

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Estudio de la semilla de moringa como coagulante frente al sulfato de aluminio en el tratamiento de agua en diferentes turbiedades del rio Ozama”**



**Trabajo de grado presentado por:**

Christian Mariano Amparo González

Carolin Nicol Pérez Segura

**Para la obtención del grado de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Asesor:**

Ing. María Cristina Sánchez

**Santo Domingo, D.N.**

2017

“Levántate, resplandece; porque ha venido tu luz, y la gloria de

Jehová ha nacido sobre ti”

*Isaías 60:1*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Gracias Padre celestial por siempre estar conmigo, guiar mis pasos por caminos de bien, ser mi roca fuerte y no dejarme caer. Señor que tu gracia y luz nunca se aparten de mí, sigue llenando mi vida con tu inmenso amor.

A Mis Padres: Victor A. Perez Sierra y Rosa H. Segura Medina

Cada día doy gracias a Dios por la bendición de ser hija de ustedes, si me dieran a elegir, los elegiría a ustedes siempre. Sin ustedes no habría alcanzado mis sueños y es por ustedes que hoy estoy aquí. Este logro es más de ustedes que mío.

Papi, sin usted no hubiese sido posible cumplir este sueño. Gracias por todos sus consejos, apoyo, todo lo que ha hecho por mí. Siempre preocupado por mis estudios y bienestar. Gracias por depositar toda su confianza en mí, usted siempre vio más allá de lo que mis ojos pudieron ver, con todo su amor y experiencia me ayudó a enderezar mi camino cuando lo necesite.

Mami, tengo tanto que agradecerte, gracias por darme la vida, ser mi guía, amiga incondicional, madre luchadora y gran ejemplo a seguir, eres mujer virtuosa. Has llenado mi vida con tu amor infinito, comprensiva y apoyo fiel. Mami sin ti este logro no habría sido posible, gracias por permanecer firme ante la circunstancia que se presentó y darme todo su apoyo y ánimo para poder salir adelante con este nuevo proyecto. Nunca dudo de que podría salir adelante

y me hizo ver que después de la tormenta sale el sol y Dios es quien escribe derecho sobre líneas torcidas. Las palabras me faltan para agradecerte por todas las cosas que por mi has hecho. Te Amo mami, le pido al Señor tus días sean prolongados llenos de salud y felicidad, y siempre poder contar con usted siempre.

A Mi Abuela: Mami Luchi

Gracias infinitas por todas sus hermosas palabras y su confianza, llevarme en cada una de sus oraciones, darme palabras de ánimos cuando más las necesité, Dios puso en usted un corazón gigante donde me albergó como una de sus nietas, gracias de todo corazón.

A Mis Hermanos: Jordanis, Victor Manuel y Lissoret

Gracias por formar parte de mi recorrido hasta llegar a la meta, por ser parte importante de mi vida, sin ustedes mi vida no tendría el mismo sentido.

Jordanis, gracias por todo apoyo y estar ahí siempre que te he solicitado. Victor Manuel y Lissoret, tendré mucho cuidado de donde piso, sé que ustedes siguen mis pasos. Espero que ustedes, así como yo, se tracen sus propias metas y las alcancen.

A la Familia Aventurera:

Yana Iris Maldonado, Miguel Hernandez, Petra Peña e Isabel Mariñez, gracias por ayudarme, en su determinado momento me extendieron la mano y se preocuparon por que tenga el plano para una materia, me fue de mucha ayuda. Gracias por tener un consejo para mí, nunca

estuvieron de más, por haber depositado toda su confianza en mí y llevarme presente en sus oraciones, ya vemos que el Señor las escucho y obró en mí, son la mejor familia que Dios me pudo dar.

A Mi Prometido: Daynar Mella D.

Gracias por formar parte de todo este trayecto, gracias por siempre que te he necesitado estar ahí con la vista clara mirando más allá de mi adversidad. Amor gracias por ser mi mano amiga, mi soporte, mi ayuda idónea; a pesar de la distancia me brindaste tu apoyo cuando ya creía que no seguiría en el camino, cuando pensé que el mundo se me estaba derrumbando, gracias por demostrarme lo fuerte que puedo llegar a ser.

A Mis Amigos:

Elisa, Julia, Deurys, Dionis, Carlos, Jesiel, José, Rafael, Wander, William, Misael y Gabriel, gracias por siempre estar ahí con una mano amiga donde apoyarme cuando sentía que no podía más, por su ayuda y consejos. Gracias por estar presente en la trayectoria de esta carrera, ustedes son la familia que yo elegí. Eli mana te agradezco muchísimo tu preocupación y la disposición que tenían tú y Jesiel para que este proyecto salga a camino, son mis hermanos de vida.

Jennifer Díaz no tienes idea de lo cuan agradecida estoy contigo, estuviste en la caída brindándome tu hombro para llorar y lloraste conmigo, estuviste en el momento de felicidad y

reíste y lloraste conmigo, sentiste que el logro es de ambas, le pido a Dios nunca separe nuestros caminos, eres más que una amiga para mí, te amo y no me tiembla la voz al decírtelo.

Melissa Cordero, ¡Ay mana! Te agradezco tanto, ¡¡tanto!! Fuiste la primera amiga que tuve en la universidad, la que en cada materia que implicaba matemáticas y ejercicios que no entendía estaba ahí para explicarme siempre llena de paciencia y cariño, me brindaste un apoyo en el cual me sostuve cuando creí que el camino se desviaría de la meta, me has dado tanta ayuda que no tengo forma de agradecerte, te quiero muchísimo y eso lo sabes. Gracias por soportarme.

“Es en los momentos de adversidad donde se conoce al buen amigo” Carolin Pérez. “Los sucesos prósperos hacen amigos; los adversos los prueban.” Publio Siro

En especial a mi compañero de tesis Christian Amparo por todo su esfuerzo, dedicación y paciencia a la hora de hacer este trabajo de investigación. Excelente compañero, ser humano y amigo. Siempre recuerda que cuando la noche se hace más oscura es cuando está por salir el sol, pon toda tu confianza en Dios y Él obrara a tu favor. ¡Gracias!

A la Ing. María Christina Sánchez, gracias por confiar y no dejarnos solos, a pesar de que teníamos el tiempo encima usted no dudo de nuestra capacidad, Dios le bendiga grandemente.

*Carolin N. Pérez Segura*

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una Vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo de felicidad.

Le doy gracias a mis padres Simón Amparo y María De Los Ángeles:

A mi padre, porque fuiste mi ejemplo a seguir y el motivo de que estudiara esta carrera que tanto me gusta. Además de ayudarnos a encontrar este tema de tesis con el cual culminaremos nuestra carrera de ingeniería civil, Te doy las gracias por tus consejos, tu apoyo, tus experiencias, tu amor y preocuparte por mí y mis estudios. Y sobre todo por siempre estar ahí en los momentos más difíciles.

A mi madre, por el gran amor y la devoción que tienes a tus hijos, por el apoyo ilimitado e incondicional, que siempre me has dado, por siempre tener la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como un hombre de bien, y por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla... no hay palabras en este mundo para agradecerte.

Gracias a los dos, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. Ustedes fueron mi motivo para seguir adelante. Gracias a ustedes pasar cada una de estas materias para mí era felicidad al ver sus rostros

lentos de alegría. Sin ustedes no hubiese sido posible cumplir este sueño. Gracias por ser los mejores padres de mundo.

A mi hermana Massiel, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, gracias por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado. Porque a pesar que tengamos nuestras eventuales discusiones, peleas, y que tal vez seamos polos opuesto siempre puedo contar contigo. Eres ese pilar que me motiva a seguir aun cuando no se pueda, es por esto que te agradezco el enseñarme que no debo rendirme porque cada paso que doy es una huella que dejó atrás para que sigas por el buen camino. Te amo, has sido una de las principales personas involucradas en ayudarme a que este proyecto fuera posible. Espero que este sueño que cumplo también lo cumplas pronto.

A mi novia Carolina Cabrera, gracias por formar parte importante de mi vida, por hacer que estos años de estudios estuvieran llenos de felicidad, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por tu paciencia y amor incondicional. Gracias por apoyarme en esta etapa tan importante de mi vida y por darme fuerzas y motivación cuando creía que no podría.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de mis profesores por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.



A mis amigos: Máximo, Misael, Manuel, Rafael, Elisa, Lauren, Melisa, Ana, María Fernanda, Yamilka, Wancer, Bryan, Lennin, Jesús, Jean Carlos y todas esas personas que se convirtieron en una familia para mí. Gracias por luchar junto conmigo en todas las adversidades.

En especial a mi compañera de tesis, por ser una excelente compañera y por acompañarme en este proyecto. Gracias por tu amistad y tu paciencia, espero que los dos logremos nuestras nuevas metas.

*Christian M. Amparo J.*

## DEDICATORIAS

A Dios porque Él siempre está en el dirigiendo mis pasos, me ha guiado para siempre salir adelante y nunca soltar mi mano. No debo temer ni desmayar porque Dios ha permanecido conmigo en cada paso que doy, he visto su mano obrar en mi cada día de mi vida, es el único que sabe cómo y porque las cosas suceden y Él permitió la realización de este nuevo trabajo de grado.

A mis padres el Ing. Victor Perez S. y la Lic. Rosa Segura M. por estar siempre ahí para mí, por sus consejos y sus lecciones, por nunca darse por vencidos conmigo por estar ahí para mí, por ayudarme en todo, por confiar siempre, esta tesis o mejor dicho este logro es mas de ustedes que mío, todo lo que soy es gracias a ustedes, por motivarme en todo momento y nunca dejar que me rindiera porque siempre han querido lo mejor para mí y por incúlcame grandes valores.

A mis hermanos, Maciel, Jordanis, Lissoret y Victor Manuel, a mis tíos, Ramón, Filvio, Jazmín, Danesa, por ustedes alcance este logro, fueron mi inspiración y talón de aquiles.

*Carolin N. Perez Segura*

## DEDICATORIAS

A Dios por sobre todas las cosas, a mis padres Simón Amparo y María de Los Ángeles, a mi hermana Massiel Amparo. A mis maestros por todos los conocimientos adquiridos durante el trayecto. A mis familiares, novia y amigos que me mantuvieron motivado para culminar esta etapa, gracias a todos ustedes esto fue posible. A mi asesora la Ing. Maria Cristina por ser una excelente amiga y maestra. A todos aquellos que formaron parte de esta investigación

*Christian M. Amparo G.*

# ÍNDICE

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
1.1 Planteamiento del problema .....	18
1.2 Justificación.....	20
1.3 Preguntas de la investigación .....	22
1.4 Objetivos .....	23
1.4.1 Objetivo General .....	23
1.4.2 Objetivos Específicos.....	23
1.5 Antecedentes.....	24
1.6 Alcances y Limitaciones.....	27
1.7 Ámbito de estudios .....	28
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>29</b>
MARCO TEORICO .....	29
2.1 Moringa .....	29
2.1.1 Propiedades de la moringa y sus semillas en el proceso de remoción de turbidez.....	30
2.1.2 Utilidad de la Moringa.....	31
Aceite Oleico .....	32
Técnicas de extracción .....	33
2.1.3 El uso industrial de Moringa para el tratamiento del agua potable .....	34
Ventajas.....	35
Desventajas .....	35
2.1.4 Maquinaria necesaria para la extracción del polvo de la semilla de Moringa.....	36
La mesa separadora.....	36
Descascarilladoras de semillas.....	37

Molino de granos .....	39
2.2 Sulfato de aluminio .....	39
2.2.1 Propiedad Floculante.....	40
2.2.2 Usos y aplicaciones del Sulfato de Aluminio:.....	41
2.3 Tratamiento Primario.....	42
2.3.1 Sedimentación.....	42
Diagrama sedimentación:.....	42
2.3.2 Coagulación – Floculación .....	43
Coagulación .....	44
Floculación.....	44
2.4 Proceso de tratamiento.....	45
2.5 Generalidades del rio Ozama .....	47
2.6 Procesos empleados para la obtención de los resultados. ....	47
2.6.1 Prueba de jarra .....	47
2.6.2 Para la extracción de la semilla de Moringa. ....	48
2.6.3 Procesos empleados para la obtención de los resultados para los diferentes niveles de turbiedad con la prueba de jarra. ....	48
2.6.4 Procesos empleados para la obtención de los resultados para el filtrado.....	49
2.7 Conceptos.....	50
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>54</b>
MARCO METODOLÓGICO .....	54
3.1 Enfoque de la investigación.....	54
3.2 Tipo de investigación.....	54
3.3 Procedimiento de investigación .....	55
3.4 Método de investigación.....	55

3.5 Técnicas de investigación .....	55
3.6 Población y Muestra. ....	56
3.7 Formulación de hipótesis .....	57
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>58</b>
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	58
4.1 Análisis de los datos.....	58
4.1.1 Diseño del experimento .....	58
4.1.2 Comparación de la efectividad de la semilla de moringa en comparación con la del sulfato de aluminio para las muestras 1 y la muestra 2.....	59
4.1.3. Comparación de la semilla de moringa con niveles de turbidez en 816NTU.....	65
4.1.4. Comparación de los niveles de turbiedad, ph y color de la semilla de moringa y el sulfato de aluminio de la muestra 2 tomada del rio Ozama.....	67
4.4.5. Comparación de costo de la harina de moringa sulfato de aluminio según quiminet.com .....	68
4.1.2 Verificación de la hipótesis .....	71
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
Referencias.....	76
<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>
TABLAS .....	85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 RIO OZAMA.....	28
ILUSTRACIÓN 2 MAPA REPUBLICA DOMINICANA.....	28
ILUSTRACIÓN 3 MESA SEPARADORA.....	37
ILUSTRACIÓN 4 DESCASCARILLADORA DE SEMILLAS .....	38
ILUSTRACIÓN 5 MOLINO DE GRANOS.....	39
ILUSTRACIÓN 6 PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA .....	45
ILUSTRACIÓN 7 CONO FILTRANTE.....	50
ILUSTRACIÓN 8 UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRA .....	56
ILUSTRACIÓN 9 TABLA DE TABULACIONES DE DADAS POR LA CAASD .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 COORDENADAS DE MUESTRAS .....	56
TABLA 2 PARÁMETROS PARA LA PRUEBA DE JARRA.....	58
TABLA 3 VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE TURBIEDAD DE LA PRIMERA MUESTRA.....	59
TABLA 4 EFICIENCIA DE LA SEMILLA DE MORINGA LUEGO DE SER FILTRADA.....	60
TABLA 5 COMPORTAMIENTO DEL SULFATO CON LOS NIVELES DE TURBIEADES DE 30 NTU.....	60
TABLA 6 NIVELES DE TURBIEDAD ALTOS CON ASENTAMIENTOS SIN FILTRAR. ....	62
TABLA 7 EFICIENCIA DE LA SEMILLA DE MORINGA LUEGO DE SER FILTRADA .....	63
TABLA 8 COMPORTAMIENTO DEL SULFATO CON LOS NIVELES DE TURBIEADES DE 200 NTU.....	63

<b>TABLA 9 COMPARACIÓN DEL % DE REMOCIÓN DE LAS DOSIS OPTIMAS DEL SULFATO DE ALUMINIO Y LA SEMILLA DE MORINGA.....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 10 COMPARACIÓN DE PH Y COLOR ENTRE LA SEMILLA DE MORINGA Y SULFATO DE ALUMINIO .....</b>	<b>67</b>
<b>TABLA 11 COMPARACIÓN EL PROMEDIO DEL COSTO DE LA SEMILLA DE MORINGA Y EL SULFATO EN OTROS PAÍSES.....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 12 COMPARACIÓN DE PRECIOS DEL SULFATO DE ALUMINIO Y LA SEMILLA DE MORINGA PARA UNA CANTIDAD DE 45 SACOS DE 110 LIBRAS.....</b>	<b>70</b>

## **ÍNDICE DE GRAFICOS**

<b>GRAFICO 1 VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE TURBIEDAD PARA LAS DOSIS DE 10 MG Y 15 MG POR LITROS .....</b>	<b>61</b>
<b>GRAFICO 2 VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE TURBIEDAD PARA LAS DOSIS DE 45 MG Y 50 MG POR LITROS .....</b>	<b>64</b>
<b>GRAFICO 3 COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE TURBIEDAD DE LA SEMILLA DE MORINGA Y EL SULFATO DE ALUMINIO.....</b>	<b>66</b>



## INTRODUCCION

Para el proceso de la purificación del agua es necesario realizar una selección de los parámetros óptimos de los procesos y operaciones unitarias que la componen. Para este propósito es necesario realizar ensayos de simulación (Prueba de Jarras) para determinar las características, eficiencia de los procesos de coagulación y floculación en términos de la variación del pH, remoción de turbiedad y el color, manipulando coagulantes tradicionales y naturales o alternativos, en este caso la semilla de moringa.

Según estudios previos realizados en otros países, la semilla de moringa puede emplearse en los procesos de tratamiento de agua ya que presenta una gran concentración de proteínas con propiedades floculantes, las cuales la hacen ideal para el tratamiento de turbidez. En la presente trabajo, se realizaron ensayos con el objetivo de conocer y comprobar la eficiencia del uso de la semilla de moringa y estudiar cómo sería su comportamiento con diferentes niveles de turbiedad, para tenerla en cuenta como una alternativa o sustituto coagulante de las sustancias químicas en nuestro país. Para nuestro análisis las muestras fueron tomadas del río Ozama.

Ahora bien, en el proceso de potabilización el coagulante comúnmente utilizado es el sulfato de aluminio, el cual ha demostrado ser un buen coagulante en lo que es la remoción de turbiedad y color de aguas crudas. Es por esto se quiere comparar el comportamiento de la semilla de moringa en comparación con el sulfato de aluminio.

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema.

Uno de los grandes problemas afrontados por el mundo es la disponibilidad de agua potable, ya que esta es vital para la supervivencia de los seres humanos. En el planeta existe una limitación de la disponibilidad de agua dulce; del 0.8% del agua dulce existente, el 97% son aguas subterráneas y solamente el 3% es agua superficial. Aun así, no siempre esta es apropiada para el consumo humano, haciéndose necesario realizar la remoción de las impurezas presentes para adecuarla a los patrones de potabilidad. El color y la turbiedad son los principales parámetros que se consideran en la evaluación de la calidad de efluentes tratados, siendo indicadores sanitarios y patrones de aceptación del agua para consumo humano (Patricia G.S. Lédo, 2009)

El agua cruda proviene de fuentes superficiales o subterráneas, la cual contiene una serie de partículas suspendidas o disueltas que deben ser removidas en lo que es la potabilización del agua, ya que esto le confiere al agua turbidez, color, olor y sabor, haciendo que sea poco atractiva y desagradable para el consumo humano. (Iván Mendoza, 2000)

En Republica Dominicana, tanto el río Ozama como las costas perimetrales, reciben descargas contaminantes provenientes de actividades humanas como la agricultura, granjas de crianza de animales, las plantas industriales, puntos de descarga de alcantarillados sanitario y

basura arrojada por los habitantes de los barrios adyacentes al río y la costa. Esto provoca altos niveles de remoción de los sedimentos, haciendo necesario los procesos de potabilización.

En este proceso de potabilización, el coagulante comúnmente utilizado es el sulfato de aluminio, el cual ha demostrado ser un buen coagulante en lo que es la remoción de turbidez y color de aguas crudas. Sin embargo, el uso de las sales de aluminio debe ser controlado ya que podrían dejar en el agua tratada cierta cantidad de aluminio residual. (Iván Mendoza, 2000)

Ahora bien, según otros estudios la semilla de moringa puede emplearse en los procesos de tratamiento de agua ya que presentan una gran concentración de proteínas con propiedades floculantes las cuales lo hacen ideal para el tratamiento de turbidez. (Garrido, 2005)

Todo lo planteado anterior mente nos hace preguntar, si realmente las semillas de moringa nos aportan características de descontaminación en el agua para tenerla en cuenta como una alternativa de coagulante en los sistemas de tratamiento de aguas y cómo será su comportamiento con los diferentes niveles de turbiedad. (German Melo, 2012)

## **1.2 Justificación.**

La Moringa oleífera es una planta tropical perteneciente la familia Moringácea. Es originaria del noroeste de la India, y es conocida en República Dominicana como Libertad.

El coagulante es declaradamente activo, seguro y barato, siendo posible su amplia utilización en el tratamiento del agua, lo que trae beneficios económicos para los países productores, además de constituirse en una alternativa ambientalmente correcta. (Damileth Duarte, 2015)

La producción de moringa o libertad, de gran poder medicinal y alimenticio, comienza a propagarse de manera significativa en el país, y ya se le ve como alternativa la comercialización de varios de sus derivados. (Ponce, 2010)

En todo el país hay pequeñas plantaciones, pero en Dajabón un solo productor dispuso sembrar mil tareas desde que se enteró de sus bondades curativas y de su demanda para comercializarla. (Ponce, 2010)

Eleazar Mota Henríquez, principal propulsor del proyecto en Baoba del Piñal, provincia María Trinidad Sánchez, dijo que su propósito es que la siembra se propague en todo el país. (Ponce, 2010)

Junto con José Diloné, Mota Henríquez ha sembrado 28 tareas y contempla llegar hasta las 90, como forma de comercializarla a través de organizaciones no gubernamentales que trabajan en programas contra la desnutrición infantil, lo que incluye establecer una panadería. (Ponce, 2010)

Ha creado un impacto de esperanza en sectores representativos de esta ciudad, el boom generado por la reconocida Moringa o planta de la libertad. Valorada como excepcional en lo alimenticio, medicinal, agronómico y tecnológico, esta planta ha despertado el interés de amplios sectores nacionales e internacionales. (Gómez, 2012)

Diversos estudios mostraron que la utilización del Moringa oleífera es comparable al sulfato de aluminio, siendo recomendada su utilización como uno coagulante eficaz para el tratamiento de agua en diversas aplicaciones. (Díaz et al., 1999)

Considerando el alto costo que implica la potabilización y, más aún, el residual de aluminio que pudiera presentar el agua tratada, se justifica la evaluación de la efectividad de especies vegetales como coagulantes en la potabilización. Una de estas especies es la Moringa oleífera, que ha sido usada con éxito como coagulante en el tratamiento de aguas en otros países. Por otra parte, esta planta está ampliamente distribuida en las zonas de bosque seco tropical y se reproduce con facilidad, inclusive, en los lugares en los cuales la reproducción de otras especies es limitada. En consecuencia, se estudia como una posible alternativa de coagulación para el

tratamiento de aguas crudas, ya que esta planta puede producirse en nuestro país sin necesidad de comprar otros coagulantes de fuentes externas.

### **1.3 Preguntas de la investigación**

- ¿Es viable el uso de las semillas de moringa como coagulante natural en el proceso de potabilización de agua?
- ¿Qué tipos de pruebas se harán a la muestra de agua cruda tomada del río Ozama para verificar el desempeño de la harina de la semilla de moringa como floculante?
- ¿Cómo se comporta la dosis de la moringa aplicada para los diferentes niveles de turbiedad con los de sulfato?
- ¿Cómo es el comportamiento de los niveles de turbiedad de la muestra coagulada con la semilla de moringa luego del filtrado?
- ¿Qué tipos de maquinarias se pueden utilizar para la extracción de la semilla de moringa?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Estudiar el comportamiento de la semilla de moringa como coagulante frente al sulfato de aluminio en el tratamiento con diferentes turbiedades tomando las muestras del río Ozama (República Dominicana).

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Reconocer la viabilidad del uso de las semillas de moringa como coagulante natural en el proceso de potabilización de agua.
- Realizar pruebas de jarra a una muestra de agua cruda tomada del río Ozama para verificar el desempeño de la harina de la semilla de moringa como floculante.
- Comparar la dosis de la moringa aplicada para los diferentes niveles de turbidez con los de sulfato.
- Evaluar los niveles de turbiedad de la muestra residual con la semilla de moringa luego del filtrado.

## 1.5 Antecedentes

La historia del agua potable es muy remota. En Siria y Babilonia se construyeron conducciones de albañilería y acueductos para acercar el agua desde sus fuentes a lugares próximos a las viviendas. (F. Ramirez, s.f.)

A inicio de la década de los setenta, en varios países latinoamericanos se adoptó la tecnología de tratamiento de agua potable para países en vía de desarrollo. Estos nuevos procedimientos indicaron la necesidad de utilizar coagulantes naturales locales que pudieran disminuir en parte o en su totalidad, el consumo de reactivos químicos importados. (Jimenez, 2012)

El agua es un recurso esencial para los seres vivos, es el líquido vital para la sustentación de la vida que permite la sobrevivencia del ser humano en el planeta. Este recurso se encuentra en la naturaleza en distintas formas: nevados, lagunas, cursos de aguas superficiales (riachuelos y ríos) y agua subterránea, sin embargo, en algunos de los casos el agua presenta impurezas y para remover esta coloración se utiliza la clarificación, la cual por medio de un proceso de coagulación-floculación logra llevar el agua a condiciones deseadas en la potabilización. (Ramirez, s.f.)

En los países en desarrollo, los procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de agua se realiza utilizando materias primas importadas. En un intento de eludir los problemas



asociados con los métodos de purificación convencionales, los coagulantes - floculantes de origen vegetal son una alternativa en la remoción de contaminantes en el agua. (Ramirez, s.f.)

Los procesos de coagulación y floculación permiten la remoción de partículas suspendidas y coloidales (turbidez). La materia prima propuesta para el tratamiento del agua se extrae de la naturaleza sin ningún proceso invasivo; de esta manera se rompe el paradigma de la exclusividad de los productos químicos industriales tales como el sulfato de aluminio y el sulfato férrico para tratar el agua y se abre la posibilidad a nuevas tecnologías a bajo costo, inocuas para la salud humana y respetuosa con el medio ambiente. Esta revisión sirve como base para conocer los agentes naturales y sus principales aplicaciones en el tratamiento del agua. Como resultado se obtiene que los dos agentes naturales más estudiados y utilizados a nivel mundial y que presentan gran capacidad en los procesos de coagulación del agua son la Moringa oleífera y diferentes tipos de cactus; siendo una alternativa ambientalmente sostenible para poblaciones que no puedan acceder al agua debido a su situación socioeconómica. (Hildebrando Ramírez Arcila, 2015)

Según estudios realizados por (Iván Mendoza, 2000) en la ciudad de Maracaibo, Venezuela, realizaron estudios con el fin de dar a conocer el uso de la Moringa Oleífera como coagulante en el potabilización de aguas llegaron a la siguiente conclusión: El uso de Moringa Oleífera como coagulante natural disminuye los valores de turbidez inicial de 7, 11, 15, 20, 29 y 49 NTU a valores iguales o menores que los establecidos por las normas de Calidad del Agua de Venezuela (5 NTU).

En la Universidad Autónoma de Yucatán, México se realizó el estudio “Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de Moringa Oleífera lam coomo coagulante” por los ingenieros F.D. Morales Avelino, R. Méndez Novelo y M. Tamayo Dávila en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias donde llegaron a la conclusión de que los tiempos de contacto requeridos en el proceso de coagulación con Moringa son menores o iguales a 5 minutos y resultan inferiores a los requeridos por algunos coagulantes metálicos. Con el tren de tratamiento coagulación-sedimentación y la utilización de altas dosis de coagulante (25 g/l), se obtuvieron reducciones de 80% de absorbancia. La dosis óptima de Moringa fue de 25 g/l. La forma de agregación de la Moringa (solución o suspensión) no fue significativa, por lo que resultaría más económico utilizarla en suspensión. La utilización de Moringa como tratamiento fisicoquímico del tipo coagulación-floculación se puede utilizar con éxito en la remoción de materia orgánica de las aguas de fosa estudiadas. (F.D. Morales Avelino, 2009)

Investigaciones de Hildebrando Ramírez Arcila y Jhoan Jaramillo Peralta, titulada “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua” realizadas en Colombia el año 2015, arrojó que todos los extractos, de origen natural, ensayados y reportados por en esta revisión son eficientes en la remoción de turbidez del agua, comparados en algunos casos con el sulfato de férrico o aluminio. La adición de coagulantes naturales, como ayudas de coagulación, reduce significativamente la dosis de productos químicos. Los coagulantes naturales funcionan mediante un mecanismo de adsorción seguido por la neutralización de carga. El empleo de materiales naturales puede minimizar el impacto de los coagulantes químicos, reduciendo de manera significativa los costos de tratamiento si se dispone de ellos a nivel local. Las fuentes

para la producción de agentes naturales dependen, en gran medida, de la disponibilidad de los recursos. (Hildebrando Ramírez Arcila, 2015)

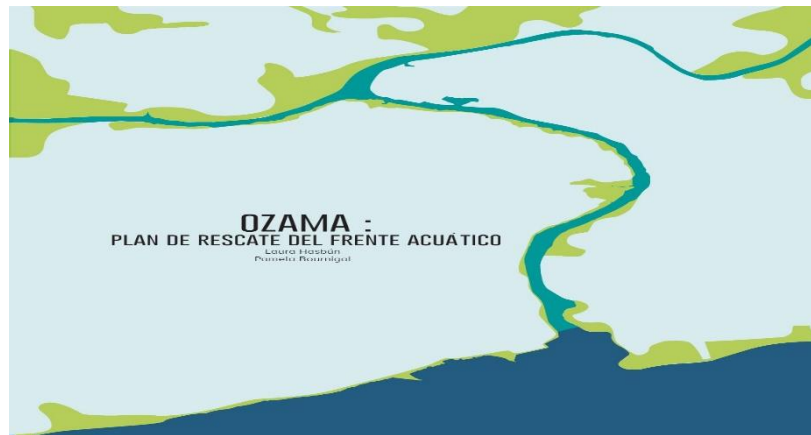
Diversos estudios han demostrado que la actividad coagulante de las semillas de Moringa es comparable con la obtenida por el uso de sulfato de aluminio, Con la ventaja de no alterar las propiedades del agua tratada, por lo que se recomienda su uso en poblaciones rurales como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la salud para la población consumidora. Por lo anteriormente expuesto, se hace necesaria la generación de nuevos proyectos de investigación para la búsqueda de alternativas, que incluyan la utilización de coagulantes de origen vegetal, que sean amigables con el medio ambiente e inocuas para la salud humana. (Hildebrando Ramírez Arcila, 2015)

### **1.6 Alcances y Limitaciones**

La presente investigación alcanzaran lo que son: la eficiencia de las semillas de moringa como floculante en presentación de las soluciones de acuerdo a los experimentos realizados por medio a la calidad de agua o niveles de turbiedad, su comportamiento respecto a las dosis aplicadas y se limitara : a presentar una estimación de costos y comparar los análisis físicos del agua tratada con sulfato y la semilla de moringa, al igual que nos limitaremos en hacer gráficos comparativos a los asentamientos de cada muestras en los diferentes tiempos, y a un solo análisis de comparación de nivel de turbidez del sulfato y la moringa.

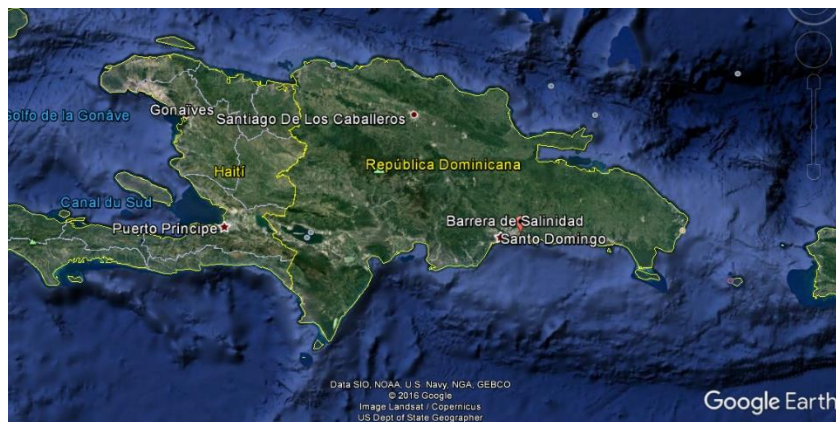
## 1.7 Ámbito de estudios

El presente estudio se realizó en la República Dominicana, en el río Ozama en la comunidad del Naranjo, San Luis, Provincia Santo Domingo Este, donde se tomaron las muestras de aguas crudas.



*Ilustración 1 Río Ozama*

Fuente: Revista tecYt 2016



Fuente: Google Earth

*Ilustración 2 Mapa Republica Dominicana*

## **CAPITULO II MARCO TEORICO**

### **2.1 Moringa**

La moringa es una especie vegetal rica en numerosos nutrientes. Aunque es originaria del continente asiático, crece en todo el mundo y en casi cualquier condición. Es popular en África, Asia y América. Gobiernos como el de Sudáfrica, Venezuela y Cuba invierten esfuerzos por popularizar su cultivo. (mor) La moringa contiene gran cantidad de:

- Antioxidantes
- Vitamina A (beta carotenos)
- Vitamina C
- Vitamina k
- Vitamina E
- Bioflavonoides

Que evitan el efecto de los radicales libres en el organismo, retrasando el envejecimiento, igualmente es rica en las vitaminas del grupo B (b1, b2, b3, b5, b6 y b12). Las hojas y vainas de la Moringa aportan gran cantidad de nutrientes al organismo, multivitaminas, aminoácidos, y minerales tales como el calcio, cromo, cobre, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, selenio, y zinc. (Propiedades.net, 2015)

### **2.1.1 Propiedades de la moringa y sus semillas en el proceso de remoción de turbidez.**

Las semillas de moringa contienen vitaminas y minerales indispensables en la salud. Puede consumirse directamente. Son útiles, para remover las impurezas del agua, incluso el agua más sucia puede ser clarificada por la acción de las semillas de moringa.

Las semillas de moringa contienen una proteína que se une a las impurezas del agua separándolas de esta al precipitarse en forma de sólidos. Además, de eliminar las impurezas sólidas, este método también elimina entre el 90 % y el 99 % de las bacterias. (mor)

El grupo multinacional de científicos ha encontrado que la proteína de esta semilla se une con mayor fuerza que los químicos tradicionales a las impurezas, por lo que es más eficiente, se necesita sólo una semilla para clarifica un vaso de agua muy contaminada. (mor)

#### **Beneficios para la salud: Semilla de moringa para qué sirve (propiedades)**

Al igual que las hojas de la planta moringa, las semillas de moringa son ricas en vitaminas A, B y C. Son altas en *Zinc*, un mineral que ayuda a la correcta regulación de la glucosa en la sangre, beneficiando principalmente a las personas diabéticas. (mor)

Además, su aceite es una variedad *mono insaturada*, mucho más saludable que el aceite común. Reducen la cantidad de lípidos dañinos en nuestro cuerpo, mejorando, así, la salud del sistema cardiorrespiratorio. (mor)

La semilla de moringa posee una proteína capaz de adherirse a muchas moléculas, por lo que consumirla ayuda también a limpiar nuestro organismo, pero esta es la razón por la que consumirla en exceso es peligrosos, ya que podría hacer que perdamos sustancias indispensables. Lo recomendable es no comer más de 4 semillas enteras al día. (mor)

### **2.1.2 Utilidad de la Moringa**

Recientemente, varios institutos de investigación y organismos se han interesado por su capacidad para el tratamiento, parcial al menos, del agua, y han puesto a punto métodos de utilización cuya eficacia ha quedado demostrada. Así, el Instituto de los Asentamientos Humanos de Bandung (Indonesia) lleva varios años desarrollando con éxito un tratamiento de 25 l de agua en el propio hogar por floculación-decantación mediante Moringa y filtración posterior, además de una unidad de tratamiento de mayor tamaño, para 200 l, que utiliza Moringa y la filtración con grava, arena o carbón de madera. (WikiWater, s.f.)

Un equipo germano-burundés ha creado también una planta de tratamiento a base de Moringa, con una capacidad de 2,5 m<sup>3</sup>/día, suficientes para abastecer a 100 personas. El agua atraviesa por simple gravedad un estanque de desarenado, un decantador y un filtro de arena lento

pertenecientes a la instalación; la solución floculante a base de Moringa se añade de manera continua al agua no tratada. (WikiWater, n.d.)

### **Aceite Oleico**

Ya que describimos los varios usos del árbol *Moringa oleifera* el uso de las semillas machacadas para clarificar el agua potable, es bueno saber que otros usos podemos darle antes de ser triturada, sabiendo que de la moringa se puede extraer un aceite oleico comestible. (Geoff Folkard, s.f.)

El aceite comestible es una parte importante de nuestra dieta. Es una fuente concentrada de energía nutritiva. Si se agregan pequeñas cantidades a la dieta de los niños pequeños, se les proveerá una dieta más nutritiva y variada. Sin embargo, la mayoría del aceite comestible es caro y producido por compañías comerciales. (Geoff Folkard, s.f.)

El Intermediate Tecnología Development Group (ITDG) en Zimbabue ha considerado máquinas apropiadas para procesar cultivos de granos de aceite en pequeña escala, principalmente del girasol. Los molinos de aceite que se han introducido han traído muchos beneficios a las zonas vecinas. Los agricultores tienen un buen mercado para sus semillas, la gente se beneficia de un aceite comestible más barato y de mejor calidad y los molinos ofrecen empleo. (Geoff Folkard, s.f.)



El aceite de moringa ha sido usado en preparaciones y bálsamos para la piel desde la época de los egipcios. El aceite de color amarillo intenso y con un sabor agradable ha sido comparado en calidad con el aceite de oliva. El grano contiene entre 35–40% de su peso de aceite. Estudios realizados recientemente en Gana demostraron que el jabón de aceite de moringa es muy bueno. Las pruebas para extraer el aceite de la semilla de moringa se realizaron con la asistencia entusiasta de Keith Machell. (Geoff Folkard, s.f.)

### **Técnicas de extracción**

La semilla de moringa tiene un grano bastante blando, por lo tanto, el aceite se puede extraer a mano usando una prensa a rosca. Primero se tritura la semilla, se agrega el 10% del volumen en agua y se va calentando lentamente sobre un fuego bajo durante unos 10–15 minutos, teniendo mucho cuidado de no quemar las semillas. Con una de estas pruebas se pudieron extraer 2,6 litros de aceite de 11kg de granos. Una vez que se hayan desarrollado las condiciones óptimas de procesamiento, se puede esperar una eficiencia de extracción del 65%. (Geoff Folkard, s.f.)

Se realizaron más pruebas usando un tipo de extractor de aceite motorizado a rosca proveniente de la India. Durante dos horas de operación, 52 kg de semillas rindieron 12,5 litros de aceite prensado en frío. El procesamiento adicional de la torta de aceite rindió otros 10 litros de aceite. (Geoff Folkard, s.f.)

Los métodos tradicionales para extraer aceite de las semillas son casi siempre lentos e ineficientes. Estos implican extraer los granos, machacarlos y hervirlos durante 5 minutos en

agua. Después de hervir, es necesario colarlos a través de una tela a un recipiente limpio. Luego hay que dejarlos descansar durante la noche para que el aceite se separe del agua. Quizás haya algunos restos flotando en la superficie del aceite. Las tribus en Omán usan este método para extraer el aceite de la Moringa con bastante éxito. Si no se tiene acceso a una máquina, se puede probar esta técnica. (Geoff Folkard, s.f.)

Una vez que se ha extraído el aceite, la torta de sabor agrio que queda tiene todas las propiedades de la semilla fresca para tratar y clarificar agua. Además, tiene un 60% de proteínas, y se puede usar como fertilizante. Actualmente se está estudiando su posible uso como alimento para los animales y las aves de corral. (Geoff Folkard, s.f.)

### **2.1.3 El uso industrial de Moringa para el tratamiento del agua potable**

Teóricamente, este método puede utilizarse en estaciones de tipo industrial. Sin embargo, dadas las importantes cantidades de producto necesarias para el tratamiento, la Moringa se utiliza generalmente de forma temporal o complementaria, como sustituto de los floculantes habituales (sulfato de aluminio, p. ej.).

## **Ventajas**

- En algunos países, el coste de la semilla de Moringa es, o puede ser, competitivo en relación con los floculantes industriales. Pero no hay experiencia ni estudios económicos suficientes sobre el tema.
- Se trata de un producto de origen tropical, interesante para los países del sur, puesto que no tiene impuestos de importación y no requiere del pago en divisas.
- Los coagulantes metálicos provocan una contaminación que hay que controlar; por su parte, el Moringa carece de productos químicos nocivos que dejen trazas en los lodos y las aguas.
- El uso del aceite de Moringa permite rentabilizar la depuración y la floculación.
- La eficacia de Moringa como floculante es independiente del pH de agua, lo que evita tener que utilizar rectificadores de acidez.
- Los errores de dosificación no provocan toxicidad.

## **Desventajas**

- Las semillas puestas en la solución liberan materia orgánica, lo que facilita el crecimiento bacteriano.
- El abastecimiento depende de la producción agrícola, por lo que hay que crear unas reservas que permitan hacer frente a sus fluctuaciones. Deben determinarse las condiciones de almacenamiento óptimas.

- Las concentraciones de coagulante son superiores a las requeridas con el sulfato de aluminio.
- La decantación a bajas temperaturas resulta difícil. (WikiWater, n.d.)

#### **2.1.4 Maquinaria necesaria para la extracción del polvo de la semilla de Moringa**

##### **La mesa separadora**

Aquí mostramos una mesa vibradora para la separación adicional de material limpio. Separa granos diversos por peso, que previamente han sido separados según el espesor y la longitud. Comparado con otros sistemas la mesa es apta para separar los materiales con la misma gravedad, pero con distinta elasticidad. La mesa hace una separación sostenida del material en 2 fracciones: generalmente ligero y pesado. (Flemming Wyrztz, s.f.)

La mesa separadora mejora considerablemente la calidad del producto final mientras que quita el material indeseado tal como granos sin capacidad de la germinación, otros granos, piedras, material descascarado, cornezuelos, granos con hongos, granos duros de la malta, entre otros. (Flemming Wyrztz, s.f.)

Posee un sistema de movimiento robusto y probado a conciencia, lo que hace que la máquina sea muy confiable en la operación. Las fracciones intermedias no se reciclarán. Los compartimentos de separación grandes de la mesa dan una capacidad más alta por compartimento. La máquina funciona sin uso de aire. La mesa es comparativamente silenciosa y tiene un consumo de energía muy bajo comparado con métodos alternativos. (Flemming Wyrztz, s.f.)



*Ilustración 3 Mesa Separadora*

Fuente: [http://www.los-seibos.com/Mesa\\_separadora.html](http://www.los-seibos.com/Mesa_separadora.html)

### **Descascarilladoras de semillas**

Tras limpiar las semillas oleaginosas se envían a los equipos de descascarillado para separar los granos. Las descascarilladoras de semillas poseen un descortezador de semilla único que es controlado por una tecnología de conversión de frecuencia. (Henan Kingman Mechanical & Electrical Complete Plant Co., Ltd. (KMEC), s.f.)

Las semillas que quedan sin pelar se reciclan dentro del equipo hasta que sean correctamente descascarilladas. La eficacia de la descascarilladora es del 95-98% con una tasa de granos partidos del 2-5%. (Henan Kingman Mechanical & Electrical Complete Plant Co., Ltd. (KMEC), s.f.)



*Ilustración 4 Descascarilladora de semillas*

Fuente: <http://www.plantasaceiteras.com/descascarado-de-semillas-oleaginosas.html>

## **Molino de granos**

Ya por último se procede a moler las semillas de Moringa en un molino de granos, aquí se procura que el polvo resultante tenga aspecto de harina y no sea mayor que 1mm.



*Ilustración 5 Molino de granos*

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=SJN3tu2HV5k>

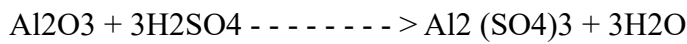
## **2.2 Sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio es un compuesto químico inorgánico; una sal de fórmula  $Al_2(SO_4)_3$ , es sólido o líquido, dependiendo de la materia prima puede tener color café o blanco. Es ampliamente usada en la industria, comúnmente como floculante en la purificación de agua potable y en la industria del papel. (Delma, n.d.)

El Sulfato de Aluminio se obtiene de reaccionar un mineral alumínico (Caolín, Bauxita, Hidrato de Aluminio) con Ácido Sulfúrico a temperaturas elevadas; la reacción que se lleva a cabo es la siguiente: (Delma, n.d.)

$\text{Al}_2\text{O}_3$  = Óxido de Aluminio (Alúmina)

$\text{H}_2\text{SO}_4$  = Ácido Sulfúrico



Una vez que se obtiene el Sulfato de Aluminio, se puede terminar en dos presentaciones, líquido y sólido. (Delma, n.d.)

### **2.2.1 Propiedad Floculante**

Cuando el pH del agua es alto (mayor de 7), el aluminio precipita arrastrando las partículas en suspensión, dejando el agua transparente. Esta propiedad es comúnmente usada en piscinas y para tratamiento de aguas industriales para evitar formación de gérmenes y algas. (Delma, n.d.)



### **2.2.2 Usos y aplicaciones del Sulfato de Aluminio:**

- En la industria de la Pulpa y Papel – Ajuste de pH, encolado (brea o cera) ajuste de retención (finos, carga, pigmentos, etc.) además de servir en el tratamiento de sus efluentes.
- Para el tratamiento de aguas residuales, es efectivo en la eliminación del fósforo de aguas resultantes de procesos industriales o residuales domésticas, además clarifica el agua precipitando los sólidos suspendidos.
- Para tratamiento de agua potable, el sulfato de aluminio permite clarificar el agua ya que es coagulante y por ello sedimenta los sólidos en suspensión, los cuales por su tamaño requerirán un tiempo muy largo para sedimentar.
- En la manufactura química, se emplea en la producción de otras sales de aluminio.
- Se emplea en la fabricación de jabones de aluminio y grasas para usos industriales.
- Para manufactura de catalizadores sintéticos en la industria del petróleo.
- Como astringente en la preparación de cosméticos y otros medicamentos. (Delma, n.d.)

## **2.3 Tratamiento Primario**

### **2.3.1 Sedimentación**

La sedimentación es el proceso del tratamiento primario por el cual se eliminan las partículas sólidas presentes en el agua por medio de la gravedad. Dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión que tengamos presentes en el agua y de su tendencia a formar flósculos, podemos distinguir cuatro tipos diferentes de sedimentación, como se indica en la siguiente gráfica. (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

#### **Diagrama sedimentación:**

##### **❖ Sedimentación de Tipo 1 o de Partículas Discretas del Tratamiento Primario:**

Hay una baja concentración de sólidos, las partículas sedimentan como entidades individuales y no interaccionan entre ellas. Este tipo de sedimentación es la que se utiliza para eliminar las arenas en las aguas residuales. (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

##### **❖ Sedimentación de Tipo 2 o Floculante del Tratamiento Primario: (el utilizado)**

Hay una baja concentración de sólidos en suspensión en el agua, pero las partículas interaccionan entre ellas y forman flósculos (grupos de partículas adheridas entre sí). La floculación es una operación muy importante cuando tenemos coloides presentes en el agua. Los coloides son partículas netamente cargadas, por lo que no sedimentan por sí mismas. mediante la adición de coagulantes y floculantes, conseguimos desestabilizar estas

cargas y posibilitamos que estas partículas sedimenten. (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

❖ **Sedimentación de Tipo 3 o Retardada o Zonal del Tratamiento Primario:** Este tipo de sedimentación es característica de suspensiones con una elevada concentración de sólidos. Las partículas se adhieren entre sí y la sedimentación se produce en bloque o pistón. Las interacciones entre las partículas provocan una disminución de la velocidad de sedimentación de cada una de ellas. Se caracteriza por que hay una capa límite bien definida entre la masa sedimentable y el líquido sobrenadante. (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

❖ **Sedimentación de Tipo 4 o de Compresión del Tratamiento Primario:** La sedimentación por compresión es la que típicamente se da en el fondo de los clarificadores en un proceso de lodos activos. La concentración de sólidos es tan grande que se ha creado una estructura, y la única manera de progresar en la sedimentación es mediante la compresión ejercida por el peso de las nuevas partículas que se van depositando encima de las ya existentes. (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

### **2.3.2 Coagulación – Flocculación**

Como se ha visto en el apartado de sedimentación, cierto tipo de partículas forman coloides, que son agregados de partículas que están netamente cargados y que, por lo tanto, no sedimentan por sí mismos. Debido a esto, la etapa de coagulación – flocculación es muy importante en un proceso de tratamiento de aguas. (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

## **Coagulación**

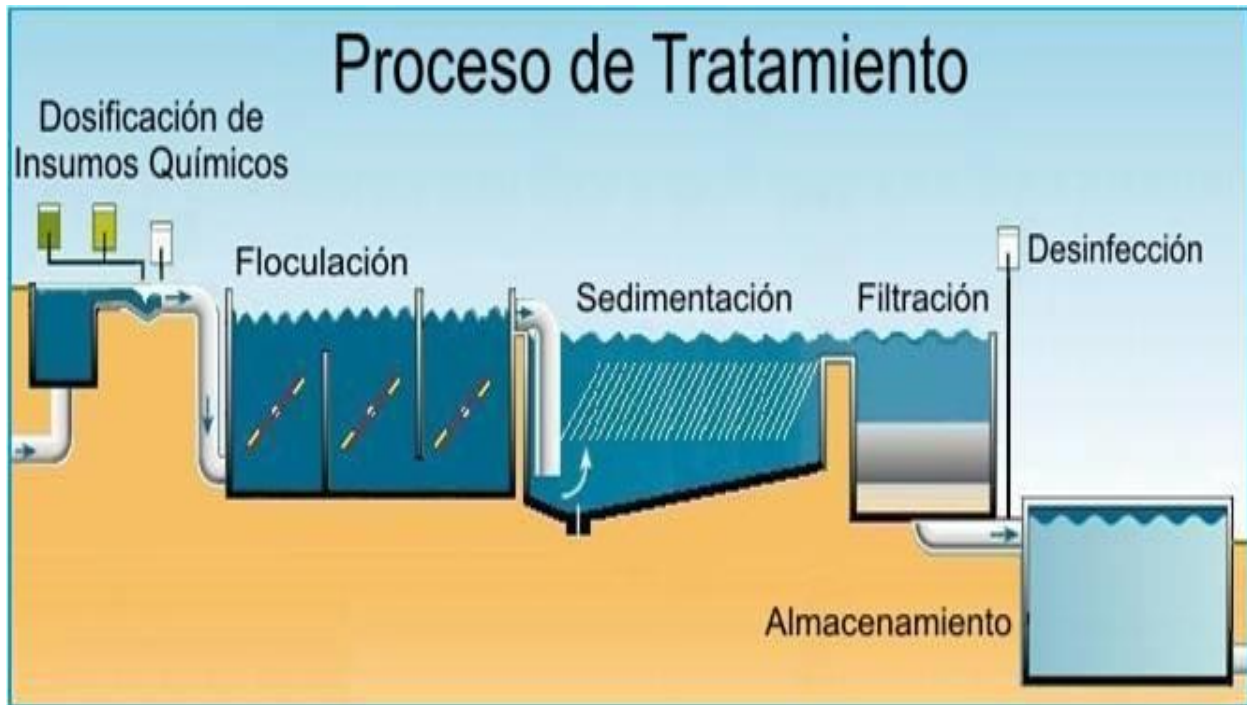
Durante esta etapa del tratamiento primario, mezclamos el aditivo (coagulante) con el agua. Con ello conseguimos que las partículas coloidales se desestabilicen y formen partículas de un mayor tamaño. Para favorecer una mejor mezcla durante esta etapa, la velocidad de agitación debe ser lo suficientemente alta. Los coagulantes son iones metálicos, generalmente  $Fe^{3+}$  o  $Al^{3+}$ . (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

## **Floculación**

Durante la etapa de floculación buscamos unas condiciones adecuadas para la precipitación de las partículas coaguladas que se han formado durante la anterior etapa de coagulación. Para no deshacer esas partículas, la agitación durante esta etapa debe ser baja. Hay tres grupos de floculantes para el tratamiento primario que se añaden en los procesos de tratamiento de aguas:

- Aniónicos: carboxílicos, sulfónicos, fosfóricos.
- Cationicos: aminas cuaternarias, sulfaminas, fosfaminas.
- Neutros: polialcoholes. (IMAGUA Water Technologies SL, s.f.)

## 2.4 Proceso de tratamiento



*Ilustración 6 Proceso de tratamiento de agua*

Fuente: <http://tratamientodelagua-ana.blogspot.com/>

Dosificación de insumos químicos: es un pretratamiento que puede ser un proceso físico, químico o mecánico que remueve algunas impurezas o modifica algunas de las características indeseables del agua (tales como sabor y olor, hierro y manganeso, remoción de sustancias orgánicas, dureza, etc.) antes de otros procesos adicionales. En ocasiones, la adición de sustancias químicas para alterar la calidad del agua es la única técnica de tratamiento usada. Puede incluir control de la corrosión, oxidación de hierro y manganeso o separación, desinfección y fluorización.

Coagulación y floculación: son un proceso fisicoquímico para mejorar la eficiencia de reducción de material particulado y de coloides de los siguientes procesos de sedimentación o filtración. La coagulación incluye la dosificación de sustancias químicas para desestabilizar las partículas suspendidas con cargas similares. Esto permite que se unan y que se inicie la formación de flósculos. La floculación, que en parte se superpone al proceso de coagulación, requiere la mezcla suave de las partículas desestabilizadas para formar flósculos sedimentables.

Sedimentación: Proceso después de la coagulación y floculación para reducir la velocidad a fin de remover los sólidos sedimentables, permitiendo que las partículas se asienten para separar las partículas sucias de las limpias antes de la filtración.

Filtración: Paso del agua a través de un medio filtrante poroso que puede ser arena, antracita u otro material granulado para remover impurezas en partículas y floculos.

Proceso de desinfección: Proceso de destrucción de organismos patógenos con cloro, ciertos compuestos que liberan cloro u otras sustancias o métodos con capacidad desinfectante.

Almacenamiento: aquí se acumulará el agua luego de pasar por todo el proceso de tratamiento, permitiendo así que el uso del mismo pueda ser usado para abastecer las necesidades humanas.

## **2.5 Generalidades del río Ozama**

El río Ozama es un río de la República Dominicana que nace en la Gran Hilera, una elevación de la cordillera Central del país. Tiene una longitud aproximada de 130 km, de los que unos 15 km, son navegables por pequeñas y medianas embarcaciones. Fluye hacia el este y sureste hasta su confluencia con el curso del Yabacao, uno de sus más importantes tributarios. A partir de este momento discurre hacia el suroeste y sur hasta desembocar en el mar Caribe por la ciudad de Santo Domingo, donde se encuentra el puerto más importante de la nación. Riega una fértil llanura dedicada principalmente al cultivo de la caña de azúcar. Numerosos ríos y arroyos, como el Isabela, vierten su caudal al Ozama, cuya desembocadura fue explorada por el navegante Bartolomé Colón, que fundó también la ciudad de Santo Domingo en 1496.

## **2.6 Procesos empleados para la obtención de los resultados.**

### **2.6.1 Prueba de jarra**

La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan

la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

### **2.6.2 Para la extracción de la semilla de Moringa.**

- La semilla de la moringa debe dejarse madurar en el árbol
- Deja las semillas al sol hasta que estén secas, puede tardar entre 1 y 3 días.
- Desprende la cáscara exterior y muele la parte blancuzca, obtendrás un polvo blanco y lo que pareciera ser pequeñas piedras.
- Disuelve el polvo una cantidad de agua destilada para así tener una solución disuelta de la semilla de moringa.

### **2.6.3 Procesos empleados para la obtención de los resultados para los diferentes niveles de turbiedad con la prueba de jarra.**

Luego de ser pesada la cantidad de gramos de la semilla de moringa, y luego de proceder a disolver el polvo con agua destilada se precede a ejecución de del análisis de la muestra con las pruebas de jarras, tomando en cuenta los siguientes pasos:

1. Se llenan los recipientes de prueba o frasco con la muestra de agua cruda. Sabiendo que se utilizará un contenedor como control mientras que los otros cinco contenedores se pueden ajustar dependiendo de qué condiciones se encuentran en evaluación. Por ejemplo, el pH



de los frascos se puede ajustar o variaciones de las dosis de coagulante se puede agregar a determinar las condiciones óptimas de funcionamiento.

2. Se añade el coagulante a cada contenedor y agitar a aproximadamente 200 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor
3. Se reduce la velocidad de agitación de 35 a 40 rpm y se continúa batiendo por 15 a 20 minutos. Esta velocidad más lenta de mezcla ayuda a promover la formación de flóculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a grandes flóculos.
4. Se Apagan los mezcladores para permitir que las partículas se asienten, tomando en consideración diferentes tiempos para el asentamiento y así medir la turbidez final en cada contenedor. La turbidez final se puede evaluar más o menos a simple, pero en este caso fue utilizado un turbidímetro para el mismo.

#### **2.6.4 Procesos empleados para la obtención de los resultados para el filtrado.**

Luego de haberse asentado las partículas y obtenidos los resultados con los diferentes niveles de turbidez con las diferentes dosis, se precede a el proceso de filtrado. En este caso fueron utilizados papeles filtrantes walmart (ilustración). Sabiendo que:

- Se filtran cada una de las muestras con el papel filtrante.
- Se procede a tomar los diferentes niveles de turbiedad con las diferentes dosis.



*Ilustración 7 Cono filtrante*

Fuente: Propia

## 2.7 Conceptos.

- **Agua Segura:** es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en la norma, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana. (Ernesto Samper Pizano, 1998)
- **Clarificación:** proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Coagulación:** aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Coagulantes:** sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

- **Coloides:** sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Floculación:** aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Material flotante:** aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Mezclador:** equipo para producir turbulencia en el agua. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Mezcla rápida:** agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Mezcla lenta:** agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **pH:** es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por convención está definido como:  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$  (Ramírez, 2011).

- **Prueba de jarras:** ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Sedimentación:** proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Sólidos disueltos:** mezcla de un sólido (soluto) en un líquido solvente en forma homogénea. Sólidos suspendidos: partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- **Sólidos sedimentables:** se definen como el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/L. (Ramírez, 2011)
- **Sólidos totales:** se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos. La cantidad y naturaleza de los sólidos presentes en el agua varía ampliamente. En el agua la mayoría de los sólidos se hayan disueltos (SD) y consisten principalmente en sales y gases. (Ramírez, 2011)
- **Sólidos Suspendidos:** Los sólidos suspendidos (SS) se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SS son, tal vez, el tipo de sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua en nuestro medio, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas

- **Zona de Vida:** Zona de vida es la unidad básica del sistema de clasificación ecológica elaborado por L.E. Holdridge en 1978. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

## **CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Enfoque de la investigación.**

Este trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que define una realidad en base al análisis y recolección de datos, de acuerdo a variables identificadas de una realidad. Nos permite realizar un estudio científico de acuerdo a la cantidad de residuos sólidos como elementos basados en la problemática. El investigador evalúa las variables objetivamente (floculación y niveles de turbidez) para indagar la generalización de los resultados realizados.

### **3.2 Tipo de investigación**

Es una investigación descriptiva ya que parte de experimentos realizados con la semilla de moringa, con respecto a los niveles de turbidez del rio Ozama, de acuerdo a los residuos sólidos y su composición, lo cual se busca describir el comportamiento de la semilla de moringa como floculante.

Es de campo, según (Sabino, 1992), los datos de interés se recogen en forma directa de la realidad, mediante el trabajo concreto del investigador y su equipo. Los datos a analizarse se obtienen directamente de la realidad, mediante instrumentos de estudios que se aplican sobre los objetos de investigación.

### **3.3 Procedimiento de investigación**

El proceso de un estudio de investigación tiene unas tres fases interrelacionadas, pero claramente delimitadas: fase conceptual, fase metodológica y fase empírica.

### **3.4 Método de investigación**

El método que se aplicaría a esta investigación es el método hipotético-deductivo (Torres C. A., 2006) consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y buscar refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos.

### **3.5 Técnicas de investigación**

Se utilizará la técnica de la observación abierta y análisis de muestras y documental debido a que la investigación es de tipo experimental.

### 3.6 Población y Muestra.

Se tomaron diferentes tipos de muestras en diferentes puntos del río Ozama, para así poder recolectar muestras con diferentes niveles de turbidez.

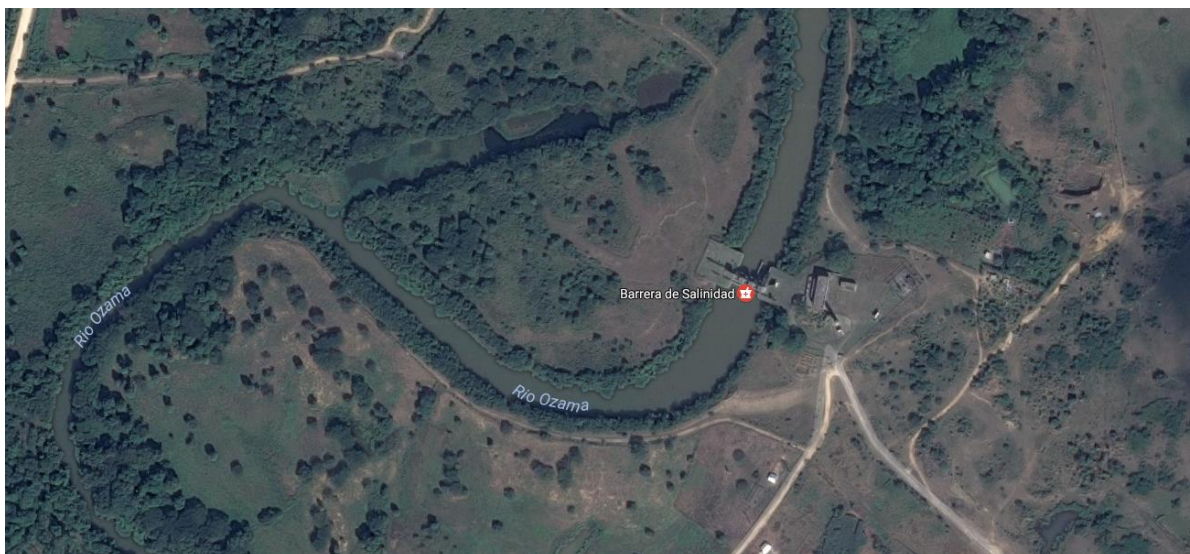


Ilustración 8 Ubicación de toma de muestra

Fuente: Google Earth

# de muestras	Coordenadas		Elevación	Fecha
	Latitud	Longitud		
Muestra 1	18°34'15.4"N	69°47'13.0"W	6	10/02/2017
Muestra 2	18°34'13.7"N	69°47'14.4"W	7	11/02/2017
Muestra 3	18°33'42.4"N	69°46'37.9"W	6	14/02/2017

Tabla 1 Coordenadas de muestras



La información recolectada permitirá determinar el nivel de turbidez del agua antes y después de ser aplicada la semilla de moringa y el sulfato de aluminio por medio a una serie de análisis; objetivo de esta investigación.

### **3.7 Formulación de hipótesis**

De las preguntas del problema formuladas anteriormente, discurren la siguiente hipótesis:

- La semilla de moringa proporcionará la floculación de la remoción de los residuos sólidos del río Ozama.
- La remoción de sedimentos proporcionada por la semilla de moringa es comparable con la del sulfato.

El presente trabajo analiza el comportamiento de la floculación de la semilla de moringa como coagulante, mediante la observación y el análisis de las muestras tomadas con los resultados obtenidos con los mismos procedimientos con los del sulfato de aluminio.

## CAPITULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis de los datos

El agua utilizada procede de la fuente hídrica denominada río Ozama. La solución de Moringa Oleífera utilizada se preparará en todos los casos a una concentración del 5%.

#### 4.1.1 Diseño del experimento

Para el diseño experimental de este trabajo fueron utilizados los parámetros mostrados en la tabla 2 para los análisis de la prueba de jarra con las diferentes muestras tomadas de río Ozama.

Parámetros	Niveles de Turbiedad		
	M1	M2	M3
NTU	30.4	206	816
Vel. Agitación Rápida (RPM)	200	240	200
Tiempo Agitación Rápida (MIN)	1	1	1
Vel. Agitación Lenta(RPM)	40	40	40
Tiempo Agitación Lenta (MIN)	15	15	15

**Tabla 2 Parámetros para la prueba de jarra.**

**4.1.2 Comparación de la efectividad de la semilla de moringa en comparación con la del sulfato de aluminio para las muestras 1 y la muestra 2.**

➤ **Muestra 1**

A partir del análisis estadístico se procedió a hacer las primeras pruebas de jarras las siguientes condiciones de agitación y mezclado:

- Nivel de turbiedad de agua cruda = 30.4
- Velocidad de agitación rápida = 200 rpm
- Tiempo de agitación rápida óptimo = 1 min
- Velocidad de agitación lenta = 40 rpm
- Tiempo de agitación lenta = 15 min
- Primera sedimentación = 20 min
- Dosis en mg/litros= 10 mg/litros muestra 1--- 15 mg/litros muestra 2

Dándonos como resultados los siguientes niveles de turbiedad mostrados en la tabla 3:

<i>Variación de los niveles de turbiedad</i>				
<b>MIN</b>	<b>NTU M1</b>	<b>Dosis M1</b>	<b>NTU M2</b>	<b>Dosis M2</b>
20	27.6	0.2	24	0.3
40	24.5	0.2	19.8	0.3
60	22.8	0.2	17.4	0.3
90	19.7	0.2	13.3	0.3
Dosis (mg/litros)		10		15
%REMOCION	35.197368		56.25	

**Tabla 3** Variación de los niveles de turbiedad de la primera muestra.

En esta tabla se muestran los valores de la variación de los niveles de turbiedad luego de aplicarse una dosis de 10 miligramos por litros de semilla de moringa y 15 miligramos por litro de semilla de moringa. También se muestra el comportamiento de los diferentes niveles de turbiedad luego de ser asentados en un intervalo de tiempo de 20 a 90 minutos. El cual luego de ser asentado, se procedió a realizar un análisis de su comportamiento al pasar por un proceso de filtración, Como se muestra en la tabla 4.

<b>Eficiencia de la semilla de moringa luego de ser filtrada</b>				
MIN	NTU M1	Dosis M1	NTU M2	Dosis M2
20	8.2	0.2	6.58	0.3
90	3.13	0.2	2.37	0.3
Dosis (mg/litros)		10		15
%REMOCION	89.7039474		92.20394737	

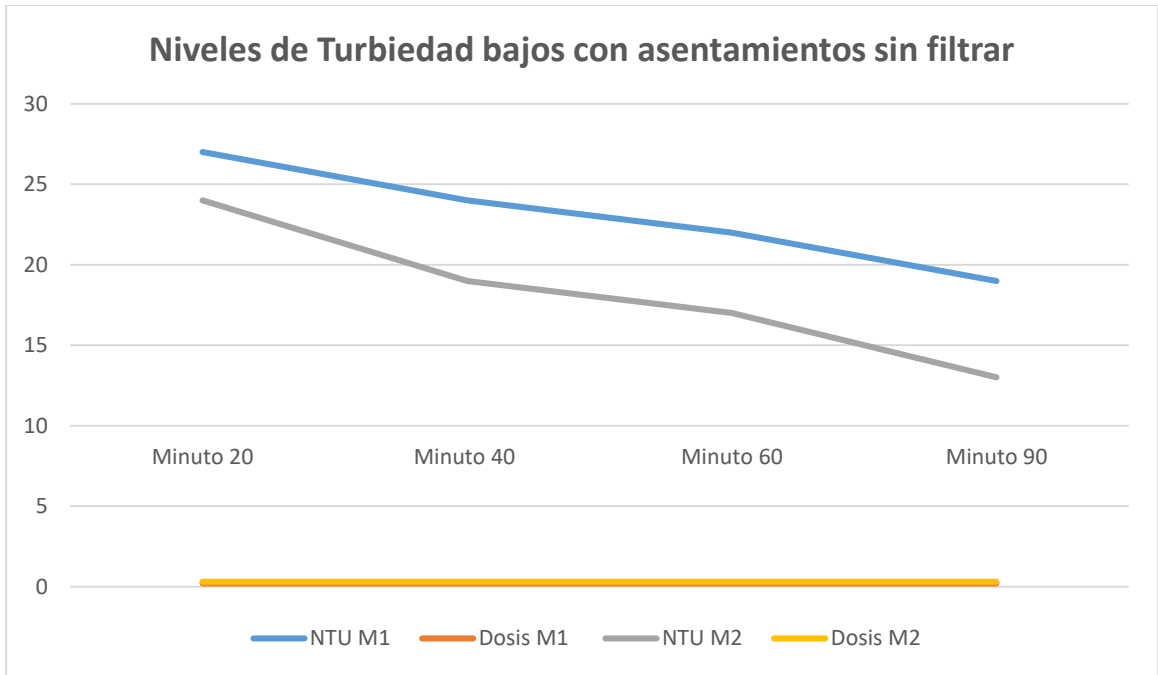
**Tabla 4 Eficiencia de la semilla de Moringa luego de ser filtrada**

En la tabla 5 se muestra el comportamiento del sulfato de aluminio con un nivel inicial de 30 NTU, aplicando dosis de 10 miligramos por litro y 15 miligramos por litro.

NTU	NTU-M1	DOSIS M1	NTU-M2	DOSIS M2
30.2	7.98	0.2	6.31	0.3
DOSIS (mG/L)		10		15
% REMOCION	73.5761589		79.1059603	

**Tabla 5 Comportamiento del sulfato con los niveles de turbiedades de 30 NTU**

El gráfico número 1 muestra la variación de los niveles de turbiedad luego de ser asentados en un intervalo de tiempo de 20 a 90 minutos.



**Grafico 1 Variación de los niveles de turbiedad para las dosis de 10 mg y 15 mg por litros**

➤ **Muestra 2**

Se procedió al análisis estadístico la segunda prueba de jarra con un nivel de turbiedad más alto para así determinar su comportamiento. Dicho esto, se tomaron las siguientes condiciones de agitación y mezclado:

- Nivel de turbiedad de agua cruda = 206 NTU
- Velocidad de agitación rápida = 240 rpm
- Tiempo de agitación rápida óptimo = 1 min
- Velocidad de agitación lenta = 40 rpm
- Tiempo de agitación lenta = 15 min
- Primera sedimentación = 20 min
- Dosis en mg/litros= 45 mg/litros muestra 1--- 50 mg/litros muestra 2

Obteniendo como resultados los valores dados (Tabla 6):

<i>Variación de los niveles de turbiedad</i>				
<b>MIN</b>	<b>NTU M1</b>	<b>Dosis M1</b>	<b>NTU M2</b>	<b>Dosis M2</b>
20	24.08	0.9	14.5	1
40	18.5	0.9	13.1	1
60	17.3	0.9	12	1
90	15.4	0.9	11.5	1
Dosis (mg/litros)		45		50
% REMOCION	88.31068		92.961165	

**Tabla 6 Niveles de Turbiedad Altos con asentamientos sin filtrar.**

En la tabla 6 se muestran los valores de la variación de los niveles de turbiedad luego de aplicarse una dosis de 45 miligramos por litros de semilla de moringa y 50 miligramos por litro de semilla de moringa. También se muestra el comportamiento de los diferentes niveles de turbiedad luego de ser asentados en un intervalo de tiempo de 20 a 90 minutos. El cual luego de ser asentado, se procedió a realizar un análisis de su comportamiento al pasar por un proceso de filtración, Como se muestra en la tabla 7.

<b>Eficiencia de la semilla de moringa luego de ser filtrada</b>				
MIN	NTU M1	Dosis M1	NTU M2	Dosis M2
20	6.78	0.9	5.67	1
90	2.38	0.9	1.1	1
Dosis (mg/litros)		45		50
%REMOCION	98.8446602		99.46601942	

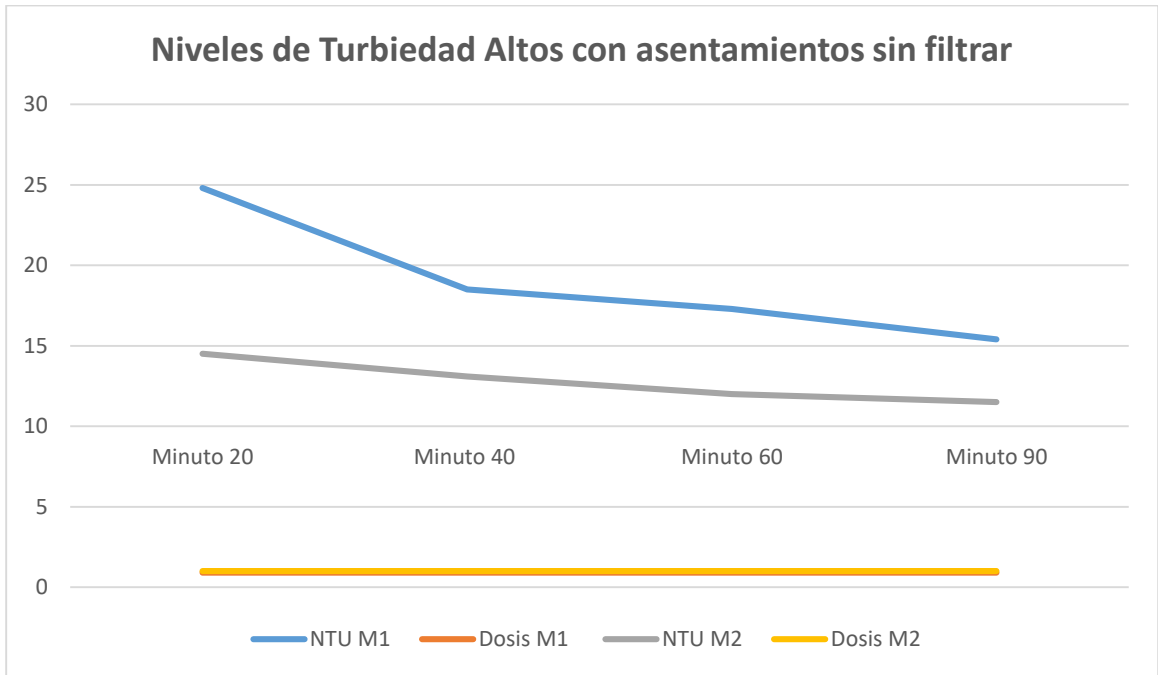
**Tabla 7 Eficiencia de la semilla de moringa luego de ser filtrada**

En la tabla 8 se muestra el comportamiento del sulfato de aluminio con un nivel inicial de 200 NTU, aplicando dosis de 10 miligramos por litro y 15 miligramos por litro.

NTU	NTU-M1	DOSIS M1	NTU-M2	DOSIS M2
200	17.6	0.9	12.7	1
DOSIS (mg/l)		45		50
% REMOCION	91.2		93.65	

**Tabla 8 Comportamiento del sulfato con los niveles de turbiedades de 200 NTU.**

El gráfico número 2 muestra la variación de los niveles de turbiedad luego de ser asentados en un intervalo de tiempo de 20 a 90 minutos.



**Grafico 2 Variación de los niveles de turbiedad para las dosis de 45 mg y 50 mg por litros**



#### 4.1.3. Comparación de la semilla de moringa con niveles de turbidez en 816NTU.

Se realizó un análisis comparativo del sulfato de aluminio con la semilla de moringa con diferentes dosis. Haciendo una comparación de la dosis optima del sulfato con la de semilla de moringa para obtener el % de remoción de ambos coagulantes, como se muestra en la tabla 9.

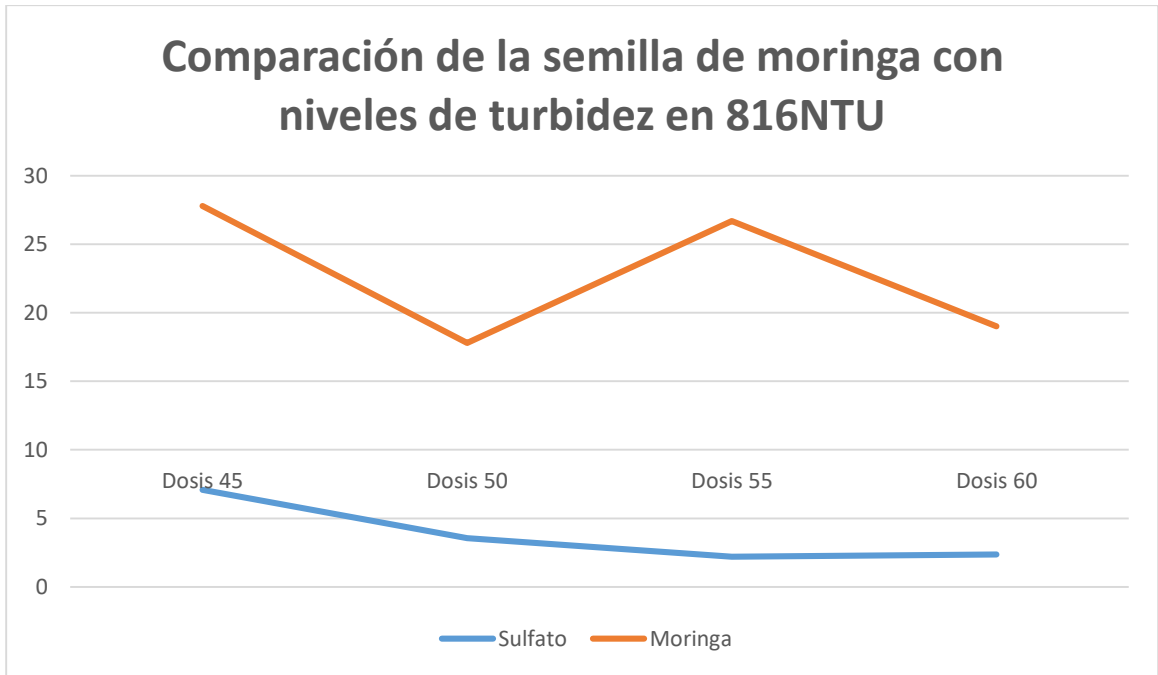
JARRA	DOSIS( mg/lit )	mls DE SOLUCION (al 5%)	TURBIEDAD RESIDUAL (NTU)	
			SULFATO DE ALUMINIO	MORINGA
1	45	0.9	7.07	27.8
2	50	1	<b>3.55</b>	<b>17.8</b>
3	55	1.1	2.19	26.7
4	60	1.2	2.36	19
% REMOCION			99.56495098	97.81862745

NTU	816
-----	-----

**Tabla 9 Comparación del % de remoción de las dosis optimas del sulfato de aluminio y la semilla de moringa**

Tomamos en consideración la dosis óptima de la moringa con una turbidez inicial 816 NTU, un pH inicial de 8.33 y un color inicial de 1100 pt-co dándonos como resultado una turbidez final de 17.8 NTU, un pH final de 7.77 y un color final de -15 pt-co tomando una dosis de 50 miligramos de semilla de moringa/ litros.



**Grafico 3 Comparación de los niveles de turbiedad de la semilla de moringa y el sulfato de aluminio**

En el grafico 3 se muestran las curvas de la variación de los niveles de turbiedad con dosis de 45 mg/lts a 60 mg/lts.

**4.1.4. Comparación de los niveles de turbiedad, ph y color de la semilla de moringa y el sulfato de aluminio de la muestra 2 tomada del rio Ozama.**

	AGUA CRUDA			SULFATO DE ALUMINIO			
MUESTRA	NTU	PH	color (pt-con)	DOSIS	NTU	PH	COLOR (PT-CO)
2	206	8.22	800	1	12.17	6.98	-15

	AGUA CRUDA			SEMILLA DE MORINGA			
MUESTRA	NTU	PH	color (pt-co)	DOSIS	NTU	PH	COLOR (PT-CO)
2	206	8.22	800	1	14.5	7.36	-15

	NTU	PH	COLOR
% REMOCION SULFATO	94.09	15.08	-
% REMOCION MORINGA	92.96	10.46	-

**Tabla 10 Comparación de pH y color entre la semilla de moringa y sulfato de aluminio**

En esta tabla podemos ver los análisis realizados para la comparación de la remoción de color y pH de las muestras de sulfato y moringa.

#### 4.4.5. Comparación de costo de la harina de moringa sulfato de aluminio según quiminet.com

Según <http://www.quiminet.com> podemos encontrar promedios del costo del sulfato en y la harina de moringa en diferentes países, tomando en cuenta el costo por kilogramo en cada uno de los países y evaluando el costo de un saco de sulfato de 55 libras con un saco de moringa de 55 libras, y tomando en cuenta el promedio de los precios encontrados.

material	pais	precio por pais	unidades	precio en RD	cantidad en kg	cantidad en lbs	precio total por saco de 55 lbs sin envio	promedio
Sulfato de Aluminio	Ecuador	0.1	USD / Kilogramos	4.6	25	55	253	
Sulfato de Aluminio	Silao, mexico	10	MXP / Kilogramos	22.54	25	55	1239.7	
Sulfato de Aluminio	SAn Lorenzo, Paraguay	0.12	USD / Kilogramos	5.52	25	55	303.6	
Sulfato de Aluminio	Naucalpan, México	9	MXP / Kilogramos	20.24	25	55	1113.2	1454.75
moringa	Colombia	33	BLV / Kilogramos	0.54	25	55	29.7	
moringa	Queretaro, México	8	MXP / Kilogramos	17.94	25	55	986.7	
moringa	medellin, Colombia	10000	COP / Kilogramos	0.01	25	55	0.55	
moringa	guadalajara, México	10	MXP / Kilogramos	22.54	25	55	1239.7	1128.325

**Tabla 11 Comparación el promedio del costo de la semilla de moringa y el sulfato en otros países**

En esta tabla los precios encontrados fueron realizados gracias al siguiente link:

<http://www.quiminet.com/productos/moringa-oleifera-polvo-de-hoja-100287076410/precios.htm>,

Adaptando el mismo a nuestra conveniencia para así tener un promedio de los precios por país.

➤ **Ejemplo de la diferencia de costo para 45 sacos de 110 libras**

Según tabulaciones de la CAASD mostradas en la *Ilustración 9* para un nivel de turbiedad de 14.87 NTU se necesitan 45 sacos de 110 libras en una cuba (tanque donde se almacena la solución del coagulante para luego ser dosificado) con capacidad de almacenamiento de 1800 litros, para abastecer un caudal de agua cruda de 2.10 metro cúbico por segundo.

Q =		SACOS DE 110 LIBRAS										V cuba = 18000 LITROS	
		M3/S											
F/ sacos	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
21	6.94	9.17	13.50	15.43	19.93	22.58	26.06	28.26	30.86	34.29	38.58	42.09	46.30
22	7.27	9.61	14.14	16.17	20.88	23.66	27.30	29.60	32.33	35.93	40.42	44.09	48.50
23	7.60	10.04	14.78	16.90	21.82	24.73	28.54	30.95	33.80	37.56	42.25	46.10	50.71
24	7.93	10.48	15.43	17.64	22.77	25.81	29.78	32.30	35.27	39.19	44.09	48.10	52.91
25	8.26	10.92	16.07	18.37	23.72	26.89	31.02	33.64	36.74	40.83	45.93	50.10	55.11
26	8.59	11.35	16.71	19.11	24.67	27.96	32.26	34.99	38.21	42.46	47.77	52.11	57.32
27	8.92	11.79	17.35	19.84	25.62	29.04	33.50	36.33	39.68	44.09	49.60	54.11	59.52
28	9.25	12.23	18.00	20.58	26.57	30.11	34.74	37.68	41.15	45.72	51.44	56.12	61.73
29	9.59	12.66	18.64	21.31	27.52	31.19	35.98	39.02	42.62	47.36	53.28	58.12	63.93
30	9.92	13.10	19.28	22.05	28.47	32.26	37.23	40.37	44.09	48.99	55.11	60.13	66.14
31	10.25	13.54	19.92	22.78	29.42	33.34	38.47	41.71	45.56	50.62	56.95	62.13	68.34
32	10.58	13.97	20.57	23.52	30.36	34.41	39.71	43.06	47.03	52.26	58.79	64.13	70.55
33	10.91	14.41	21.21	24.25	31.31	35.49	40.95	44.41	48.50	53.89	60.63	66.14	72.75
35	11.57	15.28	22.50	25.72	33.21	37.64	43.43	47.10	51.44	57.16	64.30	70.15	77.16
40	13.22	17.47	25.71	29.39	37.96	43.02	49.63	53.83	58.79	65.32	73.49	80.17	88.18
45	14.87	19.65	28.92	33.07	42.70	48.39	55.84	60.55	66.14	73.49	82.67	90.19	99.21
50	16.53	21.83	32.14	36.74	47.44	53.77	62.04	67.28	73.49	81.65	91.86	100.21	110.23
T (HS)	20.01	15.15	10.29	9.00	6.97	6.15	5.33	4.92	4.50	4.05	3.60	3.30	3.00

NOTA: ESTE CUADRO REPRESENTA LA DOSIS EN mg/litros APLICADA POR LA BOMBA.

**Ilustración 9** Tabla de tabulaciones de dados por la CAASD

Dadas las tabulaciones especificadas en *ilustración 9* tomamos en consideración el precio promedio de los sacos de sulfato de aluminio de 110 libras y el costo el precio promedio de los sacos de 110 libras de la semilla de moringa, como se muestra en la tabla 12. Se calculó cuál sería la diferencia de precios para una cantidad de 45 sacos de 110 libras.

	Precio de sacos de 110 lbs	Cantidad	Precio
Sulfato	2909.5	45	130,927.5
Moringa	2256.64	45	101,548.8
Diferencia			29,378.7

**Tabla 12 Comparación de precios del sulfato de aluminio y la semilla de moringa para una cantidad de 45 sacos de 110 libras**

En la *tabla 12* se observó como el precio de la semilla de moringa es mucho más económico en comparación con la del sulfato, sabiendo que estos precios no tienen incluido el costo de envío y dado que el sulfato de aluminio es un material químico es necesario tomar en cuenta el costo de los impuesto al mismo. A diferencia de la harina de la semilla de moringa que es un material orgánico, haciendo que el coste del sulfato de aluminio sea relativamente más alto.

#### 4.1.2 Verificación de la hipótesis

Realizado la observación abierta, la prueba de jarra y los análisis fisicoquímicos de acuerdo a la comparación de la semilla de moringa con la de sulfato, se establece lo siguiente:

- Según la observación y las pruebas anteriormente mencionadas, indican que el comportamiento de la semilla de moringa es factible para la floculación de las muestras tomadas del río Ozama con niveles de turbiedad desde 800 NTU no tratada a 30 NTU. Por lo que se confirma la primera hipótesis de la presente investigación.
- Al igual que se pudo observar que la remoción de los sedimentos proporcionada con la semilla de moringa es comparable con la del sulfato de aluminio, ya que obtuvimos remociones de más de un 90% en los distintos niveles de turbiedad. Por lo que se confirma la segunda hipótesis de la presente investigación.

## CONCLUSIONES

Los datos obtenidos en el presente proyecto donde se aplicó dentro del proceso de purificación de aguas superficiales, la floculación con semillas de Moringa como alternativa de biorremediación, comprueba la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos, dado que se obtuvo una remoción superior al 92% pasando de 816 NTU(Agua cruda) a 31NTU luego de ser filtrada y sedimentada ; demuestra una posibilidad viable y eficiente ante la aplicación de este floculante natural a las fuentes hídricas de nuestra región.

El proyecto investigativo: “Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa oleífera como una alternativa para la clarificación de aguas superficiales de aguas crudas con diferentes niveles de turbiedad , tomando como ejemplo los niveles de turbidez del río Ozama, ubicado en la comunidad del Naranjo, San Luis, Provincia Santo Domingo Este.” pudo verificar la gran ventaja que representa la utilización de las semillas de Moringa oleífera en el mejoramiento de la floculación del agua, dado que es un producto 100% natural y que por ende no causa ningún perjuicio o efecto nocivo a la salud. Además, tiene un menor costo en comparación con los floculantes químicos utilizados en la actualidad; que su aplicación es sencilla y que no requiere de sistemas complejos o costosos para su uso; además permite obtener resultados prácticamente inmediatos.

De acuerdo a la experiencia realizada dentro de los protocolos establecidos para clarificación de las aguas del río Ozama mediante la utilización de semillas de moringa como alternativa de biorremediación en la clarificación de aguas crudas; la remoción lograda con apenas 50mg. de semilla/Litro, fue de aproximada para los sólidos totales con una remoción equivalente al 92% de



remoción de sólidos totales con una turbidez de 206NTU con una hora media de espera para la sedimentación, y con una agitación de 20 minutos.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis del comportamiento de la semilla de moringa tamizada en distintas granulometrías y dosis, así saber cómo influye la granulometría en la floculación.
- Terminar el tratamiento del agua con la semilla de moringa y realizar análisis físicoquímicos para determinar si es apta para el consumo humano.
- Estudiar otras alternativas naturales para la coagulación-floculación en el tratamiento de aguas crudas con el propósito de reducir el consumo de reactivos químicos importados.
- Realizar estudios del impacto ambiental que causarían los residuos sedimentados de la semilla de moringa y del sulfato de aluminio, donde se podrían desechar y en dado caso de tener un impacto ambiental negativo buscar la alternativa de reducirlo.
- Realizar comparación de los análisis bacteriológicos del agua tratada con la semilla de moringa y el agua tratada con el sulfato de aluminio.

- Realizar un estudio de aprovechamiento de los residuos decantados de la semilla de moringa y el sulfato de aluminio.
- Realizar estudios del comportamiento de la semilla de moringa como coagulante para el uso doméstico de piscinas.

## REFERENCIAS

(s.f.).

Damileth Duarte, L. R. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista investigacion agraria y ambiental*.

Delma. (s.f.). *industria de coagulantes wikispaces*. Obtenido de industria-de-coagulantes.wikispaces.com: <https://industria-de-coagulantes.wikispaces.com/SULFATO+DE+ALUMINIO>

Ernesto Samper Pizano, M. T. (16 de Marzo de 1998). *Alcandia de Bogota*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

F. Ramirez. (s.f.). *El Agua Potable*. Obtenido de [http://www.elaguapotable.com/tratamiento\\_del\\_agua.htm](http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm)

F.D. Morales Avelino, R. M. (2009). *Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de Moringa Oleifera lam como coagulante*. Yucatan, Mexico: Tropical and Subtropical Agroecosystems.

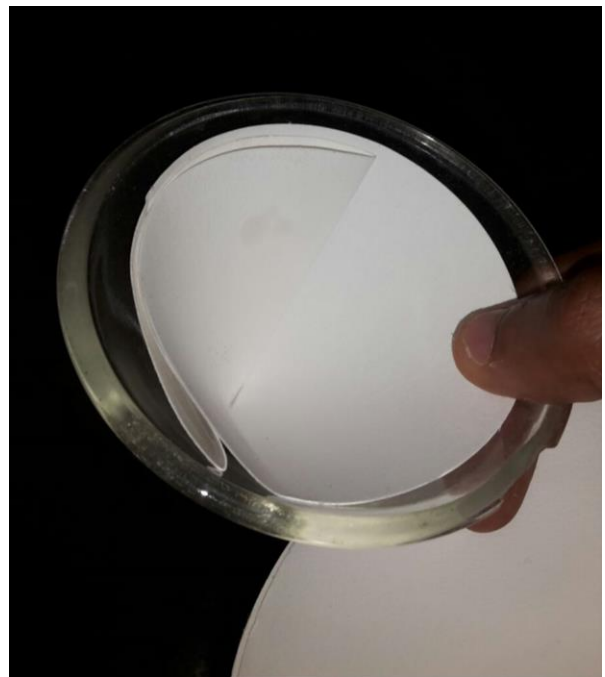
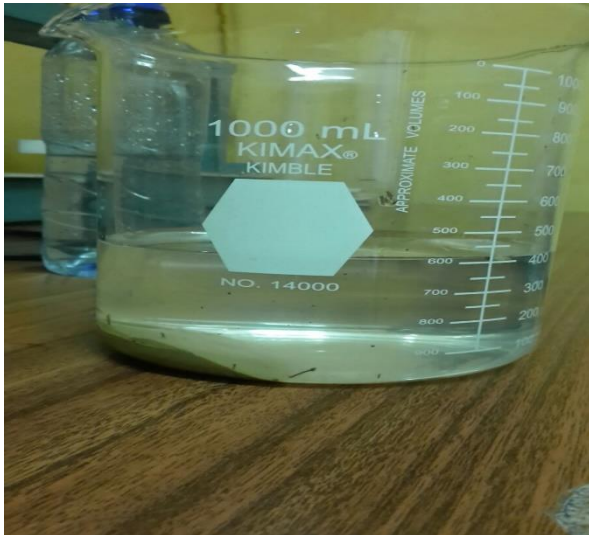
Flemming Wyrzt. (s.f.). *Los Seibos*. Obtenido de [http://www.los-seibos.com/Mesa\\_separadora.html](http://www.los-seibos.com/Mesa_separadora.html)

Garrido, P. N. (2005). *Accion Contra el Hambre Internacional*. Obtenido de <https://www.accioncontraelhambre.org/sites/default/files/documents/moringa-final-pag-simples.pdf>

- Geoff Folkard, J. S. (s.f.). *Zona internacional de informacion y aprendizaje de Tearfund*. Obtenido de [http://tilz.tearfund.org/es-es/resources/publications/footsteps/footsteps\\_21-30/footsteps\\_28/moringa\\_oil/?d=kgbav1xf](http://tilz.tearfund.org/es-es/resources/publications/footsteps/footsteps_21-30/footsteps_28/moringa_oil/?d=kgbav1xf)
- German Melo, F. T. (2012). *Evaluacion de la eficiencia de la utilizacion de semillas de Moringa Oleifera como una alternativa de biorremediacion en la purificacion de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias. Colombia.*
- Gómez, T. (26 de Julio de 2012). Moringa mueve la economía en Nagua. *Listin Diario*.
- Henan Kingman Mechanical & Electrical Complete Plant Co., Ltd. (KMEC). (s.f.). Obtenido de <http://www.plantasaceiteras.com/descascarado-de-semillas-oleaginosas.html>
- Hildebrando Ramírez Arcila, J. J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada*.
- IMAGUA Water Technologies SL. (s.f.). *IMAGUA Water Technologies SL*. Obtenido de <http://www.imagua.es/pages/index/sedimentacion>
- IMAGUA Water Technologies SL. (s.f.). *IMAGUA Water Technologies SL*. Obtenido de <http://www.imagua.es/pages/index/coagulacion-floculacion>
- Iván Mendoza, N. F. (2000). *Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas*. Obtenido de El Agua Potable: <http://www.elaguapotable.com/Usode%20la%20Moringa%20oleifera%20como%20coagulante.pdf>
- Jimenez, H. G. (2012). *Aplicacion del Mucilago extraído de Nopal (Opuntia Ficus- Indica) en la clarificacion del agua del río Uchusuma. Peru.*

- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico*. Bogota. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tituloocolombia.pdf>
- Patricia G.S. Léo, R. F. (2009). Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. *SciELO Chile*.
- Ponce, M. (01 de Abril de 2010). Crece el cultivo de moringa en el país. *Eco del Ozama*.
- Propiedades.net. (24 de Abril de 2015). *Propiedades.net*. Obtenido de Propiedadede.net: <http://propiedadesde.net/propiedades-de-la-moringa/>
- Ramirez, M. G. (s.f.). *Monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos85/coagulantes-naturales-origen-vegetal/coagulantes-naturales-origen-vegetal.shtml>
- WikiWater. (s.f.). *wikiWater*. Obtenido de wikiWater.fr: <http://www.wikiwater.fr/23-el-pretratamiento-floculacion.html>

## ANEXOS









FECHA:  
HORA:

AGUA CRUDA: N.T.U.  
COAGULANTE:

JARRA	DOSES(mg/lit)	Mis DE SOLUCIÓN	TURBIEDAD RESIDUAL(NTU)
1	45	0.9	
2	50	1.0	
3			
4			
5			
6			

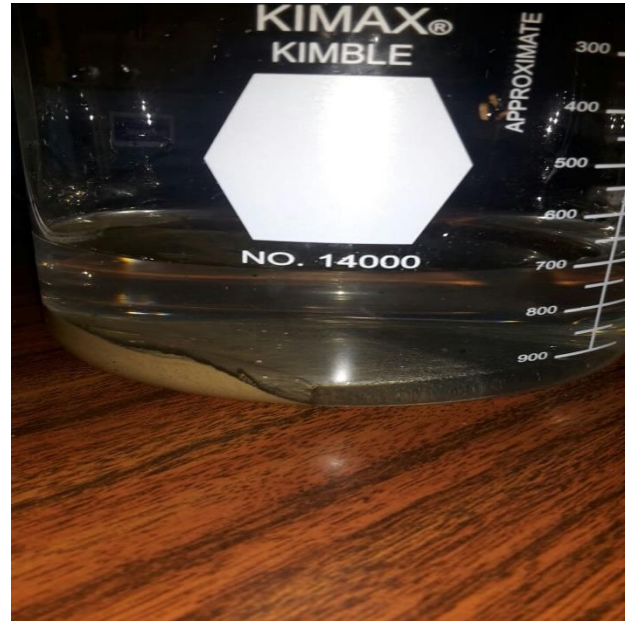
Coagulación: 1 minuto a 200 RPM  
 Floculación: 15 minutos a 40 RPM  
 Sedimentación: 20 minutos a 0 RPM

Conclusión:  
 Coagulante:  
 Lote:  
 Producido por:

Q = 2.10 M3/S      SACOS DE 110 LIBRAS      V cuba = 18000 LITROS

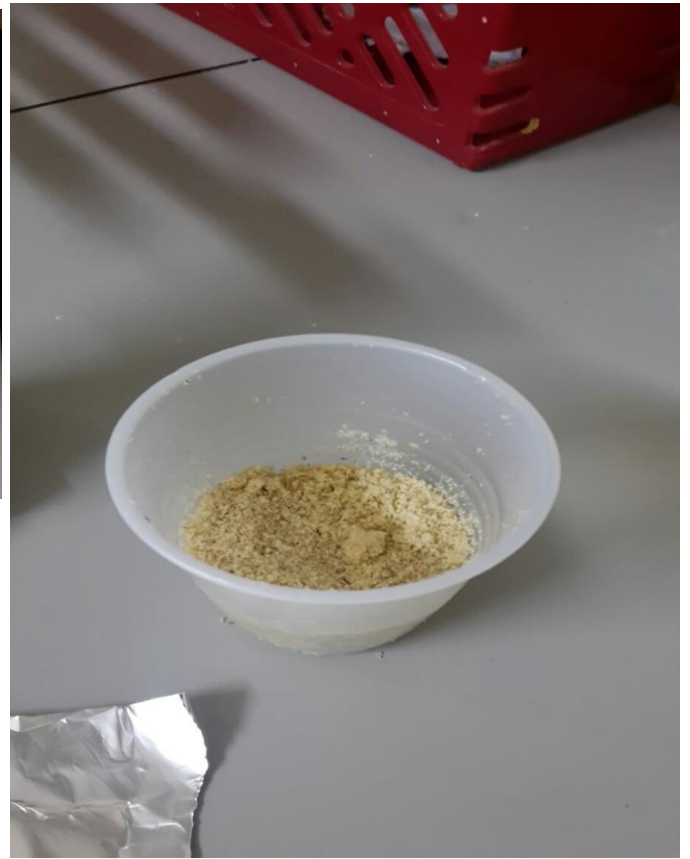
F/ sacos	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
21	6.94	9.17	13.50	15.43	19.93	22.58	26.06	28.26	30.86	34.29	38.58	42.09	46.30
22	7.27	9.61	14.14	16.17	20.88	23.66	27.30	29.60	32.33	35.93	40.42	44.09	48.50
23	7.60	10.04	14.78	16.90	21.82	24.73	28.54	30.95	33.80	37.56	42.25	46.10	50.71
24	7.93	10.48	15.43	17.64	22.77	25.81	29.78	32.30	35.27	39.19	44.09	48.10	52.91
25	8.26	10.92	16.07	18.37	23.72	26.89	31.02	33.64	36.74	40.83	45.93	50.10	55.11
26	8.59	11.35	16.71	19.11	24.67	27.96	32.26	34.99	38.21	42.46	47.77	52.11	57.32
27	8.92	11.79	17.35	19.84	25.62	29.04	33.50	36.33	39.68	44.09	49.60	54.11	59.52
28	9.25	12.23	18.00	20.58	26.57	30.11	34.74	37.68	41.15	45.72	51.44	56.12	61.73
29	9.59	12.66	18.64	21.31	27.52	31.19	35.98	39.02	42.62	47.36	53.28	58.12	63.93
30	9.92	13.10	19.28	22.05	28.47	32.26	37.23	40.37	44.09	48.99	55.11	60.13	66.14
31	10.25	13.54	19.92	22.78	29.42	33.34	38.47	41.71	45.56	50.62	56.95	62.13	68.34
32	10.58	13.97	20.57	23.52	30.36	34.41	39.71	43.06	47.03	52.26	58.79	64.13	70.55
33	10.91	14.41	21.21	24.25	31.31	35.49	40.95	44.41	48.50	53.89	60.63	66.14	72.75
35	11.57	15.28	22.50	25.72	33.21	37.64	43.43	47.10	51.44	57.16	64.30	70.15	77.16
40	13.22	17.47	25.71	29.39	37.96	43.02	49.63	53.83	58.79	65.32	73.49	80.17	88.18
45	14.87	19.65	28.92	33.07	42.70	48.39	55.84	60.55	66.14	73.49	82.67	90.19	99.21
50	16.53	21.83	32.14	36.74	47.44	53.77	62.04	67.28	73.49	81.65	91.86	100.21	110.23
T (HS)	20.01	15.15	10.29	9.00	6.97	6.15	5.33	4.92	4.50	4.05	3.60	3.30	3.00

NOTA: ESTE CUADRO REPRESENTA LA DOSIS EN mg/litros APLICADA POR LA BOMBA.









## TABLAS

### ANEXO I

A continuación se presentan valores de referencia generales para las descargas de aguas residuales de cualquier origen, que requieran estudios más exhaustivos de sus vertidos, en las aguas superficiales, costeras y para los sistemas de alcantarillado.

**Tabla A.1. Referencia de descargas en aguas superficiales y costeras.** Las Clases D-1 y D-2 no se incluyen en la presente Tabla porque todos sus parámetros deben cumplir condiciones naturales.

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS SUPERFICIALES			AGUAS COSTERAS		
		Clase A	Clase B	Clase C	Clase E	Clase F	Clase G
<b>Parámetros Generales</b>							
Agentes tensoactivos	mg/L	0.5	1	2	0.5	2	2
Cloruros	mg/L	250	500	5000	-	-	-
Coliformes totales	NMP/100mL	2500	2500	10000	-	-	-
Coliformes fecales	NMP/100mL	400	1000	2000	1000	1000	5000
Color	U.Pt-Co	20	100	500	500	NA	NA
Conduct. eléctrica	µS/cm	1000	1000	2000	-	-	-
DBO5	mg/L	30	60	300	60	200	200
DQO	mg/L	150	300	500	350	350	350
Fenoles	mg/L	0.002	0.005	0.1	0.03	0.5	0.5
Fluoruros	mg/L	0.7	1.7	5	1.5	5	5
Fósforo total	mg/L	5	5	5	8	8	10
Grasas y aceites	mg/L	0.2	1	20	15	15	25

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS SUPERFICIALES			AGUAS COSTERAS		
		Clase A	Clase B	Clase C	Clase E	Clase F	Clase G
Nitrógeno total	mg/L	20	30	50	40	-	-
NO3-N	mg/L	0.5	1	10	-	-	-
Oxígeno disuelto (OD)	%sat	80	70	50	45	45	45
pH	-	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0
Sólidos disueltos	mg/L	1,000	1,000	3,000	-	-	-
Sólidos Flotantes	-	ausentes	ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	ml/L	1	1	2	1	1	2

Sólidos Suspendidos	mg/L	75	150	200	75	150	200
Sulfatos	mg/L	200	400	1000	-	-	-
Sulfuros	mg/L	0.05	0.5	2	0.5	1	2
Temperatura	°C	35	35	35	-	-	-
ΔT	°C	+3	+3	+3	+3	+3	+3
<b>METALES</b>							
Arsénico	mg/L	0.05	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
Bario	mg/L	1	1	5	1	5	5
Boro	mg/L	0.1	0.5	5	0.5	5	5
Cadmio	mg/L	0.05	0.1	0.1	0.05	0.1	0.2
Cianuro	mg/L	0.05	0.1	0.2	0.1	0.5	1
Cobre	mg/L	1	2	6	2	4	6
Cromo total	mg/L	0.5	1	2	0.5	1	2
Cromo hexavalente	mg/L	0.05	0.1	0.5	0.05	0.5	0.5
Hierro	mg/L	0.5	1	10	0.5	1	10
Manganeso	mg/L	0.5	1	5	0.1	1	5
Mercurio	mg/L	0.005	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05
Níquel	mg/L	1	2	6	2	2	4
Plomo	mg/L	0.1	0.2	0.5	0.05	0.1	0.5
Plata	mg/L	-	-	-	0.01	0.1	0.1
Selenio	mg/L	0.01	0.2	0.2	-	-	-
Zinc	mg/L	1	1	10	1	10	20
<b>RADIOACTIVIDAD</b>							
Actividad α	Bq/L	N	N	0.1	0.1	0.1	0.1
Actividad β	Bq/L	N	N	0.25	1	1	1
<b>BIOCIDAS</b>							
Órgano-clorados	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Órgano-fosforados	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.25	0.25	0.25