar que la muestra 2 (M2) es quien tuvo la mejor eficiencia de reducción de turbidez con 88,74%, ya que redujo su valor hasta 46,5 NTU con respecto al valor de la muestra testigo (MT) con un valor de 413 NTU. Mientras que la muestra 1 (M1) con una eficiencia de 88,37%, esta no es muy lejana de M2, ya que esta redujo su valor de turbidez a 48,1 NTU respecto al valor de MT con un valor de 413 NTU. La Muestra 3 (M3) fue la que tuvo menor eficiencia con 86,36 %, sin embargo, no fue muy distante a los valores de las dos muestras anteriores, ya que esta redujo su valor de turbidez a 54,8 NTU respecto al valor de MT con un valor de 413 NTU.

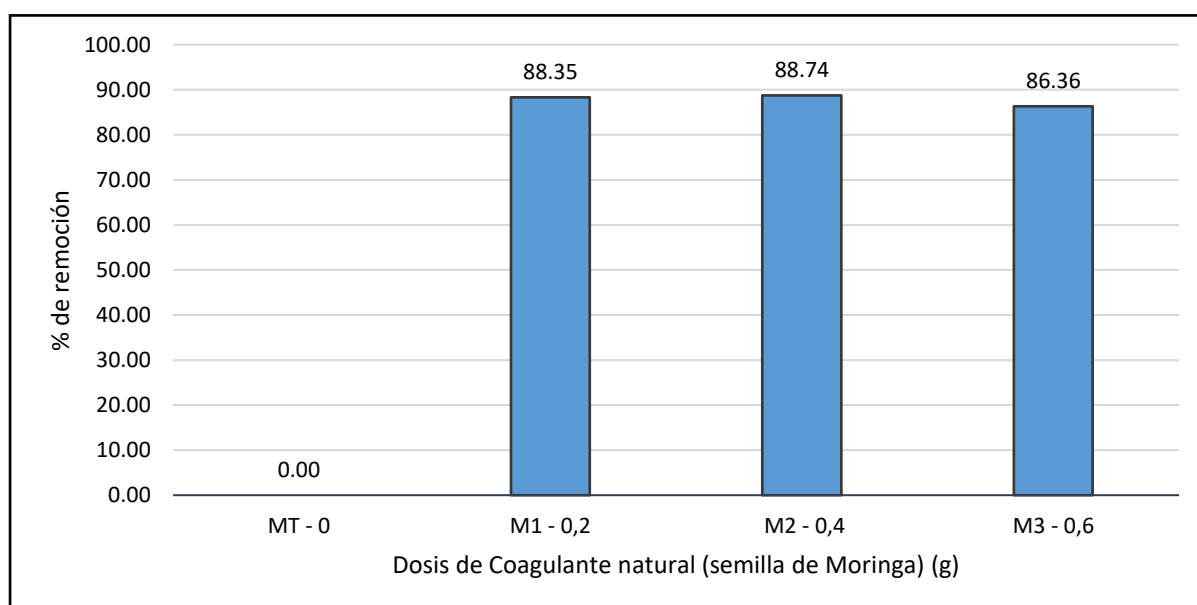


Figura 9. Porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez según la dosis de coagulante natural (semilla de *Moringa oleifera*).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9, se observa a MT quien no recibió ningún tratamiento con el coagulador natural con 0,0 % de eficiencia en reducción del valor de turbidez. Para M1 a quien se le agregó 0,2 g de coagulador natural obtuvo un porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez de 88,35 %. Para M2 a quien se le agregó 0,4 g de coagulador natural obtuvo un porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez de 88,74 %. Por ultimo para M3 a quien se le agregó 0,6 de coagulador natural obtuvo un porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez de 86,36 %. Determinando así que la dosis más eficiente de coagulador natural obtenido de las semillas de Moringa para la reducción de turbidez es de 0,4 g, ya que obtuvo una eficiencia de 88,74%.

V. Discusión

En la tabla 3 del presente trabajo de investigación se presentan los parámetros fisicoquímicos iniciales realizados al agua recolectada de canal Monsefú, centro poblado Callanca, teniendo como valores iniciales en turbidez 413 NTU, en pH 8 Y conductividad 818 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A diferencia de Acevedo (2019), quien en su estudio recolectó agua de tres fuentes superficiales, teniendo así diferentes valores de turbidez, para Río de Oro un valor 15,3 NTU, Río Negro 4,64 NTU y quebrada Floridablanca 140 NTU, siendo esta última con mayor valor de turbidez, con la que trabajo este autor. Cabe resaltar que este autor no realizó análisis en los parámetros de pH y conductividad, pero si realizó análisis en los parámetros de color y microbiológicos. Si se coincide con Vela (2016), quien en su estudio recolecto agua del Río Alto Chicama (fuente superficial) y le realizó análisis fisicoquímicos similares al del presente estudio, teniendo como valores iniciales en turbidez 297 NTU, en pH 7,45 y conductividad 395,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En la tabla 4, se muestra la dosificación de coagulante natural obtenida del triturado de las semillas de *Moringa oleífera*, estas fueron 0,2; 0,4 y 0,6 g para tres muestras de 500 ml de agua obtenidas del canal Monsefú, el polvo obtenido del triturado y utilizado como coagulante natural no recibió ninguna alteración, la aplicación de esta fue directa al agua. En este punto no se está de acuerdo con Tumbaco y Acebo (2018), ya que estos en su trabajo de investigación al biocoagulante como ellos lo llamaron, obtenido de la semilla de *Moringa oleífera*, le agregaron una solución salina de cloruro de sodio (NaCl) al 1M, de esta mezcla utilizaron dosis de 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 0,8 y 0,9 para seis muestras de 400 ml de agua del Río Guayas.

Por otro lado, no se coincide con Bravo y Gutiérrez (2015), quienes utilizaron goma extraída de las semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara), y que además fue mezclada con agua destilada, las concentraciones de solución de goma de Tara fueron de 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, 5000 ppm, 6000 ppm y 7000 ppm, para seis muestras de agua recolectadas del río Pollo.

Los resultados del tratamiento realizado al agua del canal Monsefú para reducir el nivel de turbidez fueron favorables en este estudio (Tabla 6), ya que se logró reducir de un valor inicial de turbidez de 413 NTU, a valores de 48,1 NTU, 46,5 NTU y 54,8 NTU, se está de acuerdo con Tumbaco y Acebo (2018) que también lograron reducir notoriamente el nivel de turbidez en su agua tratada con un valor inicial de 1820 NTU a valores de 49 NTU, 32 NTU, 0 NTU, 15 NTU, 24 NTU y 31 NTU. Por otro lado para el valor de pH se tuvo un ligero aumento de 0,1, para este parámetro no se coincide con los autores antes mencionado debido a que en

su tratamiento con el biocoagulante obtenido de la semilla de *Moringa oleífera*, no tendió a elevar el pH post tratamiento, por lo contrario este tendió a reducir de un valor inicial de 7,49 hasta un rango entre los 7,48 y 7,42 el valor del pH, probablemente esta reducción sea por la mezcla que hizo con la solución salina de cloruro de sodio (NaCl). Para el caso del parámetro de conductividad en la presente investigación se tuvo un incremento en dos muestras de un valor de 818 a 834 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en una muestra hubo una reducción de un valor de 818 a 816 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se discrepa con Vela (2016), quien inicialmente en su trabajo realizó análisis inicial en el parámetro de conductividad al agua con la que experimento, que fue de 395,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sin embargo, una vez culminó el tratamiento con el coagulante de semilla de *Moringa oleífera*, este no hizo una nueva lectura de este parámetro, para determinar si este coagulador natural incrementa, disminuye o no tienen a alterar los valores de conductividad.

Como resultado final este estudio de investigación determinó que el coagulante natural obtenido de las semillas de *Moringa oleífera* para clarificar agua del canal Monsefú obtuvo altos porcentajes de eficiencia para remover turbidez (Figura 9), teniendo el mejor porcentaje de eficiencia con la dosis de 0,4 g se semilla de Moringa, con un 88,74% de remoción de turbidez. Se coincide con la con Vela (2016), quien, en su resultado, describe que con la ayuda del coagulante natural *Moringa oleífera*, se disminuyó la turbidez del agua en ese caso del río Alto Chicama, llevándolo así a comprobar la eficiencia de este coagulante, su mayor porcentaje de eficiencia fue de 93,10% de remoción de turbidez con una dosis aplicada de 20 ml del coagulante natural. Del mismo modo para Tumbaco y Acebo (2018), determinaron que el biocoagulante de *Moringa oleífera*, tiene efectividad para remover turbidez en agua muy turbias, quienes en su mejor porcentaje de eficiencia obtuvieron un 100% de remoción en parámetro de turbidez con una dosis de 0,5 ml y para 0,7 ml una eficiencia de 92,91%. Por otro lado, para Acevedo, (2019), los porcentajes de remoción de turbidez fue variado, teniendo menos del 40% en la mayoría de los casos, sin embargo, obtuvo un 93,9% porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez con una concentración de 170 mg de semilla de Moringa, la diferencia de los porcentajes antes mencionados, quizá se deba a la metodología utilizada en su estudio o por el valor de turbidez inicial.

VI. Conclusiones

Ante los resultados obtenidos, nos permite evidenciar las siguientes conclusiones:

- Se determinó que el análisis fisicoquímico realizado al agua recolectada del canal Monsefú obtuvo un valor de Turbidez inicial de 413 NTU, un valor de pH 8 y un valor de conductividad de 818 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Se concluye que es asequible conseguir el coagulante natural (semilla de *Moringa oleifera*), ya que en el presente estudio de investigación se aplicó en distintas dosis (0,2; 0,4; y 0,6 g) para tres alícuotas de 500 ml de agua recolectada del canal Monsefú, conseguidas con un número reducido de semillas recolectadas.
- Se concluye que el análisis post tratamiento determinó que todas las dosis (0,2; 0,4; y 0,6 g) utilizadas de coagulante natural obtenido de la semilla de Moringa para tres alícuotas de 500 ml, son apropiadas para clarificar agua, ya que estas disminuyeron considerablemente el valor de turbidez inicial del agua del canal Monsefú de 413 NTU a valores de 48,1; 46,5 y 54,8 NTU, respectivamente.
- Concluimos que al realizar la comparación de los resultados obtenidos de los análisis sin tratamiento y el análisis post tratamiento, conllevó a determinar que la semilla de Moringa utilizada como coagulante natural fue eficiente para clarificar el agua del canal Monsefú, con aplicaciones de cantidades mínimas, ya que el mejor porcentaje de eficiencia se obtuvo con una dosis de 0,4 g de semilla de Moringa con un 88,74% de eficiencia de remoción de turbidez.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda que para próximas investigaciones similares a esta se realice análisis de más parámetros físico químicos e incluso de parámetros microbiológicos, para determinar si las semillas de Moringa alteran algún parámetro de calidad del agua o compararla con alguna normativa vigente para observar si cumple o no con los parámetros.
- Se recomienda la aplicación de más dosis de coagulador natural obtenido semilla de Moringa, para determinar si a mayor cantidad este coagulador natural tienen la misma o mayor eficiencia de remover turbidez del agua, así mismo se recomienda utilizar muestras de agua de otra fuente superficial de agua e incluso de algún agua residual.
- Se recomienda seguir indagando las propiedades clarificadoras del coagulador natural obtenido de la semilla de Moringa y tener en cuenta otras variables ambientales que puedan influir de forma positiva o negativa a la remoción de turbidez, a través de la creación de otras metodologías considerando técnicas que permitan una mayor eficiencia de este coagulador natural.
- Se recomienda seguir utilizando la semilla de Moringa en estudios posteriores, ya que esta tiene posee propiedades coaguladoras con una alta eficiencia para remover turbidez del agua, sin embargo, se podría utilizar otros coaguladores naturales obtenidos de otros vegetales para comparar si tiene menor, igual o mayor eficiencia con el obtenido de la semilla de Moringa.

VIII. Referencias bibliográficas

- Acevedo, E. J. (2019). *Uso de semillas de Moringa (Moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río Negro, río de Oro y quebrada Floridablanca, Santander*. Tesis o trabajo de investigación como requisito para optar al título de: Microbiólogo Industrial. Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agropecuarias. Universidad de Santander.
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., y Cuz, R. K. (2018). *Sustancias Naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en el Palermo, Colombia*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Magdalena. Volumen 29 N° 3, 59 - 70.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Lima – Perú.
- Bravo, M. M., y Guitierrez, J. L. (2016). *Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río pollo en Otuzco empleando semillas de Caesalpinia spinosa (Tara)*. Trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú.
- Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Proyecto curricular de licenciatura en química. Facultad de ciencias y educación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.
- Campos, J., et al. (2003). *Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de Moringa oleífera mediante HPLC*. Boletín del centro de investigaciones biológicas, Volumen 37 (Número 1). Páginas 35 – 43. Recuperado de: <http://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/3/3>.
- Comunidad Andina de Naciones (CAN). (2008). *Decisión 699*. Recuperado de: <http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/DocOf/DEC699.pdf>.
- Carrera, G. e Infante, E. (2015). *Influencia del pH, concentración de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno y turbidez en efluente de lavado de pulpa de la planta papelera TRUPAL S.A*. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo.
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). (2011). *DS N° 031-2010-SA: Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. Ministerio de Salud. Lima.
- Duarte, F. (2019). *Calidad del agua para consumo humano en el proceso de captación, tratamiento, distribución y consumo en el Cantón La Maná, provincia Cotopaxi*.

- Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental. Facultad de ciencias ambientales. Universidad Técnicas Estatal de Quevedo. Ecuador.
- Espinoza, V., Castillo, R. y Rovira, D. M. (2014). *Parámetros físico-químicos y microbiológicos como indicadores de la calidad de las aguas de la subcuenca baja del río David, provincia de Chiriquí, Panamá*. Universidad Tecnológica Oteima. Panamá.
- Feria, J. J., Bermúdez, S., y Estrada, A. M. (2014). *Eficiencia de la semilla Moringa oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*. Producción + Limpia. Volumen 9 (Número 1), páginas 9-22.
- García, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial: aplicación en países en vías de desarrollo*. Instituto de seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España.
- Geovanni, W. (2017). *Evaluación de la calidad de agua del sector LEG Tabacay y Oriente alto, de la parroquia Bayas del Cantón Azogues*. Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Bioquímico Farmacéutico. Facultad de ciencias químicas. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Iglesias, M. L. (2018). *Optimización de los procesos de coagulación – floculación en la planta de potabilización perteneciente al Cantón Cañar*. Facultad de Ciencia Químicas. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Ley N° 29338. (2009). *Ley de recursos hídricos*. Recuperado de: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_29338_0_2.pdf
- Martín, C., et al. (2013). *Potenciales aplicaciones de Moringa oleífera*. Una revisión crítica. Pastos y Forrajes. Volumen 36 (Número 2), páginas 137-149. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000200001.
- Melo, V., et al. (2017). *Aluminium sulfate exposure: A set of effects on hydrolases from brain, muscle and digestive tract of juvenile Nile tilapia (Oreochromis niloticus)*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C. Toxicology & Pharmacology. Vol. 191, pp. 101 – 108.
- Meza, M., et al. (2018). *Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo – Atlántico*. Revista UIS Ingenierías. Volumen 17 (Número 2) páginas 95 – 104.
- Molina, E. J. (2016). *Evaluación de coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas*. Tesis dirigida para optar el título de

- magister en ciencias ambientales. Sistema de Universidades estatales del Caribe Colombiano. Universidad popular del César.
- Real Academia Española (RAE). (2017). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de: <http://dle.rae.es/?id=9PRO1yK>
- Resolución Jefatural N° 180-2016-ANA. (2016). *Glosario de términos sobre recursos hídricos*. Recuperado de: <http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-180-2016-ana>.
- Romero, R. C., Arvayo, K. L., y Ruvalcaba, N. V. (2014). *Aspectos tóxicos más relevantes de Moringa oleífera y sus posibles daños*. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Volumen XVI (Número 2).
- Sáenz, W. S. (2015). *Utilización de la semilla natural Moringa oleífera como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caráz provincia de Huaylas Ancash*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario. Facultad de Ciencias del Ambiente. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Ancash-Perú.
- Salamanca, E. (2016). *Tratamiento de aguas para el consumo humano*. Módulo Arquitectura CUC. Volumen 17 (Número 1), páginas 20 – 48.
- Severiche, C. A., Castillo, M.E., y Acevedo, R. L. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas*. Recuperado de: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>.
- Vela, C. T. (2016). *Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural Moringa oleífera en aguas obtenidas del rio Alto Chicama, puente Ingón*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad César Vallejo. Trujillo-Perú.
- Villarreal, A. & Ortega, K. J. (2014). *Revisión de la características y usos de la planta de Moringa oleífera*. Investigación & Desarrollo. Volumen 22 N1 2, pp. 309 – 330.

IX. Anexos

9.1. Anexo 1: Figuras de la recolección de muestras de agua



Figura 10. Recolección de agua del canal Monsefú en botellas de plástico de polietileno de alta densidad.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Etiquetado de las muestras de agua tomadas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Muestras de agua almacenadas en un cooler de plástico de polietileno de alta densidad.
Fuente: Elaboración propia.

9.2. Anexo 2: Obtención del coagulante natural



Figura 13. Recolección de semillas de Moringa.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Triturado de las semillas de Moringa para la obtención del coagulante natural.
Fuente: Elaboración propia.

9.3. Anexo 3: Tratamiento del agua del canal Monsefú con semilla de Moringa



Figura 15. Pesado del coagulante natural.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Adición del coagulante natural a la muestra de agua y mezclado a la vez.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Sedimentación de la turbidez de las muestras de agua.
Fuente: Elaboración propia.

9.4. Anexo 4: Informe de análisis fisicoquímicos hecho a las muestras de agua



LABORATORIOS Y CERTIFICACIONES DEL NORTE S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 0039-2019

Emitido en Chiclayo, 30 de Setiembre del 2019.

| | | |
|-------------------------------|---|------------------------------------|
| Número de Solicitud de Ensayo | : | 0037-2019 |
| Solicitante | : | Hugo Santiago Campos Castro |
| Dirección de la Empresa | : | - |
| RUC | : | - |
| Servicio Solicitado | : | Ensayos Fisicoquímicos |
| Nombre del Producto | : | Agua de Canal Tratada |
| Cantidad de muestra | : | 04 |
| Presentación de muestra | : | Frascos de plástico |
| Lugar, Fecha de recepción | : | Laboratorio LYCNOR SAC, 25/09/2019 |
| Condiciones de recepción | : | En cadena de frío a 4.6 °C |
| Lugar de Muestreo | : | Canal Monsefú-Callanca |
| Fecha de Inicio de Ensayo | : | 25/09/2019 |
| Fecha de Término de Ensayo | : | 25/09/2019 |

| | | | |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------|
| ANÁLISIS | Fisicoquímico | | |
| Fecha de Muestreo | 25/09/2019 | | |
| Código de Cliente | MT | | |
| Código de Laboratorio | 3719175 | | |
| PARÁMETRO | | Resultado | Unidad |
| pH | | 8.08 | Unidad pH |
| Conductividad | | 818 | µS/cm |
| Turbidez | | 413 | NTU |
| ANÁLISIS | Fisicoquímico | | |
| Fecha de Muestreo | 25/09/2019 | | |
| Código de Cliente | M1 | | |
| Código de Laboratorio | 3719176 | | |
| PARÁMETRO | | Resultado | Unidad |
| pH | | 8.10 | Unidad pH |
| Conductividad | | 815 | µS/cm |
| Turbidez | | 48.1 | NTU |

| | | | |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------|
| ANÁLISIS | Fisicoquímico | | |
| Fecha de Muestreo | 25/09/2019 | | |
| Código de Cliente | M2 | | |
| Código de Laboratorio | 3719177 | | |
| PARÁMETRO | | Resultado | Unidad |
| pH | | 7.89 | Unidad pH |
| Conductividad | | 834 | µS/cm |
| Turbidez | | 46.5 | NTU |

| | | | |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------|
| ANÁLISIS | Fisicoquímico | | |
| Fecha de Muestreo | 25/09/2019 | | |
| Código de Cliente | M3 | | |
| Código de Laboratorio | 3719178 | | |
| PARÁMETRO | | Resultado | Unidad |
| pH | | 7.94 | Unidad pH |
| Conductividad | | 834 | µS/cm |
| Turbidez | | 54.8 | NTU |

MÉTODOS DE ENSAYO APLICADOS

| DETERMINACIONES | MÉTODO DE ENSAYO | LD |
|-----------------|--|-------------|
| pH * | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H' B, 23 nd Ed. 2017: pH Value. Electrometric Method | 0 Unidad pH |
| Conductividad * | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23nd Ed. 2017. Conductivity Laboratory Method | 0.1 µS/cm |
| Turbidez * | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23 nd Ed. 2017: Turbidity. Nephelometric Method | 0.09 NTU |

* Los métodos indicados no han sido acreditados por DA-INACAL

CONDICIONES DE USO DEL INFORME DE ENSAYOS:

- El muestreo y el transporte de la muestra hasta su ingreso a Laboratorios y Certificaciones del Norte SAC son responsabilidad del solicitante.
- El presente informe de ensayo es válido sólo para la cantidad recibida, objeto de análisis no pudiendo extenderse los resultados a otra unidad.
- Queda terminantemente prohibida la reproducción parcial o total del presente Informe de Ensayos sin conocimiento y la autorización de Laboratorios y Certificaciones del Norte S.A.C.
- Cualquier enmienda en el documento lo invalida.
- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.
- El presente informe de ensayos es válido exclusivamente para los requisitos indicados, no pudiendo señalarse implícita o explícitamente a otras características que no se indican.
- LYCNOR SAC no conserva muestras de dirimencia.
- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el INACAL – DA.



.....
Blgo. Carla Y. Requejo Rodríguez
Supervisor de Microbiología
CBP.11761

FIN DEL DOCUMENTO

9.5. ANEXO 5: Tabla de Presupuesto

| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN | | | | |
|---|-------------------------|-----------------|--------------------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD DE MEDIDA | CANTIDAD | PRECIO POR UNIDAD | TOTAL |
| Instrumentos y equipos | | | | |
| Balanza analítica digital | Unidad | 1 | S/45,00 | S/45,00 |
| Cronómetro | Unidad | 1 | S/10,00 | S/10,00 |
| Alquiler de equipo mezclador | Unidad | 1 | S/15,00 | S/15,00 |
| Equipo refrigerante (15l) | Unidad | 1 | S/60,00 | S/60,00 |
| Materiales | | | | |
| Frascos de plástico polietileno de alta densidad de boca ancha (1l) | Unidad | 4 | S/6,00 | S/24,00 |
| Mortero y pilón | Unidad | 1 | | |
| Vaso de precipitación | Unidad | 4 | | |
| Tamiz | Unidad | 1 | | |
| Semillas de Moringa | Unidad | 3 | | |
| Guantes descartables | Par | 2 | S/2,00 | S/4,00 |
| Mascarilla | Unidad | 2 | S/2,00 | S/4,00 |
| Botas de jebe | Par | 1 | S/20,00 | S/20,00 |
| Toca | Unidad | 2 | S/1,00 | S/2,00 |
| Guardapolvo | Unidad | 1 | S/45,00 | S/45,00 |
| Análisis de laboratorio | | | | |
| Parámetro de Turbidez | NTU | 2 | S/38,00 | S/76,00 |
| Parámetro de pH | | 2 | S/14,50 | S/29,00 |
| Parámetro de Conductividad | µS/cm | 2 | S/32,00 | S/64,00 |
| TOTAL | | | | S/398,00 |

Fuente: Elaboración propia