

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(106)	

### RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	BRAYAN RAMÓN DURAN CONTRERAS CARLOS ALBERTO GÓMEZ MACHUCA		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	MARLON ALFONSO ALVARES BLANCO		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y DESINFECCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CORREGIMIENTO DE SAN PABLO, TEORAMA, NORTE DE SANTANDER; UTILIZANDO MORINGA COMO COAGULANTE Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA COMO DESINFECTANTE		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTE PROYECTO, CORRESPONDE A LA EVALUACIÓN DE LA MORINGA OLEÍFERA COMO UN POSIBLE SUSTITUTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE SULFATOS PARA LA COAGULACIÓN DE AGUA POTABLE, TAMBIÉN SE EVALÚA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA COMO DESINFECTANTE, PARA ELLO, SE RECOPIARON DATOS QUE PERMITIÓ LA COMPARACIÓN DE LA MORINGA OLEÍFERA COMO COAGULANTE NATURAL CON SULFATOS COMO EL DE ALUMINIO Y EL FERROSO, Y LA COMPARACIÓN DE LA RADIACIÓN CON CLORO LÍQUIDO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:

**EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN LOS PROCESOS DE  
COAGULACIÓN Y DESINFECCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DEL CORREGIMIENTO DE SAN PABLO, TEORAMA, NORTE DE  
SANTANDER; UTILIZANDO MORINGA COMO COAGULANTE Y RADIACIÓN  
ULTRAVIOLETA COMO DESINFECTANTE.**

**Autores:**

**BRAYAN RAMÓN DURAN CONTRERAS: 161172**

**CARLOS ALBERTO GÓMEZ MACHUCA: 161229**

**Proyecto para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Director:**

**Ing. MARLON ALFONSO ÁLVAREZ BLANCO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Ocaña, Colombia**

**Enero, 2019**

### **Dedicatoria**

Principalmente a Dios, por haberme dado la vida, por permitirme gozar de buena salud y brindarme la fuerza para superar cada obstáculo que se me presentó a lo largo de mi vida y mi carrera profesional. A mis padres José y Exilda, por apoyarme en cada nuevo proyecto de vida, por demostrarme siempre su amor incondicional y guiarme siempre por el camino del bien. A mi hermano mayor José, que, aunque ya no esté presente físicamente, siempre estará en mi corazón, porque de él aprendí a no rendirme nunca, sin importar los problemas que se presentaran, este logro es especialmente para ti mi hermano del alma, mi ejemplo de vida. A mis hermanos menores Sebastián y Danilo, por estar a mi lado y apoyarme siempre. A mi tía Agueda, mi confidente y apoyo en momentos difíciles, y gracias a ella pude continuar estudiando.

Carlos Alberto Gómez Machuca

### **Dedicatoria**

A Dios por permitir nacer, por sus bendiciones cada día. A mis padres por ser mi apoyo incondicional, por enseñarme los principios que me rigen hoy como persona, a mis suegros por el respaldo que me brindaron, a mi esposa por ser la persona que siempre estuvo a mi lado dándome ánimo, a mi hija que es la que me da la fuerza para avanzar, a mis compañeros de los cuales pude aprender grandes cosas, al CECAT por enseñarme que las luchas son personal pero buscando el bienestar de todos, a todos ustedes gracias por hacer parte de este proceso.

Brayan Ramón Duran Contreras

## **Agradecimientos**

A la Universidad por permitirnos realizar esta investigación y apoyarnos en algunas facetas al desarrollo de este proyecto.

Al director de tesis, por colaborarnos con cada inquietud que teníamos en la elaboración y ejecución del proyecto.

A los jurados de grado, por sus aportes, ya que con cada corrección que realizamos en el proyecto, nos permitió adquirir más conocimientos acerca de la investigación que llevamos a cabo.

A la junta de acción comunal del corregimiento de San Pablo, Teorama, por permitirnos desarrollar el proyecto de grado en su localidad.

Al señor Ever, fontanero de la planta potabilizadora de San Pablo, por su colaboración en los trabajos de campo que desarrollamos en la ejecución del proyecto.

Al ingeniero Carlos Patiño, por toda su colaboración prestada en el desarrollo de laboratorios de pruebas de jarras y análisis de las muestras desarrolladas en el proyecto.

A Wendy Soto, por ayudarnos a transportar las muestras de agua, cada vez que era necesaria su colaboración.

A la empresa de servicios públicos de agua potable ADAMIUAIN E. S. P. por permitirnos desarrollar los laboratorios de pruebas de jarras en sus instalaciones.

A nuestros amigos y compañeros de clase, que gracias al excelente grupo de trabajo que hicimos, pudimos terminar nuestra carrera universitaria.

## ÍNDICE

<b>Capítulo 1. Evaluación de tecnologías limpias en los procesos de coagulación y desinfección de la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de San pablo, Teorama, norte de Santander; utilizando moringa como coagulante y radiación ultravioleta como desinfectante. ....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.2 Formulación del Problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos.....	3
1.4 Justificación .....	3
1.5 Delimitaciones .....	5
1.5.1 Conceptual.....	5
1.5.2 Operativa.....	5
1.5.3 Temporal.....	5
1.5.4 Geográfica.....	5
<b>Capítulo 2. Marco referencial.....</b>	<b>6</b>
2.1 Marco Histórico .....	6
2.1.1 A nivel mundial.....	8
2.1.2 A nivel nacional .....	10
2.2 Marco teórico .....	13
2.2.1 Teoría de la coagulación .....	14
2.2.2 Tecnologías aplicadas a la desinfección de aguas .....	14
2.2.3 Generación de subproductos en la desinfección .....	15
2.2.4 Tendencias futuras en los tratamientos de potabilización.....	16
2.3 Marco contextual .....	18
2.4 Marco conceptual.....	18
2.4.1 Potabilización.....	18
2.4.2 Coagulación .....	18
2.4.3 Desinfección .....	19
2.4.4 Moringa Oleífera.....	20
2.4.5 Radiación ultravioleta .....	20
2.4.6 Estudios de tratabilidad.....	21
2.4.7 Prueba de jarras.....	21
2.5 Marco legal .....	22

2.5.1 Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 .....	22
2.5.2 Norma Técnica Colombiana. ....	22
2.5.3 Ley 99 de 1993.....	22
2.5.4 Decreto 1594 de 1984 .....	23
2.5.5 Decreto 475 De 1998 .....	23
2.5.6 Decreto 1575 de 2007 .....	23
2.5.7 Resolución 2115 de 2007.....	23
<b>Capítulo 3. Diseño Metodológico .....</b>	<b>25</b>
3.1 Tipo de investigación .....	25
3.2 Población.....	25
3.3 Muestra .....	26
3.4 Recolección de la información.....	26
3.5 Análisis de la información .....	33
<b>Capítulo 4. Resultados .....</b>	<b>35</b>
4.1 Resultado del primer objetivo específico.....	35
4.1.1 Época de invierno. ....	35
4.1.2 Época de verano. ....	37
4.1.3 Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Pablo, Teorama....	39
4.1.4 Diagnostico operacional.....	41
4.2 Resultado del segundo objetivo específico. ....	44
4.2.1 Moringa oleífera.....	44
4.2.2 Radiación ultravioleta. ....	65
4.3 Resultado del tercer objetivo específico .....	68
4.3.1 Procesos de clarificación.....	68
4.3.2 Proceso de desinfección.....	69
<b>Capítulo 5. Conclusiones .....</b>	<b>71</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>73</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>74</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>85</b>

## Listado de Tablas

Tabla 1. Parámetros del agua cruda y tratada de la PTAP del corregimiento de San Pablo (invierno).....	36
Tabla 2. Puntajes de riesgo (invierno). ....	36
Tabla 3. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra (invierno). ....	37
Tabla 4. Parámetros del agua cruda y tratada de la PTAP del corregimiento de San Pablo (verano). ....	37
Tabla 5. Puntajes de riesgo (verano). ....	38
Tabla 6. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra (verano). ....	38
Tabla 7. Estado de la estructura PTAP San Pablo. ....	42
Tabla 8. IRABA PTAP San Pablo. ....	42
Tabla 9. Variables del uso de la moringa como coagulante. ....	44
Tabla 10. Índice de Willcomb.....	45
Tabla 11. Prueba de jarras de las variables 1 y 2. ....	46
Tabla 12. Muestra representativa de las variables 1 y 2. ....	47
Tabla 13. Prueba de jarras de las variables 3 y 4. ....	48
Tabla 14. Muestra representativa de las variables 3 y 4. ....	49
Tabla 15. Prueba de jarras de las variables 5 y 6. ....	50
Tabla 16. Prueba de jarras de las variables 7 y 8. ....	51
Tabla 17. Muestra representativa de las variables 7 y 8. ....	52
Tabla 18. Prueba de Jarras de las variables 9 y 10.....	53
Tabla 19. Muestra representativa de las variables 9 y 10. ....	54
Tabla 20. Prueba de jarras con coagulantes metálicos.....	55

Tabla 21. Prueba de jarras del coagulante de moringa. ....	56
Tabla 22. Comparación de la muestra representativa de los coagulantes. ....	57
Tabla 23. Prueba de jarras con sulfatos para simulación en planta piloto, realizada en invierno. ....	59
Tabla 24. Prueba de jarras con moringa para la simulación en la planta piloto, en invierno. ....	60
Tabla 25. Repetición de la prueba de jarras con moringa. ....	60
Tabla 26. Análisis del agua proveniente de la planta piloto en invierno. ....	61
Tabla 27. Prueba de jarras para la simulación en la planta piloto, realizada en verano. ....	62
Tabla 28. Prueba de jarras con moringa, realizada en verano. ....	63
Tabla 29. Repetición de prueba de jarras con moringa, en verano. ....	64
Tabla 30. Análisis del agua proveniente de la planta piloto en verano. ....	64
Tabla 31. Filtración por membrana de la Luz UV. ....	66
Tabla 32. Filtración por membrana de la luz UV. ....	66
Tabla 33. Filtración por membrana periodos de retención del agua. ....	67
Tabla 34. Desinfección del agua con cloro. ....	68
Tabla 35. Precio de los diferentes coagulantes ....	69
Tabla 36. Precio de los métodos de desinfección. ....	70

# **Capítulo 1. Evaluación de tecnologías limpias en los procesos de coagulación y desinfección de la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de San pablo, Teorama, norte de Santander; utilizando moringa como coagulante y radiación ultravioleta como desinfectante.**

## **1.1 Planteamiento del Problema**

En el corregimiento de San Pablo ubicado en el municipio de Teorama Norte de Santander existe actualmente una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), la cual no cumple con lo establecidos en el decreto 1575 de 2007 donde se establece el sistema para la protección y control para la calidad del agua para consumo humano el incumplimiento de este decreto se debe a que en el año 2000 cuando se inició el proyecto de la PTAP no se tuvieron en cuenta algunas variables que se deben planificar para este tipo de proyectos como lo son el cálculo de proyecciones, el caudal ecológico de la quebrada y la falta de procesos de clarificación, siendo este último, el encargado de la reducción de partículas suspendidas en el agua; las cuales son uno de los principales problemas que se viven en la PTAP del corregimiento ya que en algunas ocasiones se realizan descargas de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos y residuos de hoja de coca que llegan a las instalaciones de la PTAP y no reciben ningún tratamiento, si no que pasan en algunos casos directamente a las viviendas sin percatarse de dicha contaminación, aunque en el corregimiento existe un fontanero, este solo se encarga de arreglar tuberías y limpieza de arvenses ya que al agua como tal no se le realiza ningún proceso de desinfección, es por eso que es factible que en el corregimiento se hayan venido presentando afectaciones a la

salud pública como enfermedades gastrointestinales y cutáneas según Sandra Rivera jefe de enfermería del puesto de salud.

En cuanto al cálculo de proyecciones es factible decir que han sido erróneos desde que se inició el proyecto de la PTAP, esto se evidencia porque el corregimiento se vio en la necesidad de ampliar la planta y hoy en día esta planta no alcanza a abastecer el casco urbano, siendo este aproximadamente de 3500 habitantes, por lo tanto, el crecimiento poblacional ha sido uno de los factores para que la planta no funcione correctamente.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Qué tan eficiente resulta modificar los procesos en una planta de tratamiento de agua potable para la implementación de la moringa oleífera y la radicación UV en los procesos de potabilización, para lograr sustituir el sulfato de aluminio y el cloro de los procesos de coagulación y desinfección respectivamente?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General.**

Evaluar la implementación de tecnologías limpias en los procesos de coagulación y desinfección de la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de San Pablo, Teorama, Norte de Santander; utilizando moringa como coagulante y radiación ultravioleta como desinfectante.

### **1.3.2 Específicos.**

Especificar los procesos de la planta de tratamiento de agua potable actual para conocer su eficiencia.

Analizar la eficiencia de las tecnologías limpias (Moringa y radiación ultravioleta) mediante una prueba piloto en los procesos de coagulación y desinfección.

Realizar un estudio comparativo de los costos monetarios que conlleva implementar moringa y radiación uv vs los costos monetarios que conlleva implementar sulfato y cloro para los procesos de coagulación y desinfección.

## **1.4 Justificación**

Entre 8000 y 25.000 mil muertes diarias provoca la escasez y mala calidad del agua a nivel mundial, entre las cuales el 50% son al menos menores de edad (Cañón, H & Garibello, A, 2006).

En norte de Santander 33.848 casos de enfermedad gastrointestinal se han reportado por la calidad del agua, la situación es alarmante debido a la falta de acueductos rurales y en donde existen por el manejo inadecuado que se les da (IDS, 2017). Debido a los altos índices de enfermedades presentados en la región y para mejorar la calidad de vida de la comunidad en el corregimiento de San Pablo ubicado en el municipio de Teorama, se plantea este proyecto que tiene como finalidad realizar una evaluación de tecnologías limpias para mejorar los procesos de

la planta de tratamiento de agua potable y poder promover el uso de estas tecnologías en la región, generando conciencia de las externalidades positivas que se pueden lograr.

Con el propósito de lograr mejoras en los procesos de tratamiento de agua potable, se propone evaluar los procesos de coagulación y desinfección de la planta que existe en el corregimiento para analizar la viabilidad de implementar las tecnologías propuestas la cual en sus procesos utilice radiación ultravioleta para la eliminación de bacterias, hongos, virus, entre otros y que utilice moringa como coagulante natural, produciendo esto lodos utilizables para la agricultura.

Esta investigación aporta el abordaje del tema en el corregimiento de San Pablo, a partir del uso de tecnologías limpias para tratar el agua cruda pensando en que no haya efectos negativos con el transcurso del tiempo, también aporta a la formación de los autores en su vida como profesionales, ya que se tienen en cuenta conocimientos vistos en la carrera profesional y además los sumerge en campos poco explorados, enfrentándose a retos que serán de gran importancia para sus vidas.

Esta modificación abarcará el aspecto que enmarca el concepto de desarrollo sostenible como lo es el ámbito social a través de la interacción que se presentara en las comunidades asentadas en el corregimiento, en el ámbito económico a través beneficios que se pueden recaudar por la implementación de tecnologías limpias y en la parte ambiental se verá reflejado en los diferentes procesos que se investigaran, además para el corregimiento de San Pablo será

muy positivo ya que será uno de los primeros corregimientos en investigaciones de proyectos con tecnologías limpias para procesos de potabilización de agua.

## **1.5 Delimitaciones**

**1.5.1 Conceptual.** En la elaboración de este proyecto se mencionarán conceptos como radiación ultravioleta, coagulación, saneamiento básico, agua potable, agua cruda, abastecimiento, caudal ecológico, planta de tratamiento de agua potable.

**1.5.2 Operativa.** Para desarrollar este proyecto, se emplearán toma de muestras en diferentes etapas, que permitirá la obtención de datos que se podrán analizar y comparar para medir eficiencias o deficiencias en los procesos y poder determinar medidas correctoras, además se realizara la comparación con otros procesos que se realizan en otras plantas de tratamiento de agua potable; en cuanto a los resultados se analizarán por medio del cálculo del IRCA contemplado en la resolución 2115 del 2007.

**1.5.3 Temporal.** La realización del proyecto tendrá una duración de 4 meses, contadas a partir de la aprobación del anteproyecto.

**1.5.4 Geográfica.** La realización de este proyecto se llevará a cabo en el corregimiento de San Pablo ubicado en el municipio de Teorama Norte de Santander, país Colombia. Dicho proyecto abarcara la zona del casco urbano, específicamente las viviendas conectadas a la red de la planta de tratamiento de agua potable.

## Capítulo 2. Marco referencial

### 2.1 Marco Histórico

Según la historia se dice que fueron los griegos en el siglo V a.C quienes se empezaron a preocupar por la calidad del agua, pues sabían que a través del agua se podían transmitir enfermedades y por tal motivo decidieron empezar a filtrar y hervirla, pero no fue hasta 1804 que se observó el primer sistema de suministro de agua potable llevada por John Gibb quien abasteció con agua filtrada la ciudad de Glasgow (Escocia) y luego dos años después en 1806 en Paris donde se instala la mayor planta de tratamiento de agua, donde dejaban sedimentar el agua durante 12 horas antes de filtrarla con arena y carbón (Isabel II, 2010).

En 1827 James Simpton de origen Ingles creo un filtro de arena que hasta el día de hoy se considera el primer filtro efectivo, en cuanto a desinfección hubo que esperar hasta el siglo XX para usar el cloro en forma de hipoclorito, aunque en 1897 ya se usaba de forma discontinua en Maidstone Inglaterra (Isabel II, 2010).

Las primeras pruebas para el uso de radiación ultravioleta como proceso de desinfección para las plantas de tratamiento de agua potable se realizaron en Marsella, Francia, en 1910. Entre los años de 1916 y 1926 se implementó en Estados Unidos como desinfectante y también en algunos barcos para obtener agua potable. Pero aun así la desinfección con cloro predomino por sus bajos costos y a esto se le sumo problemas de operación de quipos y no eran tan confiables,

siendo esto un retardante para usar tecnología UV hasta la década de los 50 (H. Wright & W. Cairns, 1996).

En 1955, se construyeron plantas de desinfección con radiación ultravioleta para potabilizar agua en Suiza y Austria. Para el año 1985 aumento los números de plantas a 500 y 600 respectivamente en estos países. Con las investigaciones realizadas de las externalidades negativas de la cloración, la desinfección con radiación ultravioleta aumento en Noruega, construyendo su primera planta en 1975. La primera instalación en Holanda se puso en funcionamiento en 1980 (Wolfe, 1990).

Hoy en día existen más de 2.000 instalaciones en Europa que usan UV para desinfectar agua potable y más de 1.000 instalaciones en los Estados Unidos (USEPA, 1996). La desinfección UV es popular en Nueva York donde se le usa para desinfectar más de 6,4% de todos los sistemas de aguas subterráneas. Similarmente se reportó que 761 de los 10.700 sistemas públicos de abastecimiento de agua en Pensilvania usan UV sola o en combinación con cloro. En el Reino Unido, la desinfección UV mediante el uso de tecnologías de lámparas de baja y mediana presión se ha combinado con el uso del cloro en una planta de tratamiento de agua en Londres para la desinfección primaria y el mantenimiento de un residual (Wolfe, 1990, p.768).

Por otra parte, se ha hecho necesaria la implementación de alternativas que permitan llevar a cabo la clarificación del agua con coagulantes naturales, como la Moringa oleífera, y así evitar que le genere daños al ambiente y a las personas que se beneficien de esta agua tratada (Mera et al, 2016).

Se han realizado una gran cantidad de estudios, donde se evalúa la eficiencia de esta planta como coagulante-floculante natural para la clarificación y purificación en el tratamiento del agua para su potabilización.

### **2.1.1 A nivel mundial**

Se han realizado varias investigaciones, donde se destaca la realizada en los ríos Kadhokwa y Rwamamba, localizados en la provincia del sur de Ruanda, donde se consiguieron reducciones por encima del 95% en muestras para turbiedad de 50, 250 y 450 UNT para el tratamiento de agua para consumo humano. Además, se reportaron reducciones de más del 90 % en muestras realizadas a la prueba de color (Feria et al, 2014). En Malasia se encontraron resultados similares al reducir la turbiedad presentada de un arroyo turbio mediante una planta piloto, donde se utilizó la *Moringa oleífera* para el proceso de coagulación, la remoción de turbiedad fue por encima del 90% y 97% en muestras de 21 y 202 UNT, respectivamente (Feria et al, 2014).

Del mismo modo, en la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Se realizó un artículo titulado “Uso de la *Moringa oleífera* como coagulante en la potabilización de las aguas”, en el cual, se hizo un estudio donde se determinó la eficiencia de la *M. oleífera* en el proceso de coagulación del tratamiento de agua, donde se analizaron los parámetros de color, pH, turbidez y alcalinidad. Los resultados obtenidos en este análisis están por debajo de los límites establecidos en la Normatividad de Venezuela en la calidad del agua. Aunque el pH y la alcalinidad variaron mínimamente, estos resultados indicaron eficiencia en su implementación (Mendoza et al, 2000).

De igual forma, en la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Se realizó un artículo titulado “Eficiencia de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua”, donde se realizó un estudio de eficiencia de las semillas de *M. oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de agua, donde se analizaron muestras con valores de turbidez de 75 y 150 UNT, a valores mínimos de 14,9 y 8,5 NTU, respectivamente. Las cuales se realizaron con concentraciones de 500ppm y 400ppm de *M. oleífera*. Los resultados obtenidos identificaron remociones por encima del 80% y del 94%, respectivamente. Demostrando una efectividad en la implementación. Aunque presentó mejor eficiencia con el valor mayor de turbidez (Caldera, Mendoza, Briceño, García, & Fuentes, 2007).

De la misma manera, la Universidad de Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil. Se realizó un artículo titulado “Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de *Moringa oleífera* para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad”, el cual se centró en la comparación del sulfato de aluminio y la semilla de *moringa oleífera*, para eliminar la turbiedad en muestras del agua provenientes de la Laguna de Jiqui, estado del Rio Grande do Norte, Natal-Brasil. Se realizaron diversas pruebas donde se determinó a través del potencial Z que, la semilla de *Moringa oleífera* solo funciona como sustituto del sulfato de aluminio en aguas de baja turbiedad (Lédo, Lima, Paulo, & Duarte, 2009).

De la misma forma, la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Se realizó un estudio como proyecto de grado titulado “Eficiencia del coagulante de la semilla de *Moringa oleífera* en el tratamiento de agua con baja turbidez”, donde se cita que uno de los principales problemas por lo cual las comunidades rurales no consumen agua es por el alto contenido de

partículas en suspensión traducido esto en una alta turbiedad. Con respecto a este gran problema se optó por buscar alternativas de solución que no fueran muy costosas para el tratamiento de la turbiedad, siendo la semilla de moringa una de las mejores opciones en un ámbito de 50-100 UNT. En este se concluyó que coagular con semilla de moringa es viable siempre y cuando la turbiedad sea baja. El proceso también determinó que es mejor aplicar la semilla con cáscara junto con la adición de NaCl (CcNaCl) en una dosis de 25 ml/L el cual aumenta su eficiencia a un 69%. Se encontró que las variables determinan la eficiencia con presencia de NaCl y la dosis de moringa (Gómez Gutiérrez, 2010).

Por otro lado, en la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. Se realizó un artículo titulado “*Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales”, en donde se evaluó y comparó la eficiencia del sulfato de aluminio y la *M. oleífera* en la potabilización del agua. La remoción de turbiedad con sulfato de aluminio presentó mejores resultados, ya que el porcentaje de remoción superó el 95%; mientras que el realizado con la solución de *M. oleífera* no superó el 92% de remoción de turbidez, pero este no altera las condiciones químicas del agua (pH, Alcalinidad) y además mantiene los parámetros en valores semejantes a los establecidos en la Normatividad Mexicana de calidad del agua (Sandoval & Laínez, 1013).

### **2.1.2 A nivel nacional**

Se han realizado una gran variedad de estudios, donde se evaluó la eficiencia de la semilla de *M. oleífera* como coagulante natural en sustitución de coagulantes metálicos para la potabilización de aguas; en la Universidad Libre de Bogotá Sede Bosque Popular se realizó un

proyecto de grado titulado “Evaluación de la semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural para el tratamiento de aguas en el departamento del meta”, donde se determinaron que las condiciones más adecuadas para lograr un porcentaje de disminución del valor de turbidez del 91.04%, donde en 70% era Sulfato de aluminio y en 30% de *Moringa oleífera*, cada uno con una concentración de 10000 ppm y 20000 ppm respectivamente, y la dosis adecuada que se usó fue de 6 ml a un pH de 8 para eliminar finalmente de una forma eficaz la turbiedad del agua del Rio Guatiquia (Cerón & Garzón, 2015).

Del mismo modo, en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Villavicencio, Colombia. Se desarrolló una investigación como propuesta de grado titulada “Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de *Moringa oleífera* como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias”, en el cual se pudo verificar la gran ventaja que representa la utilización de las semillas de *M. oleífera* en el mejoramiento de las características físico-químicas, dado que es un producto cien por cien 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 aplicabilidad es sencilla y que no requiere de sistemas complejos o costosos para su uso (Melo & Turriago, 2012).

En la misma forma, la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Montería, Colombia. Se realizó un artículo titulado “Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú”, donde se evaluó la eficiencia del uso de la semilla de *M. Oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas y los posibles efectos

que podría generar sobre el pH y la alcalinidad. Los resultados obtenidos muestran que se lograron altas eficiencias en cuanto a la remoción de turbidez, ya que fue superior al 90%, pero solo para aguas con turbiedad inicial mayor a 90 UNT. Porque a una turbiedad inicial menor de 66 UNT, las eficiencias de remoción se encontraron en rangos de 70% a 85%, que tampoco deja de ser alta. En cuanto al pH y la alcalinidad, los cambios o alteraciones que se presentaron no fueron significativos (Feria et al, 2014).

De igual manera, la Universidad Libre, Bogotá D.C., Colombia. Desarrolló una investigación en la modalidad de trabajo de grado, titulado “Evaluación de la semilla de *Moringa oleífera* como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca”, donde se evaluó el uso de las semillas de *M. oleífera* como coagulante natural en la potabilización de aguas naturales, los resultados obtenidos demostraron bajos valores en la turbidez final. Debido a que se demostró tener un rendimiento aceptable en términos de porcentaje de remoción turbiedad, en comparación con el sulfato de aluminio, el cual es uno de los más comúnmente usados en las plantas de tratamiento (Ceron & Garzon, 2015).

Por otro lado, la Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Se realizó un artículo titulado “Evaluación de la eficiencia de semillas de (*Moringa oleífera lam.*) Como coagulante natural en la ciudad de Pasto – Colombia”, la cual tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de las semillas de *M. oleífera* en los procesos de coagulación. Donde se determinó que el mejor método es realizar la extracción en solución salina con un ( $p < 0,05$ ); y la variable de respuesta encontrada fue la remoción de turbiedad y los factores óptimos para una remoción del 97% son: dosis de

274,9 mg/l de extracto coagulante y 7,1 de pH con una confianza de 95% ( $p < 0,05$ ), lo que indica una alta eficiencia en la utilización de la *Moringa oleifera* (Gómez, 2016).

## 2.2 Marco teórico

En el agua proveniente de las fuentes superficiales y subterráneas también se puede encontrar una serie de partículas suspendidas y disueltas que deben ser removidas en la potabilización, ya que le confieren al agua turbidez y color (Mendoza, Fernández, Ettiene, & Díaz, 2000). Para este proceso en el tratamiento del agua, el coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio, debido a que se ha comprobado su eficiencia en lo que a remoción se refiere (Mendoza et al, 2000), pero también, puede ocasionar una afectación, ya que el aluminio residual que se genera en este proceso de potabilización puede ser nocivo para la salud, puesto que puede ser asimilado fácilmente por el hombre, afectando gravemente el sistema nervioso central (Mera, Gutiérrez, Montes, & Paz, 2016) también se pueden asociar con varias formas de cáncer, enfermedades óseas y Alzheimer (Molina, 2016). El cual mediante estudios realizados indican que existe relación entre los agentes etiológicos del mal de Alzheimer y la concentración de aluminio en el organismo humano, afirmando, además, que ocasiona envejecimiento prematuro (Mendoza et al, 2000).

Aunque existen diferentes tipos de desinfectantes el cloro líquido es el más usado para la desinfección de agua potable aunque para la aplicación de este se deben seguir una serie de procedimientos antes de su aplicación ya que se puede perder la aplicación, por ejemplo el agua debe estar sin niveles de turbiedad ya que el cloro no podría cumplir con su proceso de desinfección (Morales & Solsona, 2006), por otra parte el cloro al reaccionar en el agua forma

iones de clorito, siendo estos altamente reactivos, por lo cual permite eliminar microorganismos, pero también puede ocasionar daños a la salud pública asociadas a enfermedades como cáncer o defectos de nacimiento; en el caso de respirar dióxido de cloro gaseoso puede verse afectado la nariz, garganta y pulmones, si se llega a consumir en concentraciones que superan las tolerables puede causar irritación en el estómago (Agencia para Sustancias Tóxicas y EL Registro de Enfermedades, 2004).

### **2.2.1 Teoría de la coagulación**

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan (Restrepo, 2009, p.7).

### **2.2.2 Tecnologías aplicadas a la desinfección de aguas**

La desinfección del agua potable acapara el mayor interés en salud pública en el mundo entero cuya agenda está encaminada a la prevención de enfermedades infecciosas (Bull, y otros, 1995, p.28).

Una amplia gama de enfermedades producidas por virus (virus de la Hepatitis A, virus de la Poliomiélitis, etc.), bacterias (Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Yersinia, E. coli, etc.), protozoos (Amoeba, Giardia lamblia, Cryptosporidium) y trematodos (Shistosoma manzini, Dracunculus medinensis, Ascaris) pueden ser transmitidas por el consumo de aguas

contaminadas (Arboleda, 2000, p.633). La primera regla necesaria para prevenir este tipo de enfermedades es la selección del agua con mejor calidad. Con un buen recurso, la desinfección y demás tratamientos de agua potable sirven como seguro contra un cambio en su calidad (Craun, 1986, p.514).

### **2.2.3 Generación de subproductos en la desinfección**

Millones de personas en el mundo entero reciben cada día agua potable de calidad de sus sistemas públicos de abastecimiento, gracias al tratamiento inicial del recurso hídrico y en gran medida, gracias a la desinfección que es uno de los avances más importantes en salud pública en los últimos cien años (Ohanian, Mullin, & Orme, 1989, p.6). Los oxidantes/desinfectantes derivan su efectividad de su reactividad química general. Así, los mismos atributos que dan a los desinfectantes la capacidad para reaccionar con las membranas de las células, material del núcleo y proteínas celulares, también llevan a reacciones con la materia orgánica abiótica presentes (Singer & Reckhow, 2002, p.781). Como consecuencia de estas reacciones se pueden generar ciertos compuestos químicos denominados subproductos de desinfección (DBPs).

La primera vez que los científicos se percataron de la presencia de estos compuestos fue en la década de los 70. En 1974 dos grupos de investigación trabajando por vías diferentes identificaron los primeros subproductos de desinfección en agua potable clorada, el cloroformo y otros trihalometanos (THMs), a la vez que se descubrió su actividad cancerígena (Bellar, Linchtenbert, & Kroner, 1974, p.706). En 1976 la agencia de protección ambiental de Estados Unidos de América (U.S. EPA) publicó los resultados de cómo el cloroformo y otros compuestos químicos habían sido hallados en agua clorada (Singer & Reckhow, 2002, p.781). Como

resultado de estos descubrimientos, un importante cambio de rumbo en salud pública fue promovido.

#### **2.2.4 Tendencias futuras en los tratamientos de potabilización**

En la actualidad el desarrollo de normas en cuanto a desinfección y control de subproductos de cloración son de igual importancia y ambas regulaciones deben ir evolucionando simultáneamente. En los pasados 30 años, los países más desarrollados y en general la comunidad científica internacional, han conducido investigaciones y desarrollado métodos que buscan mejorar y compaginar la obtención de un agua de calidad óptima para el consumo y la minimización de los subproductos que se originan durante su tratamiento (Siddiqui, Amy, & Rice, 1995, p.59). Hay tres métodos básicos para el control de los subproductos de desinfección en los sistemas de agua potable: (1) reducir la formación de subproductos disminuyendo la concentración de los materiales orgánicos precursores antes del punto de desinfección, (2) reducir la formación de subproductos disminuyendo la dosis de desinfectante aplicada, cambiando el tipo de desinfectante utilizado u optimizando el ambiente de desinfección, y (3) eliminar los subproductos del agua una vez que durante el proceso ya se hayan formado (Clark, Thurnau, Sivaganesan, & Ringhand, 1994, p.493). Claro está que estos métodos muchas veces pueden complementarse unos con otros creando tratamientos híbridos que en la mayoría de los casos mejora el tratamiento en múltiples aspectos.

La alteración de las condiciones de desinfección y el uso de otros desinfectantes distintos al cloro es una posibilidad para el control de la concentración de subproductos halogenados y una tendencia atractiva encaminada hacia el tratamiento de agua potable. (Nissinen, Miettinen,

& Martikainen, 2002, p.12), llevaron a cabo una investigación cuyo objetivo principal era cuantificar los subproductos de desinfección en un sistema de tratamiento y distribución de agua potable. Este estudio encontró que las aguas cloradas por medio de un tratamiento convencional presentaba una concentración de 108  $\mu\text{g/l}$  de ácidos haloacéticos y 26  $\mu\text{g/l}$  de trihalometanos. Sin embargo, cuando la misma agua fue tratada con el mismo tratamiento convencional y cloraminada, se alcanzó una concentración de 20  $\mu\text{g/l}$  de ácidos haloacéticos y 2.1  $\mu\text{g/l}$  de trihalometanos.

Guay, Rodríguez, & Serodes (2005) llevaron a cabo un proyecto de investigación cuyo objetivo principal era evaluar el uso de ozonización en la pre-desinfección y el uso de cloraminas en la desinfección secundaria como una alternativa en el tratamiento para reducir la formación de subproductos de cloración. Los niveles de trihalometanos y ácidos haloacéticos en el sistema de distribución con el tratamiento convencional fueron 140  $\mu\text{g/l}$  y 171  $\mu\text{g/l}$ , respectivamente. Cuando el escenario de ozonización y cloraminación fue puesto en funcionamiento los valores obtenidos para trihalometanos y ácidos haloacéticos fueron 3  $\mu\text{g/l}$  y 10  $\mu\text{g/l}$  respectivamente, determinándose una reducción en la producción de estos subproductos no deseados del 98 % y 93 % respectivamente (p.231).

Sorlini & Collivignarelli (2005), investigaron el efecto de la oxidación química de tres compuestos, el cloro, dióxido de cloro y el ozono, en la formación de subproductos durante la desinfección de agua potable. Se evidenció que al ser reemplazado el cloro como desinfectante por dióxido de cloro y por ozono, la reducción en la cantidad de trihalometanos formados durante el proceso fue del orden de un 98% (p.105).

## **2.3 Marco contextual**

El corregimiento de San Pablo está ubicado en las siguientes coordenadas, Latitud: 8,56028 y Longitud: -73,2394 el cual está dentro del municipio de Teorama Norte de Santander, en el corregimiento se cuenta actualmente con un acueducto veredal que dota a la población del casco urbano en el cual existen 650 viviendas con una población de 3.500 habitantes aproximadamente, este acueducto es manipulado por un fontanero que se encarga de la limpieza, mantenimiento y control de la planta.

## **2.4 Marco conceptual**

### **2.4.1 Potabilización**

Siendo este un conjunto de operaciones que se aplican al agua cruda para cambiar los rasgos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos para lograr que pueda ser consumida, esto basado en una normativa que califica dependiendo sus valores. Existen algunos procesos que son muy comunes encontrarlos en plantas de potabilización convencionales como son la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Lozano y Lozano, 2015).

### **2.4.2 Coagulación**

En los procesos de coagulación se usan específicamente dos tipos de sales, las de aluminio y de hierro, dentro las sales de hierro se encuentra el cloro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso y dentro las sales de aluminio se encuentra el sulfato de aluminio, entre otros, siendo el sulfato de aluminio más usado a nivel mundial en los sistemas de tratamiento ya que su manejo es relativamente fácil, este se diluye en concentraciones de agua para adicionarse al proceso y se

encarga de formar flóculos muy pesados que logran sedimentarse para luego ser removidos (Lozano y Lozano, 2015).

Por otro lado, afirma que Velásquez (2008) la coagulación es el proceso mediante el cual se desestabilizan las cargas de las partículas suspendidas en el agua (coloides) permitiendo se aglomeren y formen una de mayor tamaño, la cual se sedimentará por gravedad o, en su defecto, le será más difícil cruzar a lo largo del lecho filtrante en el proceso posterior siendo así retirada del agua (p.5)

Por último, ( Chulluncuy, 2011) considera, que la coagulación consiste en la adición de coagulantes con el fin de desestabilizar las partículas coloidales para que sean removidas. Este proceso ocurre en fracciones de segundo, depende de la concentración del coagulante y del pH final de la mezcla. Mientras que la floculación es el proceso por el cual las partículas desestabilizadas chocan entre sí y se aglomeran formando los floc.

### **2.4.3 Desinfección**

Su principal objetivo es la eliminación de organismos patógenos, en este proceso se deben tener en cuenta varios factores como por ejemplo las características físicas del agua, la concentración de organismos que se puedan encontrar en el agua, etc. La cloración es el desinfectante más utilizado a nivel mundial ya que la efectividad sobre los diferentes microorganismos como bacterias, virus y protozoos es muy efectiva (Lozano y Lozano, 2015).

Por otro lado, (Velásquez, 2008, p.15), afirma que se refiere a la destrucción de los microorganismos patógenos presentes en el agua. Los procesos anteriores son considerados como preparatorios a la desinfección, ya que cada uno logra disminuir la carga bacteriana en el agua y hacen más eficientes los métodos de desinfección, ya que los microorganismos son partículas coloidales y son tratados como tal en la potabilización. Cabe aclarar que la floculación inducida por la turbulencia (ortocinética) tiene poca importancia en la aglutinación de éstas. Los principales microorganismos en el agua son: bacterias, protozoarios, virus y trematodos.

#### **2.4.4 Moringa Oleífera**

Moringa oleífera, árbol perteneciente a la familia Moringaceae, es nativo de las estribaciones meridionales del Himalaya y en la actualidad se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales, subtropicales y semiáridas del mundo. Puede crecer en condiciones de escasez de agua, pero su cultivo intensivo, con irrigación y fertilización, aumenta los rendimientos de biomasa hasta superar las 100 toneladas por hectárea (Foidl, Makkar, & Becker, 2001, p.45). Se conoce por diferentes nombres vernáculos, tales como: marango, moringa, resedá, árbol de rábano, árbol de la baqueta, Ángela, árbol de los espárragos, árbol de las perlas, árbol "ben", árbol de la vida y árbol de los milagros (Fuglie, 2001). Este último nombre es una medida de la importancia de esta planta para solucionar problemas de salud que, de otra manera, podrían considerarse incurables.

#### **2.4.5 Radiación ultravioleta**

Según Portero (2019) la radiación ultravioleta (UV) pertenece a la franja del espectro electromagnético con longitudes de onda entre 400 y 100 nm aproximadamente. Se extiende

desde la parte violeta del espectro visible hasta la zona de rayos X blandos, aunque ambos límites son arbitrarios (p.1).

#### **2.4.6 Estudios de tratabilidad**

Según (Envirologek, 2019) los estudiosos estudios de tratabilidad proporcionan una evaluación de bajo costo para el desarrollo de las químicas específicas del sitio para la recuperación de metales pesados y compuestos orgánicos. Los estudios de tratabilidad bien diseñados pueden identificar las mejores opciones de reactivos en dosis más bajas que se traducen en ahorro de costes y la reducción del riesgo de fracaso del tratamiento. Con un estudio de tratabilidad, químicas están diseñados para condiciones específicas del sitio, y permiten la evaluación de escenarios alternativos de tratamiento y opciones de uso de la tierra.

#### **2.4.7 Prueba de jarras**

Según (Navarro, 2019) comenta que en la prueba de jarras se utiliza variaciones en la dosis del polímero o coagulante en cada jarra (generalmente 6 jarras), permitiendo la reducción de los coloides en suspensión y materia orgánica a través del proceso de floculación; es decir, simula los procesos unitarios de coagulación, floculación y sedimentación, permitiendo además realizar el ajuste en el pH de cada muestra hasta llegar a los valores en los que la floculación alcanza sus mejores resultados.

## **2.5 Marco legal**

**2.5.1 Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000.** El cual fue expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico (2000) en la Resolución 1096 del 2000 y que en su título B, trata de los sistemas de acueducto; y en su título C, trata de los sistemas de potabilización; en estos títulos se describe y se explica los pasos que se deben llevar a cabo para realizar el estudio y el diseño de las etapas o procesos necesarios para desarrollar, ejecutar o implementar una planta de tratamiento de agua potable (PTAP). La cual fue derogada por la Resolución 330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017) y al igual que la anterior resolución adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

### **2.5.2 Norma Técnica Colombiana.**

En cuanto a estas normas, se tienen en cuenta las que tratan el tema de muestreo, las técnicas de muestreo, la preservación y el manejo de muestras, para determinar la calidad del agua a través de los parámetros fisicoquímicos y biológicos; las cuales están especificadas en la parte 1, parte 2 y parte 3 de la norma técnica NTC-ISO 5667-1, NTC-ISO 5667-2 y NTC-ISO 5667-3 expedidas por el ICONTEC (1995), y una de ellas posteriormente actualizada por el ICONTEC (2004), la NTC-ISO 5667-3.

**2.5.3 Ley 99 de 1993.** La cual fue expedida por el Congreso de la Republica; en esta ley se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Además, en uno de sus

principios se establece que, el agua para consumo humano tendrá la prioridad sobre cualquier otro uso del recurso hídrico (Congreso de la Republica, 1993).

**2.5.4 Decreto 1594 de 1984.** En este decreto emitido por la Presidencia de la Republica (1984). Se establecen los criterios de calidad para la potabilización del agua, por tratamiento convencional donde se incluyen los procesos de: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

**2.5.5 Decreto 475 De 1998.** En este decreto se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable, las cuales rigen en todo el territorio colombiano y son de carácter obligatorio, lo que permite garantizar que el agua tratada sea apta para el consumo humano (Presidencia de la Republica, 1998).

**2.5.6 Decreto 1575 de 2007.** En este decreto se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. El cual fue emitido por la Presidencia de la Republica (2007). A fin de poder monitorear, prevenir y controlar los riesgos que pueda causar a la salud humana el consumo del agua, exceptuando el agua envasada.

**2.5.7 Resolución 2115 de 2007.** En esta resolución expedida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Donde se expresan los valores máximos aceptables para

cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas, permitiendo realizar el control de estos y así poder evitar que se generen riesgos a la salud humana.

## Capítulo 3. Diseño Metodológico

### 3.1 Tipo de investigación

Esta investigación es cuantitativa, ya que se necesitará el uso de herramientas estadísticas y matemáticas para obtener resultados, además se recopilarán y analizarán datos obtenidos en campo a través de diferentes muestras. En cuanto al estudio será de tipo exploratorio porque se pretende indagar los procesos de potabilización de agua mediante una perspectiva poco estudiada e innovadora teniendo en cuenta que la moringa oleífera y la radiación ultravioleta han tenido poca incidencia en los procesos de potabilización, además esta investigación podrá abrir camino para nuevos estudios en la región. Esta investigación es de diseño experimental ya que se manipularán variables dependientes e independientes teniendo en cuenta que la implementación de las tecnologías propuestas en este estudio puede ser alteradas dependiendo los tiempos climatológicos (Hernández Sampieri, Collado Fernández, & Baptista Lucio, 2014).

### 3.2 Población

La población objeto de estudio corresponde a la planta de tratamiento de agua potable, la cual capta sus aguas de tres fuentes tributarias de la quebrada Vijagual, estas captaciones son de tipo sumergidas, las cuales transportan el agua hasta desarenadores por medio de mangueras de tres pulgadas y posteriormente son conducidas a la planta para el abasteciendo del casco urbano del corregimiento de San Pablo, Teorama, Norte de Santander; constituido por 800 viviendas, alrededor de 3.500 personas que se abastecen de dicha planta.

### **3.3 Muestra**

La muestra de este proyecto corresponde a la fuente de agua que entra a la planta de tratamiento, en la cual se tomaran dos puntos de muestreo, uno antes de ingresar a la planta y otro al salir de la planta, para comprobar la eficiencia de esta; y para analizar la eficiencia de las tecnologías (moringa y radiación ultravioleta) que se implementarán conforme avance el proyecto.

### **3.4 Recolección de la información**

Para llevar a cabo el primer objetivo planteado en este proyecto se realizaron dos visitas a la planta con las siguientes finalidades:

Se procedió a realizar muestreo tanto del agua que se capta como del agua que se distribuye, en ese sentido se hicieron dos muestreos con un total de cuatro muestras, el primer muestreo se realizó en tiempo de invierno donde las precipitaciones eran abundantes y el segundo se realizó en época de verano donde las precipitaciones eran escasas.

Diagnosticar la estructura de toda la planta de tratamiento del corregimiento de San Pablo, desde las diferentes bocatomas, ya que existen tres, hasta la fase de distribución; para este diagnóstico se midió meticulosamente sección por sección para poder hacer el plano de la planta, debido a que no se encontraron datos; y así poder tener un bosquejo de su estructura para poder analizar cada una de sus secciones mediante un análisis de lo que se puede captar visualmente.

Para la implementación de las tecnologías propuestas (Moringa oleífera y radiación ultravioleta), se llevaron a cabo pruebas de tratabilidad al agua para la moringa, hasta hallar las condiciones óptimas para el funcionamiento de la moringa como coagulante natural, mediante laboratorios de pruebas de jarras, las cuales permitieron dar a conocer la dosis óptima del coagulante de moringa en diferentes niveles de turbiedad y el tiempo que esta requiere para la formación de flóculos en el agua y su posterior sedimentación; llevando a cabo estas pruebas en diferentes condiciones climáticas (invierno y verano). Continuando con el análisis, se realizó una comparación del coagulante natural (moringa) con coagulantes metálicos, como el sulfato ferroso y el sulfato de aluminio “tipo A” para determinar su eficiencia.

Luego, se llevó a cabo la construcción de una planta piloto a pequeña escala, para poder hacer ensayos con la moringa, el sulfato ferroso y el sulfato de aluminio, después de conocer la dosis óptima del coagulante, por medio de la prueba de jarras; posteriormente se realizó la desinfección del agua que viene del proceso anterior con radiación ultravioleta, la cual se llevó a cabo por medio de lámparas con radiación o luz ultravioleta; esta agua se expuso radiación con diferentes periodos de retención hidráulica, para así, poder conocer el tiempo de exposición al que debe estar sometida el agua, para ser desinfectada. Además, se realizaron pruebas con hipoclorito de sodio (cloro líquido) al 5%, todo esto para comparar la eficacia y efectividad de las tecnologías que se quieren implementar mediante pruebas de ensayo error.

Procedimiento para la ejecución.

Implementación de la Moringa oleífera como coagulante

Procedimiento de obtención de la moringa como coagulante, se llevó a cabo siguiendo el método desarrollado por Arias, Hernández, Castro y Sánchez (2017) en el que se describe lo especificado a continuación:

Obtención del polvo de la semilla de moringa, este proceso se realizó con semillas de moringa sin uniformidad y algo húmedas, por lo que se pusieron al sol para que se secaran, después mediante la utilización de un molino casero se molieron de dos formas las semillas de moringa, con cascara y sin cascara, debido a que se quería probar la eficiencia de estas dos variables en el proceso de investigación. El polvo obtenido de la semilla de moringa en ambos casos presentó un aspecto grasoso, aunque la semilla con cascara, presentaba una textura más gruesa y menor grasa al tacto con los dedos.

Extracción de la grasa y el aceite del polvo de la semilla de moringa, dado que dicha semilla tiene aproximadamente un 40% de su peso total en grasas y aceites, este porcentaje de la semilla no posee propiedades coagulantes en el agua y por el contrario deja un residual lipídico en esta, por lo que se debe hacer una extracción de la grasa y aceite contenidos en la moringa. El desarrollo de este método debe prevenir la disminución de proteína, el principal causante del proceso de coagulación, que corresponde al 60% del total de su peso. Por tal motivo, se procedió a extraer la mayor cantidad de grasa y aceite posible de la semilla de moringa, por lo que en este estudio se realizó mediante la utilización de agua hervida, donde el agua se ponía a hervir y

cuando esta entraba en su punto de ebullición, se le agregaba el polvo de moringa, se apagaba el fuego y se dejaba reposar por cinco minutos, para que este soltara la mayor cantidad de grasa posible; este proceso se repitió tres veces. Luego se filtró el agua en una tela fina que se esterilizó en agua hirviendo, la torta que quedó se puso a secar hasta que se convirtió en polvo nuevamente.

Obtención del coagulante de moringa, ahora se explica cómo se obtuvo la solución madre del polvo de moringa, que fue utilizada en esta investigación. Primero se preparó una solución de cloruro de sodio (NaCl) con una concentración del 5% (50 g de NaCl). La cual se mezcló durante un periodo de 20 minutos en un vaso de precipitado de 1000 ml con un agitador magnético a 200 rpm para homogenizar la solución. Después, se añadió 50 g del polvo de moringa en un litro de la solución de NaCl y se mezcló durante 10 minutos con un agitador magnético a 100 rpm. La solución resultante fue filtrada en papel filtro, marca Munktell, con tamaños de poro de alrededor de 110 mm. Obteniendo así, la solución madre del extracto de la semilla de *M. Oleífera* con NaCl al 5%. Además, se recomienda que para un mejor funcionamiento de la solución madre de moringa, hay que mantenerla refrigerada y por un periodo no mayor a un mes (Arias et al, 2017). De igual forma, en la misma investigación realizada por Arias et al, 2017, dice que: “Este procedimiento permite la extracción del componente activo de la *M. Oleífera*, ya que el NaCl hace que la proteína catiónica que compone el coagulante de moringa se vuelva más soluble en el agua turbia. Lo cual provoca que exista mayor contacto con las partículas presentes en el agua, potencializando así, el coagulante”.

Después de obtener la solución madre de M. oleífera, se procedió a realizar las pruebas de jarras, para determinar las condiciones óptimas del funcionamiento de la moringa como sustancia coagulante, probando diferentes variables.

Implementación de coagulantes metálicos (sulfato de aluminio “tipo A” y sulfato ferroso).

Para la preparación de la solución del coagulante de sulfato de aluminio y sulfato ferroso, se llevaron a cabo los siguientes pasos: primero, se agregó un litro de agua destilada en un vaso de precipitado; luego, se agregaron 10 gramos de sulfato de aluminio “tipo A” y posteriormente se revolvió con un agitador hasta homogenizar la solución. Este proceso se repitió con el sulfato ferroso.

Implementación de la planta piloto para los procesos de coagulación.

Para poner en funcionamiento de la planta piloto, se realizó su construcción con los procesos coagulación (mezcla rápida, se hizo manualmente), floculación (mezcla lenta), sedimentación y filtración, esto con el fin de reducir las partículas coloidales, permitiendo disminuir la turbiedad y el color del agua.

Implementación de la radiación ultravioleta como desinfectante.

El procedimiento de la radiación ultravioleta se llevó a cabo por medio de 2 lámparas con luz ultravioleta de 15 vatios, que fueron instaladas en los laterales interiores de un cajón rectangular de madera, el cual fue realizado por los autores del proyecto (ver apéndice G); y fue cubierto por dentro con papel aluminio, para evitar que la luz ultravioleta se escape de dicho cajón; el cual retiene el agua dentro de él, por medio de un rectángulo de vidrio en forma de “L”

el cual permite crear un periodo de retención en el agua, y a medida que aumenta dicho tiempo de retención, va aumentando la eliminación de microorganismos en el agua, dejando a dicha agua apta para el consumo humano. Luego de esto, se procedió a recoger el agua que se llevó a analizar en laboratorio con diferentes tiempos de exposición a la luz UV, estas muestras fueron recogidas en frascos de vidrios esterilizados, los cuales fueron llevados en una cava refrigerada, para ser analizada con el método de filtración de membrana, y así determinar la presencia de Coliformes totales y *Escherichia coli*. Para el desarrollo del método por filtración de membrana se empleó el medio de agar chromocult, el cual es utilizado para el crecimiento de colonias de Coliformes totales y E. coli; el papel filtro utilizado para la filtración por membrana fue de Cellulose Nitrate Filter, con tamaños de poro 0.45 µm. El cual, luego del proceso fue colocado en la caja de petri con el medio de agar Chromocult en incubadora a 37,5 °C. Por un periodo de 24 horas.

#### Implementación del hipoclorito de sodio (cloro líquido) como desinfectante

Para la utilización del hipoclorito de sodio como desinfectante se realizaron los siguientes pasos: primero, se consiguió hipoclorito de sodio con una concentración del 5%, luego se pasa el agua a desinfectar por un filtro con carbón activado para disminuir la turbiedad del agua, después se procedió a determinar la cantidad adecuada de cloro a adicionarse mediante la siguiente formula implementada en Aquaquimi:

$$v = (V * D) / (C * 10)$$

v: volumen de solución de hipoclorito requerido en mililitros

V: volumen de agua a desinfectar en litros

D: dosis a lograrse en mg/litro

C: concentración % de cloro disponible en la solución de hipoclorito

10: valor constante

Se utilizó cloro líquido doméstico, el cual tiene una concentración de hipoclorito de sodio del 5%, la cantidad de agua a desinfectar fue 10 litro y la dosis recomendada para la desinfección fue de 4 mg/l, por lo tanto, la cantidad a adicionar de cloro para la desinfección del agua fue  $v = (10 \cdot 4) / (5 \cdot 10) = 0,8$  ml

Luego de agregar la cantidad de cloro líquido recomendada en la formula anterior, se debe agitar o revolver el agua, para que se mezcle y dejar reposar por 30 minutos para que se realice la desinfección.

Para el cumplimiento de lo planteado en la determinación de los costos monetarios se dividió en dos fases, una para los procesos de coagulación, floculación y sedimentación y la otra fase para el proceso de desinfección.

Fase de clarificación: Se realizó ensayo de jarras para el desarrollo de las actividades del objetivo anterior, pero también para poder conocer la cantidad de sulfato de aluminio, sulfato ferroso y moringa que se le aplicó al agua cruda con la que se trabajó, esto para poder saber la cantidad del coagulante requerido y determinar los precios monetarios.

Fase de desinfección: Se tomó dos muestras de 500 ml cada una para luego tratarlas, una con cloro según la fórmula utilizada en (Aquaquimi, 2013) y la otra con radiación ultravioleta (esto después de haber determinado el tiempo óptimo de exposición), para determinar los precios monetarios.

### **3.5 Análisis de la información**

Teniendo en cuenta los datos recolectados se procedió a realizar lo estipulado en la resolución 2115 de 2007 donde se planteó el cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano “IRCA” y también el índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano “IRABA”, el IRABA se determinó para saber los criterios de tratamiento, distribución y continuidad del servicio y así poder saber con datos numéricos el estado de la PTAP, por otro lado, el IRCA se halló primero, para saber el estado del agua y segundo para que sirva como indicador de cuales de las secciones de la planta pueden estar fallando.

Para la *Moringa oleífera* se basó en pruebas de tratabilidad como se especifica en el RAS 2000, título C; y en el método desarrollado por Lozano y Lozano (2015. p. 322) en su libro. Para comprobar la eficiencia de la moringa se desarrollaron pruebas de jarras, a las cuales se le determinó los parámetros de Turbiedad, Color, Potencial de Hidrogeno (pH) y Alcalinidad a una muestra inicial del agua y a las muestras que mejor resultados presenten en la prueba de jarras. En tablas se registraron los datos de los diferentes volúmenes o concentraciones del coagulante de la solución de moringa y el tiempo que esta requiere para la formación de flóculos en el agua y su posterior sedimentación utilizando el índice de Willcomb descrito en Lozano y Lozano (2015. P. 321); y para la radiación ultravioleta, en la tabla de datos se analizó el periodo de

retención o de exposición a la luz ultravioleta que requiere el agua, hasta lograr una óptima desinfección. Además, se hizo la comparación de las tecnologías propuestas, con coagulantes y desinfectantes tradicionales, como lo son el sulfato de aluminio (tipo A) y el sulfato ferroso, y el cloro respectivamente.

Para determinar los costos monetarios, se analizó mediante tabulación de información por medio de tablas, donde se pudo evidenciar cual proceso es más eficiente en cuanto a la parte económica se refiere, por un lado, se comparó la moringa con sulfato (de aluminio y ferroso); y, por otra parte, se comparó el cloro y la radiación ultravioleta.

## Capítulo 4. Resultados

### 4.1 Resultado del primer objetivo específico

Con la finalidad de poder determinar la calidad del agua se realizaron muestreos en la entrada de las bocatomas y a la salida de la planta, esto para poder tener indicadores que muestren donde puede haber problemas en la planta. Debido a los cambios que se presentan naturalmente en el ambiente se procedió a hacer muestreo en época de verano e invierno del segundo periodo del año 2018.

Es importante saber que la planta no cuenta con análisis de sus aguas, tampoco se conoce que entidades externas lo hayan hecho; los análisis realizados en este proyecto se hicieron en los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña “UFPSO” y algunos en laboratorios externos como los de la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña “ESPO S.A” y en Asociación de Amigos Usuarios del Acueducto Independiente de Ocaña “ADAMIUAIN E.S.P”.

#### 4.1.1 Época de invierno.

Este muestreo se realizó el día 4 de octubre del 2018 donde se presentó precipitaciones la noche anterior. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla 2.

**Tabla 1. Parámetros del agua cruda y tratada de la PTAP del corregimiento de San Pablo (invierno).**

Parámetros	Resultado		Unidades	Porcentaje de remoción	Máximo aceptable (Resolución 2115 del 2007)
	Agua cruda	Agua tratada			
Turbiedad	18,81	20,9	NTU	-11,11	2
Color	112,39	159	UPtCO	-41,47	15
Alcalinidad	64,17	70	mg/L CaCO3	-9,09	200
Dureza	62,88	85,08	mg/L CaCO3	-35,31	300
pH	7,53	7,86	pH	-4,38	6,5 - 9,0
Nitritos	0,02	0,03	mg/L	-50,00	0,1
Nitratos	10,57	14,1	mg/L	-33,40	10
Coliformes totales	>200	>200	UFC/100 cm3	0	0
Escherichia Coli	>200	>200	UFC/100 cm3	0	0

Fuente: Autores del proyecto.

*Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano época de invierno.*

**Tabla 2. Puntajes de riesgo (invierno).**

Característica	Puntaje de riesgo
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Alcalinidad total	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Coliformes totales	15
Escherichia Coli	25

Fuente: Resolución 2115 del 2007.

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{\sum \text{Puntaje de riesgo de las características no aceptables}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}} \times 100$$

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{15+6+1+15+25}{67,5} \times 100$$

$$\text{IRCA}(\%) = 91,85$$

Clasificación del nivel de riesgo época de invierno.

**Tabla 3. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra (invierno).**

Clasificación IRCA	Nivel de riesgo
80,1 - 100	Inviabile sanitariamente
35,1 - 80	Alto
14,1 - 35	Medio
5,1 - 14	Bajo
0 - 5	Sin riesgo

Fuente: Resolución 2115 del 2007.

#### 4.1.2 Época de verano.

Estas muestras se tomaron el 13 de diciembre del 2018 ya que en esa época no se presentaron precipitaciones.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla número 5.

**Tabla 4. Parámetros del agua cruda y tratada de la PTAP del corregimiento de San Pablo (verano).**

Parámetros	Resultado		Unidades	Porcentaje de remoción (%)	Máximo aceptable (Resolución 2115 del 2007)
	Agua cruda	Agua tratada			
Turbiedad	5,23	6,93	NTU	-32,50	2
Color	51,13	78	UPtCO	-52,55	15
Alcalinidad	59,17	70	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-18,30	200
Dureza	68,27	95,09	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-39,29	300
pH	7,3	7,76	pH	-6,30	6,5 - 9,0
Nitritos	0,013	0,02	mg/L	-53,85	0,1
Nitratos	13,52	20,7	mg/L	-53,11	10
Coliformes totales	>200	>200	UFC/100 cm <sup>3</sup>	0	0
Escherichia Coli	>200	>200	UFC/100 cm <sup>3</sup>	0	0

Fuente: Autores del proyecto.

Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano época de verano.

**Tabla 5. Puntajes de riesgo (verano).**

Característica	Puntaje de riesgo
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Alcalinidad total	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Coliformes totales	15
Escherichia Coli	25

Fuente: Resolución 2115del 2007.

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{\sum \text{Puntaje de riesgo de las características no aceptables}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las caractiriscas analizadas}} \times 100$$

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{15+6+1+15+25}{67,5} \times 100$$

$$\text{IRCA}(\%) = 91,85$$

*Clasificación del nivel de riesgo época de verano.*

**Tabla 6. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra (verano).**

Clasificación IRCA	Nivel de riesgo
80,1 - 100	Inviabile sanitariamente
35,1 - 80	Alto
14,1 - 35	Medio
5,1 - 14	Bajo
0 - 5	Sin riesgo

Fuente: Resolución 2115del 2007.

Como se puede apreciar en las tablas 4 y 5 para los periodos de invierno y verano el porcentaje de remoción que realiza la planta es deficiente, lo que quiere decir que la planta no

está haciendo los procesos como deberían hacerse, por esta razón dan negativos los valores, a su vez se puede deducir que ningún proceso de la planta está cumpliendo el objetivo para el que fue diseñado.

### **4.1.3 Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Pablo, Teorama.**

#### *4.1.3.1 Características de los Procesos.*

La planta de tratamiento del corregimiento de San Pablo fue diseñada y construida en el año 2000, esta cuenta con rejillas de captación, desarenadores, canaletas de medición de caudal, filtros descendentes y ascendentes, y tanque de almacenamiento, cabe destacar que debido al crecimiento poblacional se ha visto la necesidad de hacer modificaciones en la estructura para poder suplir a la población.

Es de vital importancia mencionar que esta planta es de tipo veredal, por lo tanto, es manejada por la junta de acción comunal del corregimiento para su posterior distribución a los habitantes del casco urbano.

#### *4.1.3.1.1 Captación.*

Para el proceso de captación la planta cuenta con tres bocatomas diferentes que dirigen sus aguas en tubos de tres pulgadas de diámetro las cuales captan sus aguas de fuentes tributarias de la microcuenca Vijagual, aunque estas tres estructuras son totalmente diferentes cuentan con características similares como lo son la distancia entre barrotes de sus rejillas, las cuales cuentan

con distancias que van desde los 3,0 cm hasta 1,5 cm, por lo cual se puede decir, que son rejillas finas, también comparten su modo de limpieza ya que estas son de limpieza manual; por otro lado una de estas tiene algo diferente que no es notorio en las otras dos y es que la rejilla cuenta con una inclinación en contra del flujo del agua lo cual provoca constantes taponamientos de materiales como hojas, madera y arena.

#### *4.1.3.1.2 Desarenadores.*

Existen cuatro desarenadores ya que una de las bocatomas cuenta con dos, esto se debe a que el desarenador construido inicialmente no era suficiente para el caudal de agua que se podía captar, por tal motivo se construyó otro al lado del que ya estaba para poder tratar el caudal de entrada, es importante recalcar que cada uno de ellos cumple con un punto importante que se tiene en cuenta a la hora de la construcción de los desarenadores y es que están cerca de las rejillas de captación.

Los primeros desarenadores fueron construidos de manera más compleja, ya que estos cuentan con paredes internas que ayudan a una decantación más rápida de los sólidos suspendidos en el agua, por otro lado, los desarenadores y rejillas de captación que se construyeron después de la construcción de la planta son más simples, cumplen con su función, pero a excepción de los primeros no sedimentan tantos sólidos.

#### *4.1.3.1.3 Coagulación, floculación, sedimentación.*

Siendo este uno de los primeros procesos en utilizar componentes químicos para procesos de clarificación, en esta planta no se realiza nada, pues, aunque existe la estructura para realizar

mezcla rápida y lenta, no se adicionada ninguna clase de coagulante que ayude a la formación de flóculos y posteriormente haya sedimentación.

#### *.1.3.1.4 Filtros.*

En la planta del corregimiento existen dos clases de filtro, uno que utiliza módulos sedimentadores para que las partículas queden adheridas a estas y pueda haber remoción de sólidos en suspensión, y la otra clase de filtro son de tipo descendente, cabe mencionar que a estos filtros no se les hace mantenimiento, por lo tanto, se puede decir que están colmatados.

#### *4.1.3.1.5 Cloración y tanque de almacenamiento.*

Siendo el proceso de cloración el más importante de todos los procesos, debido a que este influye en gran medida en la salud pública de quienes ingieran esta agua, en esta planta no se hace cloración de ningún tipo, solo se almacena el agua en el tanque de almacenamiento para su posterior distribución.

#### **4.1.4 Diagnostico operacional.**

En la tabla 8 se muestra el desarrollo operacional y estructural de la planta de tratamiento del corregimiento de San Pablo.

**Tabla 7. Estado de la estructura PTAP San Pablo.**

Estructura	Estado	Problema	Causa	Ilustración
Bocatoma #1	Regular	Taponamientos continuos	La inclinación de la rejilla.	
Bocatoma #2	Buena	-	-	
Bocatoma #3	Buena	-	-	
Desarenador #1	Bueno	-	-	
Desarenador #2	Regular	Poca sedimentación	Estructura	
Desarenador #3	Regular	Poca sedimentación	Estructura	
Adición de coagulante	Malo	No se aplica	No se compra	-
Sedimentación	Malo	No hay sedimentación	No existe un tanque para este proceso	-
Filtros	Malo	No está filtrando como debería	Falta de mantenimiento	
Cloración	Mala	No se aplica	No se compra	-
Almacenamiento	Bueno	-	-	

Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.1.4.1 Índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano.

**Tabla 8. IRABA PTAP San Pablo.**

IRABA p.p. = 100 - (0 + 10)	Valor del IRABA p.p: 90
Valor del IT: 0 + 0 + 0 = 0	
Descripción del Tratamiento. Posibles procesos: cribado, desarenación, ablandamiento, aireación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, estabilización, tratamiento de lodos, otros	Puntaje asignado
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	50
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	25
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	15
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	10
Sólo requiere desinfección y ésta se realiza.	50
Sólo realiza desinfección.	15
No hay ningún tipo de tratamiento.	0
Dotación Básica de Laboratorio para la realización de los siguientes ensayos	
Tres puntos por cada uno:	3 * 0 = 0
Equipo para Prueba de Jarras.	
Equipo para Demanda de Cloro.	

---

Equipo para Turbiedad.	
Equipo para Color aparente.	
Equipo para pH.	
Trabajadores Certificados en las Normas Colombianas de Competencia Laboral de la Titulación 180201002 Operación de Sistemas de Potabilización de Agua - Nivel 3 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.	
Entre el 90% y el 100% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002.	15
Entre el 50% y el 90% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002.	10
Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002.	0
Índice de Continuidad (IC)	
$IC = \left( \frac{\sum(Nhs) \times (Ps)}{(730) \times (Pt)} \right) \times \left( \frac{24h}{Día} \right)$	
$IC = \left( \frac{\sum(365) \times (3200)}{(730) \times (3200)} \right) \times \left( \frac{24h}{1} \right) = 12 \text{ horas/Día}$	
0 - 10 horas/día (insuficiente): (0)	Valor del IC: 10
10.1 - 18 horas/día (no satisfactorio): (10)	
18.1 - 23 horas/día (suficiente): (15)	
23.1 - 24 horas/día (continuo): (20)	

---

Fuente: Autores del proyecto.

Con base al diagnóstico operacional es factible decir que la planta cuenta con una estructura para que se pueda llevar a cabo un proceso de potabilización optimo, el problema radica en que no se realiza ningún tratamiento químico donde se puedan desestabilizar partículas coloidales para sedimentarlas y eliminarlas del proceso y tampoco donde se pueda llevar un proceso de desinfección para poder eliminar microorganismos, además según los análisis químicos y físicos realizados es importante hacer mantenimiento periódicamente (por lo menos una vez al mes).

## 4.2 Resultado del segundo objetivo específico.

### 4.2.1 Moringa oleífera

Respecto al uso de la moringa como coagulante se desarrollaron una serie de ensayos con variables distintas, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 9. Variables del uso de la moringa como coagulante.**

Variables utilizadas para la coagulación con semillas de Moringa oleífera	
1	Semilla molida y triturada en mortero con grasa (solución) a temperatura ambiente
2	Semilla molida y triturada en mortero con grasa (solución) en refrigeración
3	Semilla molida con cascara y grasa (solución) a temperatura ambiente
4	Semilla molida con cascara y grasa (solución) en refrigeración
5	Semilla molida con cascara en polvo
6	Semilla molida sin cascara en polvo
7	Semilla molida sin cascara y con grasa (solución) a temperatura ambiente
8	Semilla molida sin cascara y con grasa (solución) en refrigeración
9	Semilla molida sin cascara y sin grasa (solución) a temperatura ambiente
10	Semilla molida sin cascara y sin grasa (solución) en refrigeración

*Fuente:* Autores del proyecto.

En cuanto al modo que se escogieron las variables a realizar en las pruebas de jarras, este se debe a que se siguió la recomendación realizada por Arias et al, 2017. Que decía: “que la solución de moringa debía estar refrigerada”. Por otro lado, se recibió la sugerencia del jurado de la tesis el Ing. Fernando Osorio que recomendó que se agregara la variable a temperatura ambiente, por lo que se procedió a desarrollar ambas variables, en refrigeración y a temperatura ambiente. Y las variables de la solución de moringa sin grasa y con grasa, se debe también, a lo

comentado por Arias et al, 2017. Que dice: “que la semilla de moringa tiene un 40% de su peso en grasa, lo cual afecta al proceso de coagulación”. Por esto, se decidió realizar una prueba con grasa y sin grasa para conocer el funcionamiento de estas dos variables. Y la última variable utilizada, fue la semilla de moringa en polvo con cascara y sin cascara.

Para hallar la dosis optima de la solución de coagulante de moringa en la prueba de jarras se tendrá en cuenta la siguiente tabla donde se describe el índice de Willcomb, que se muestra en Lozano y Lozano (2015. p. 321).

**Tabla 10. Índice de Willcomb.**

Índice de Willcomb	Descripción
0	Ausente. Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible. Floc muy pequeño; casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso. Floc bien formado pero distribuido en toda la columna de agua. (Sedimentación excesivamente lenta o nula).
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que se precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se sedimenta fácil y completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita totalmente dejando el agua cristalina.

*Fuente:* Lozano y Lozano, 2015.

Las pruebas de Jarras se realizaron en vasos de precipitado de 1000 ml, con un volumen de agua cruda de 800 ml y la cantidad de coagulante a aplicar varió de 10 ml a 120 ml para cada variable utilizada. Estas variables en el uso de la moringa se iban reduciendo hasta encontrar la que tuviera un mejor funcionamiento en coagulación, floculación y sedimentación del agua en las pruebas de jarras. Por otro lado, a todas las muestras no se le podía tomar los parámetros de

turbiedad, color, pH y alcalinidad del agua, debido a que en la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña limitaban tanto el número de muestras como de laboratorios para la realización del presente proyecto de grado, por lo que se limitó a tomar la jarra que mejor resultado presentó con respecto al color aparente.

Antes de hablar de los resultados de las pruebas de jarras hay que resaltar que a las variables 1, 2, 3 y 4 no se le realizó extracción de la grasa y aceite, porque se presentaron problemas técnicos en la UFPSO que impidieron el préstamo del equipo extractor soxhlet, por lo tanto, el método de extracción soxhlet, como lo explica Valencia (2018) en su tesis de grado “Métodos de extracción de aceite esencial de la semilla de moringa (*Moringa oleífera*)” no se pudo llevar a cabo. Por lo que se tuvo que buscar otro método para la extracción del aceite.

La prueba de jarras de la variable 1 y 2 que representan a la semilla de moringa molida y triturada en mortero con grasa, fue realizada en temporada de invierno y sus resultados se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 11. Prueba de jarras de las variables 1 y 2.**

Semilla molida y triturada en mortero con grasa					
Vaso	Volumen del coagulante	Temperatura Ambiente Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación	Refrigeración Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación
1	10	2	0	2	0
2	20	4	0	4	0
3	30	4	0	4	0
4	40	6	0	6	0
5	50	4	0	4	0
6	60	4	0	4	0
7	70	4	0	4	0

8	80	4	0	4	0
9	90	2	0	2	0
10	100	2	0	2	0
11	110	2	0	0	0
12	120	2	0	0	0

*Fuente:* Autores del proyecto

En las pruebas de jarras se pudo observar que a medida que se aumentaba la concentración del coagulante, el color del agua iba aumentando considerablemente, y en cuanto a la floculación del agua, los floc que se produjeron fueron muy pequeños y casi imperceptibles en algunos casos, como se pudo observar en el índice de Willcomb. Debido a esto, la sedimentación en estas pruebas de jarras fue excesivamente lenta o nula, por lo que, no se reconoció el tiempo de sedimentación en ambas variables, por esto, se escogieron las dos muestras que mejor índice de Willcomb presentaron, descartando el análisis de los parámetros de las demás pruebas. Las muestras escogidas tenían una concentración de 40 ml en ambos casos. Los resultados obtenidos de los parámetros analizados a las muestras son los que se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 12. Muestra representativa de las variables 1 y 2.**

Parámetros	Unidad	Muestra inicial	Concentración del coagulante		Porcentaje de Remoción (%)	
			Temperatura ambiente (40ml)	Refrigeración a 10°C (40ml)	Temperatura ambiente	Refrigeración a 10°C
Turbiedad	UNT	17,7	48	45	-171,18	-154,23
Color	UPtCO	102	684	360	-570,58	-252,94
pH	pH	7,1	7,07	7,2	No aplica	No aplica
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	60	60	50	No aplica	No aplica
Temperatura	°C	21,4	21,4	21,4	No aplica	No aplica

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se pudo observar en la tabla anterior la semilla molida y triturada en mortero con grasa no presentó resultados positivos, debido a que, no hubo remoción de la turbiedad ni del color, por el contrario, estos parámetros aumentaron haciéndose más evidentes en temperatura ambiente que en refrigeración. Además, la solución de moringa a temperatura ambiente presentaba un olor desagradable, por lo que se cree que la solución estaba en proceso de descomposición, por falta de refrigeración, debido a que, la solución de moringa tenía varios días preparada.

Continuando con las variables 3 y 4, que representan a la semilla molida con cascara y grasa; los resultados de la prueba de jarras se encuentran en la siguiente tabla. Cabe resaltar que el agua utilizada en esta prueba fue recolectada en tiempo de invierno, por lo que los resultados presentes no varían mucho, respecto a la muestra inicial anterior.

**Tabla 13. Prueba de jarras de las variables 3 y 4.**

Vaso	Volumen del coagulante	Semilla molida con cascara y grasa			
		Temperatura Ambiente Índice de Willcomb	Ambiente Tiempo de sedimentación	Refrigeración Índice de Willcomb	Refrigeración Tiempo de sedimentación
1	10	2	0	2	0
2	20	4	0	4	0
3	30	6	0	4	0
4	40	6	0	6	0
5	50	4	0	6	0
6	60	4	0	4	0
7	70	2	0	4	0
8	80	4	0	4	0
9	90	2	0	2	0
10	100	2	0	2	0
11	110	0	0	4	0
12	120	0	0	6	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

En esta prueba de jarras de la solución de semilla molida con cascara y grasa se observó, en la variable de temperatura ambiente, que a medida que el volumen del coagulante aumentaba, igualmente lo hacía el color del agua; en cambio en refrigeración, el color del agua aumentaba y disminuía sin importar la concentración del coagulante, debido a que, el floc se formó tanto en concentraciones bajas como en altas. Aunque la sedimentación del floc se dio lentamente, después de 30 minutos, se escogieron las jarras de 30 ml a temperatura ambiente y 40 ml en refrigeración como muestras a analizar. En cuanto al tiempo de sedimentación del floc total en el agua, este no se conoce ya que el floc, aunque es grande en algunos casos, no sedimenta, como se puede observar en el índice de Willcomb. Los resultados de los parámetros analizados a ambas variables fueron los siguientes.

**Tabla 14. Muestra representativa de las variables 3 y 4.**

Parámetros	Unidad	Muestra inicial	Concentración del coagulante		Porcentaje de Remoción (%)	
			Temperatura ambiente (30ml)	Refrigeración a 10°C (40ml)	Temperatura ambiente	Refrigeración a 10°C
Turbiedad	UNT	18,3	40	42	-118,57	-129,50
Color	UPtC	112	392	375	-250	-234,82
pH	pH	7,3	7,09	7,35	No aplica	No aplica
Alcalinidad	mg/L CaC	50	50	50	No aplica	No aplica
Temperatura	°C	20,8	21	21	No aplica	No aplica

*Fuente:* Autores del proyecto.

Los resultados que se presentaron en los parámetros realizados muestran que no hubo funcionamiento de la moringa como coagulante, ya que no se presentó ningún porcentaje de

remoción de la turbiedad ni del color, por el contrario, los resultados de los parámetros aumentaron en más de un 100%. Además, en esta solución de moringa a temperatura ambiente se presenta de igual forma un olor desagradable, pero que, a diferencia de la solución anterior, los resultados de ambas muestras no varían mucho, como en el caso del color.

Siguiendo con la variable 5 y 6 de la tabla 10, que representan a la semilla de moringa en polvo, con cascara y sin cascara; estas variables se realizaron, debido a que, se quiso probar si la moringa en polvo también poseía propiedades de coagulación y floculación como el coagulante de moringa en solución, por lo que, se hicieron pruebas con concentraciones que van desde los 10 g a 60 g por 800 ml de agua en cada jarra. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla a continuación.

**Tabla 15. Prueba de jarras de las variables 5 y 6.**

Vaso	Cantidad del coagulante en polvo (g)	Semilla molida con cascara		Semilla molida sin cascara	
		Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación
1	10	0	0	0	0
2	20	0	0	0	0
3	30	0	0	0	0
4	40	0	0	0	0
5	50	0	0	0	0
6	60	0	0	0	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se pudo observar en la tabla anterior, la moringa en polvo no presentó formación de floc, como se ve en el índice de Willcomb, por lo tanto, no se realizó un muestreo inicial al agua, ya que no hubo muestra representativa con la cual comparar y analizar los datos que se obtuvieran de dicha muestra.

Después se prosiguió a realizar las pruebas de jarras con las variables 7, 8, 9 y 10 de la Tabla 10. De las cuales la solución de moringa de la variable 7 y 8 se realizaron de la semilla molida, sin cascara y con grasa, ya que no se le hizo la extracción del aceite a esta. Y la solución de moringa de la variable 9 y 10 se realizaron de la semilla molida, sin cascara y sin grasa. Las soluciones de moringa para las variables 7, 8, 9 y 10 se prepararon un día antes de la prueba jarras, para evitar que presentaran olores desagradables al momento de realizar dichas pruebas, para las cuales se tomó la misma muestra inicial, debido a que, estas pruebas de jarras se realizaron el mismo día y con la misma agua, que también fueron tomadas en temporada de invierno. Siendo todas las pruebas de jarras anteriormente descritas, realizadas en esta época. Para la solución de moringa de semilla molida, sin cascara y con grasa, los resultados obtenidos de la prueba de jarras se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 16. Prueba de jarras de las variables 7 y 8.**

Vaso	Volumen del coagulante	Semilla molida, sin cascara y con grasa			
		Temperatura Ambiente Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación	Refrigeración Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación
1	10	2	0	2	0
2	20	2	0	2	0
3	30	2	0	4	0
4	40	4	0	4	0
5	50	4	0	4	0
6	60	4	0	4	0
7	70	2	0	4	0
8	80	2	0	2	0
9	90	2	0	2	0
10	100	4	0	2	0
11	110	2	0	4	0
12	120	0	0	2	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se pudo observar en la tabla anterior, la solución de moringa de semilla molida, sin cascara y con grasa, no presentó resultados favorables, ya que en el índice de Willcomb el mejor resultado fue 4, observando que el floc formado era grande, pero su sedimentación era excesivamente lenta o nula, en el agua se podía observar que el floc bajaba y subía lentamente en círculos, por lo que se hacía difícil escoger una jarra como muestra representativa, por otro lado, a medida que aumentaba la concentración del coagulante, también aumentaba su color, lo cual ayudó a descartar las jarras con altas concentraciones. Las jarras escogidas fueron la 4 a temperatura ambiente, la cual tenía un volumen de 40 ml de coagulante, y la 3 en refrigeración, la cual tenía un volumen de 30 ml del coagulante. Los resultados obtenidos en los parámetros analizados a ambas pruebas se muestran a continuación.

**Tabla 17. Muestra representativa de las variables 7 y 8.**

Parámetros	Unidad	Muestra inicial	Concentración del coagulante		Porcentaje de Remoción (%)	
			Temperatura ambiente (40ml)	Refrigeración a 10°C (30ml)	Temperatura ambiente	Refrigeración a 10°C
Turbiedad	UNT	19,5	67	55	-243,58	-182,05
Color	UPtCO	120	750	560	-525	-366.66
pH	pH	7,2	6,99	7,12	No aplica	No aplica
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	60	50	70	No aplica	No aplica
Temperatura	°C	21,0	22	22	No aplica	No aplica

Fuente: Autores del proyecto.

Como se observa en la tabla anterior, no existe porcentaje de remoción de turbiedad y color con respecto a la muestra inicial, al igual que en las muestras anteriores, lo que da refuerzo a la teoría de Arias et al, (2017). Que dice: “que la semilla de moringa tiene un 40% de su peso en grasa, lo cual afecta al proceso de coagulación”. Por lo tanto, en vez de disminuir los parámetros

de turbiedad y color, la solución de semilla de moringa con grasa lo que hace es aumentar dichos valores. Por otro lado, esta vez no se presentaron olores ofensivos en la solución a temperatura ambiente.

En cuanto a las variables 9 y 10 de la tabla 10, que representan a la semilla molida, sin cascara y sin grasa, los resultados obtenidos en la prueba de jarras se presentan a continuación.

**Tabla 18. Prueba de Jarras de las variables 9 y 10.**

Semilla molida, sin cascara y sin grasa					
Vaso	Volumen del coagulante	Temperatura Ambiente Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación	Refrigeración Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación
1	10	2	0	2	0
2	20	2	0	4	0
3	30	4	0	6	0
4	40	6	0	6	0
5	50	4	0	6	0
6	60	4	0	4	0
7	70	6	0	4	0
8	80	6	0	6	0
9	90	6	0	4	0
10	100	4	0	4	0
11	110	4	0	6	0
12	120	6	0	6	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

En esta prueba de jarras, se pudo observar que hubo mayor formación de flóculos en el agua y que, además, la coloración del agua no cambió mucho, aunque aumentara la concentración del coagulante. En la mayoría de los vasos el floc que se formó era grande, aunque en algunos vasos su sedimentación era demasiado lenta o nula, en otros la sedimentación se realizaba un poco más rápido, sin llegar a conocer el tiempo de sedimentación total, debido a que este nunca se dio. Después de que se dejara sedimentar por 30 minutos el floc en los vasos, se

escogió un vaso de cada variable para hacer las respectivas pruebas, el vaso escogido a temperatura ambiente era el 8, este tenía una concentración de la solución del coagulante de 80 ml y el vaso escogido de la solución refrigerada era el 4, que tenía una concentración de 40 ml. Los datos de las pruebas realizadas a cada variable se observan a continuación.

**Tabla 19. Muestra representativa de las variables 9 y 10.**

Parámetros	Unidad	Muestra inicial	Concentración del coagulante		Porcentaje de Remoción (%)	
			Temperatura ambiente (80ml)	Refrigeración a 10°C (40ml)	Temperatura ambiente	Refrigeración a 10°C
Turbiedad	UNT	19,5	31	35	-58,97	-79,48
Color	UPtCO	120	162	180	-35	-50
pH	pH	7,2	7,24	7,31	No aplica	No aplica
Alcalinidad	mg/L CaCO3	60	50	50	No aplica	No aplica
Temperatura	°C	21,0	22	22	No aplica	No aplica

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se puede observar en la tabla anterior, los resultados de los parámetros analizados a las muestras representativas con respecto a la muestra inicial, se puede decir que no se presentó remoción de turbiedad y color en el agua, pero al contrario que en las pruebas anteriores realizadas el porcentaje de remoción negativo no supera el 100% en ninguno de los casos. Además, se observa que la solución de moringa a temperatura ambiente tuvo mejor floculación y sedimentación, que la realizada en refrigeración. Por otro lado, tampoco se presentaron olores ofensivos en la solución a temperatura ambiente, lo que puede indicar, que a medida que pasan los días de estar preparada la solución de moringa, esta empieza a descomponerse, provocando que emane olores ofensivos. La solución de moringa de semilla molida, sin cascara y sin grasa, presentó los valores más bajos en cuanto a turbiedad y color, por encima de las otras pruebas.

Además de ser la solución de moringa que más homogeneidad tuvo en la formación de floc, lo cual se puede verificar en el índice de Willcomb de la tabla 19. Por tal motivo, la solución de moringa de semilla molida sin cascara y sin grasa, fue la escogida para la realización de las siguientes pruebas de jarras, que fueron llevadas a cabo en la prueba piloto.

Como dato relevante, se pudo observar que a medida que se aumentaba la concentración del coagulante en la prueba de jarras, en el agua aumentaba más la concentración de espumas, las cuales no desaparecían luego de ser agitada, sino que se mantenía en el agua por un corto periodo de tiempo (2 a 5 minutos) dependiendo de la concentración.

Luego de haber escogido la solución de moringa a utilizar se llevó a cabo la comparación de la Moringa oleífera, el sulfato de aluminio “tipo A” y el sulfato ferroso, para el proceso de coagulación del agua, y así determinar su eficiencia. Estas pruebas de jarras con dichos coagulantes se llevaron a cabo en tiempo de invierno y arrojaron los siguientes resultados.

**Tabla 20. Prueba de jarras con coagulantes metálicos.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Sulfato de aluminio		Sulfato ferroso	
		Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	5	6	20	2	0
2	10	6	0	4	0
3	15	4	0	4	0
4	20	4	0	4	0
5	25	2	0	6	20
6	30	2	0	6	0

Fuente: Autores del proyecto.

Como se puede observar en el índice de Willcomb los floc se formaron de gran tamaño, en algunos vasos de precipitados tanto en el sulfato de aluminio como en el sulfato ferroso, pero la sedimentación que se presentaba era excesivamente lenta en la mayoría de los vasos, a excepción del vaso 1 del sulfato de aluminio y el vaso 5 del sulfato ferroso, aunque el tiempo de sedimentación total no se presentó, a los 20 minutos ya se lograba ver en la parte alta del vaso de precipitado el agua clara, por lo que se escogieron estos vasos como muestras representativas de cada sulfato.

En cuanto a la prueba de jarras de la moringa sus datos se presentan a continuación.

**Tabla 21. Prueba de jarras del coagulante de moringa.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	10	2	0
2	20	2	0
3	30	4	0
4	40	4	0
5	50	4	0
6	60	4	0
7	70	6	0
8	80	4	0
9	90	4	0
10	100	6	0
11	110	6	0
12	120	6	20

*Fuente:* Autores del proyecto.

En esta prueba de jarras el índice de Willcomb muestra que varias jarras presentaron floc grande que sedimenta lentamente, pero en la jarra 12 después de 20 minutos se aprecia que tiene mayor cantidad de partículas sedimentadas y la parte alta de la jarra muestra más claridad en el

agua gracias a su sedimentación, por lo cual fue la jarra escogida como muestra representativa de la moringa.

Cabe destacar que, algunos de los análisis de laboratorio no se pudieron llevar a cabo en la UFPSO, debido a que, los reactivos que permitían el desarrollo de este objetivo se encontraban escasos, y la poca cantidad de reactivos que quedaban son primordialmente para uso de las prácticas de laboratorio académicas, no para la ejecución de proyectos, por lo tanto, varios análisis de laboratorio se realizaron por fuera de la universidad, para poder cumplir con los objetivos. Los resultados de los parámetros analizados a las muestras representativas de moringa, sulfato de aluminio y sulfato ferroso, se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 22. Comparación de la muestra representativa de los coagulantes.**

Parámetro	Unidad	Muestra inicial	Concentración del coagulante			% de remoción		
			Sulfato de aluminio (5 ml)	Sulfato ferroso (25 ml)	Moringa oleífera (120 ml)	Sulfato de aluminio	Sulfato ferroso	Moringa oleífera
Turbiedad	UNT	16,7	7,7	9,4	12,4	53,89	43,71	25,75
Color	UPC	65	26	37	58	60	43,08	10,77
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	110	70	100	80	No aplica	No aplica	No aplica
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	55,05	80,07	80,07	320,29	No aplica	No aplica	No aplica
pH	pH	7,58	6,89	7,1	6,87	No aplica	No aplica	No aplica
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,03	0,04	0,11	0,13	No aplica	No aplica	No aplica
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10,6	11,4	22	42,7	No aplica	No aplica	No aplica

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso y la moringa, redujeron la turbiedad y el color del agua, aunque la remoción de turbiedad y color no disminuyó por debajo de lo que indica la normatividad colombiana en ninguna de las tres muestras representativas, se puede observar que la moringa fue la que menor porcentaje de remoción de turbidez y color consiguió, se comprueba que esta si tiene propiedades que permiten desestabilizar las partículas coloidales, permitiendo la formación del floc y su posterior sedimentación. Además, los parámetros de dureza total, nitritos y nitratos se aumentan considerablemente en la moringa, lo que hace que sobrepase los valores máximos permisibles, incumpliendo estos parámetros de la normatividad colombiana.

Luego de haber realizado una comparación de la moringa con otros coagulantes, se procedió a llevar las pruebas a la planta piloto, donde se recogió el agua para las muestras en un tanque de 250 litros para homogenizarla y así, todas las pruebas tuvieran la misma muestra inicial. Los resultados obtenidos en las pruebas de jarras fueron llevados a la planta piloto, donde se determinó la cantidad de coagulante a utilizar para las pruebas con Moringa oleífera, sulfato de aluminio y sulfato ferroso. Es de resaltar que estas pruebas se realizaron en temporada de invierno. El resultado de las pruebas de jarras se muestra a continuación.

**Tabla 23. Prueba de jarras con sulfatos para simulación en planta piloto, realizada en invierno.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Sulfato de aluminio		Sulfato ferroso	
		Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	5	10	5	2	0
2	10	8	15	2	0
3	15	4	0	4	0
4	20	4	0	4	0
5	25	4	0	6	0
6	30	2	0	6	20

Fuente: Autores del proyecto.

Se puede observar en la tabla anterior, en la prueba de jarras del sulfato de aluminio, la sedimentación se presentó totalmente en el vaso 1 y 2, como se describe en el índice de Willcomb y el tiempo de sedimentación, los cuales tenían volúmenes del coagulante de 5 ml y 10 ml respectivamente. Debido a que, el floc se sedimenta fácil y más rápido en la jarra 1, por lo tanto, este volumen de la solución del sulfato de aluminio es el escogido como valor representativo a utilizar en la planta piloto. En cuanto al sulfato ferroso, los floc se forman grandes en la jarra 5 y 6 como se muestra en el índice de Willcomb, pero en la jarra 6 con concentración de 30 ml, la sedimentación se da mucho más rápido y es bastante buena, ya que a los 20 minutos ya se encontraba gran parte del floc sedimentado. Por tal motivo, se escoge esta concentración como valor representativo del sulfato ferroso en la planta piloto. Y para la prueba de jarras de coagulación con moringa los resultados son los siguientes.

**Tabla 24. Prueba de jarras con moringa para la simulación en la planta piloto, en invierno.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	10	2	0
2	20	2	0
3	30	4	0
4	40	4	0
5	50	4	0
6	60	6	0
7	70	6	0
8	80	6	0
9	90	4	0
10	100	4	0
11	110	4	0
12	120	4	0

Fuente: Autores del proyecto

Como se muestra en la tabla anterior, en la prueba de jarras no se reconoció tiempo de sedimentación, por tal motivo se hicieron repeticiones con valores intermedios a las jarras que mejor índice de Willcomb presentaron, las cuales tenían un volumen del coagulante de 60 ml a 80 ml, por lo que los volúmenes del coagulante agregados a las nuevas jarras son 65 ml, 70 ml y 75 ml. Los resultados obtenidos de estas repeticiones son los siguientes.

**Tabla 25. Repetición de la prueba de jarras con moringa.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	65	8	15
2	70	6	0
3	75	6	0

Fuente: Autores del proyecto.

Como se puede observar en la tabla anterior, el vaso 1 con volumen de 65 ml de solución de moringa, fue el que mejor resultado desarrollo en cuanto a formación y sedimentación del floc, como se demuestra en el índice de Willcomb y el tiempo de sedimentación total, que fue de 15 minutos. Por lo cual, se escoge este volumen de 65 ml, como valor representativo para las pruebas a realizar en la planta piloto.

Después de conocer los volúmenes del coagulante de moringa, sulfato de aluminio y sulfato ferroso en las pruebas de jarras, luego se pasó el agua por los procesos de la planta, adicionando los coagulantes para la mezcla rápida, la cual se hizo manualmente, la mezcla lenta, sedimentación y filtración del agua. Posteriormente, se realizó los análisis a las muestras de agua que salía de la prueba piloto, los cuales dieron los siguientes resultados.

**Tabla 26. Análisis del agua proveniente de la planta piloto en invierno.**

Parámetro	Unidad	Muestra inicial	Concentración del coagulante			% de remoción		
			Sulfato de aluminio (5 ml)	Sulfato ferroso (30 ml)	Moringa oleífera (65 ml)	Sulfato de aluminio	Sulfato ferroso	Moringa oleífera
Turbiedad	UNT	20,9	0,5	17,65	4,33	97,61	15,55	79,28
Color	UPC	159	7	136	47	95,60	14,47	70,44
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	70	35	28	65	No aplica	No aplica	No aplica
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	85,08	70,06	160,14	95,09	No aplica	No aplica	No aplica
pH	pH	7,86	7,12	6,72	7,23	No aplica	No aplica	No aplica
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,03	0,001	0,03	0,02	No aplica	No aplica	No aplica
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14,1	10,6	20,2	18,5	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Autores del proyecto.

Como se puede observar en la tabla anterior, el sulfato de aluminio presentó una remoción superior al 95% en turbiedad y color, además de que casi todos los parámetros analizados cumplen con la normatividad colombiana según lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007, a excepción de nitratos, que fue el único parámetro que excedió los valores máximos permisibles de dicha resolución. En cuanto al sulfato ferroso, los porcentajes de remoción de la turbiedad y el color estuvieron por debajo del 16%, mostrando unos resultados distantes a los realizados en la prueba de jarras que se realizó cuando se determinó la dosis óptima del coagulante, por lo que, los parámetros de turbiedad y color, además de nitratos no cumplen con los valores máximos permisibles requeridos en la resolución 2115 de 2007, aumentando el puntaje de riesgo del IRCA. Por último, con relación a la moringa, esta presentó porcentajes de remoción por encima del 70% en turbiedad y color, aunque este porcentaje de remoción alcanzado no es suficiente para que estos parámetros no excedan los valores máximos permisibles exigidos en la resolución, además, los nitratos también exceden los valores máximos permisibles, lo que provoca que se aumente el puntaje de riesgo del IRCA.

Siguiendo con el desarrollo del objetivo, esta vez se realizó la prueba en la planta piloto en época de verano y los resultados para determinar la dosis óptima del coagulante en las pruebas de jarras son los siguientes.

**Tabla 27. Prueba de jarras para la simulación en la planta piloto, realizada en verano.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Sulfato de aluminio		Sulfato ferroso	
		Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	5	4	0	2	0
2	10	6	0	4	0
3	15	8	10	4	0

4	20	4	0	6	0
5	25	4	0	8	15
6	30	2	0	6	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se puede ver en la tabla anterior, el índice de Willcomb indica que hubo formación de flóculos grandes en la prueba de jarras, tanto del sulfato de aluminio como del sulfato ferroso, el cual se formó y se sedimentó de forma rápida. Lo que permite escoger el vaso 3 del sulfato de aluminio y el vaso 5 del sulfato ferroso, con volúmenes del coagulante de 15 ml y 25 ml respectivamente. Respecto a la moringa, los resultados de la prueba de jarras se muestran a continuación.

**Tabla 28. Prueba de jarras con moringa, realizada en verano.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	10	2	0
2	20	2	0
3	30	4	0
4	40	6	0
5	50	6	0
6	60	6	0
7	70	4	0
8	80	4	0
9	90	4	0
10	100	2	0
11	110	2	0
12	120	2	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se nota en la tabla anterior, no se logró obtener un tiempo de sedimentación en la prueba de jarras, como lo muestra el índice de Willcomb, por lo tanto, se realizó una repetición de la prueba con valores intermedios de volúmenes, los cuales están entre 40 ml y 60 ml, por lo

que las repeticiones serán con volúmenes de 45 ml, 50 ml y 55 ml. Los resultados de esta prueba se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 29. Repetición de prueba de jarras con moringa, en verano.**

Vaso	Volumen del coagulante (ml)	Índice de Willcomb	Tiempo de sedimentación (min)
1	45	6	22
2	50	6	0
3	55	6	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se puede observar en el índice de Willcomb el floc se siguió formando grande, pero su sedimentación se realiza muy lentamente, ya que después de 22 minutos, solo aclaró el agua de la parte superior de la jarra 1, por lo tanto, se escogió el vaso con volumen del coagulante de 45 ml. Los resultados obtenidos en la planta piloto se describen a continuación.

**Tabla 30. Análisis del agua proveniente de la planta piloto en verano.**

Parámetro	Unidad	Muestra inicial	Concentración del coagulante			% de remoción		
			Sulfato de aluminio (15 ml)	Sulfato ferroso (25 ml)	Moringa oleífera (45 ml)	Sulfato de aluminio	Sulfato ferroso	Moringa oleífera
Turbiedad	UNT	6,93	0,88	1,18	20,06	87,30	82,97	-189,47
Color	UPC	78	13	23	170	83,33	70,51	-117,95
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	70	38	43	40	No aplica	No aplica	No aplica
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	95,09	65,06	95,69	175,16	No aplica	No aplica	No aplica
pH	pH	7,76	7,38	7,09	6,83	No aplica	No aplica	No aplica
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,02	0,01	0,03	0,04	No aplica	No aplica	No aplica
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20,7	10,1	26,8	34,3	No aplica	No aplica	No aplica

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se ve en la tabla anterior, el sulfato de aluminio mostró una remoción superior al 80% en turbiedad y color con respecto a la muestra inicial, quedando valores resultantes por debajo de los valores máximos permisibles de la normatividad colombiana, aunque, los nitratos si sobrepasan el valor máximo permisible de dicha normatividad, su puntaje de riesgo no es tan representativo en el IRCA. Por otro lado, el sulfato ferroso presenta una remoción superior al 80% de la turbidez inicial, estando este parámetro, por debajo del valor máximo aceptable que decreta la resolución 2115 de 2007, de igual forma la remoción del color es alta, ya que es superior al 70%, pero esta no alcanza a disminuir por debajo del valor máximo permisible en dicha resolución, y de igual manera, los nitratos superan el valor máximo aceptable de la normatividad colombiana. Por último, la Moringa oleífera, no presenta remoción de turbidez ni de color, por el contrario, estos parámetros se aumentaron considerablemente, lo cual pudo darse, ya que no se encontró un índice de Willcomb con buena sedimentación en la prueba de jarras, y así poder lograr un alto porcentaje de remoción en esta prueba piloto; los nitratos al igual que la turbiedad y el color presentan valores más altos que los permisibles en la normatividad colombiana, lo que genera un aumento considerable en el puntaje de riesgo del IRCA.

#### **4.2.2 Radiación ultravioleta.**

Para la implementación de la radiación ultravioleta como desinfectante del agua como sustituto del cloro, se realizaron distintas pruebas para determinar si existía o no funcionamiento, para esto se agregó el agua al cajón de madera donde se encontraban las lámparas de luz ultravioleta diseñado por los autores del proyecto, al cual se le colocó en medio el rectángulo de vidrio con forma de (L) cubierto totalmente, a este se le hicieron pruebas con periodos de retención de 5 minutos y de 10 minutos, no se pudieron hacer más pruebas de retención de agua,

debido a fallas técnicas (se quemaron los balastos de las lámparas de luz UV), por lo que se llevaron al laboratorio de biotecnología para hacer el proceso de filtración de membrana para verificar si hubo funcionamiento o no. Los resultados se presentan a continuación.

**Tabla 31. Filtración por membrana de la Luz UV.**

Filtración por membrana para desinfección por radiación ultravioleta			
Parámetros	Muestra inicial	Periodos de retención del agua	
		5 minutos	10 minutos
Coliformes totales	> 200	> 200	> 200
Escherichia coli	> 200	> 200	> 200

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se puede observar en la tabla anterior, la luz ultravioleta no tuvo ningún funcionamiento, ya que las colonias presentes en los tiempos de retención del agua no disminuían su número, por lo que se hacía necesario repetir las pruebas, con tiempo de retención aún mayores.

La siguiente prueba de retención del agua se hizo con periodos de 15, 20, 25 y 30 minutos, dando como resultado los datos descritos a continuación.

**Tabla 32. Filtración por membrana de la luz UV.**

Filtración por membrana para desinfección por radiación ultravioleta					
Parámetros	Muestra inicial	Periodos de retención del agua			
		15 minutos	20 minutos	25 minutos	30 minutos
Coliformes totales	> 200	> 200	> 200	> 200	> 200
Escherichia coli	> 200	> 200	> 200	> 200	> 200

*Fuente:* Autores del proyecto.

Observando la tabla anterior se llega a la conclusión, que la luz ultravioleta no funciona en el agua, para la eliminación de microorganismos (Coliformes totales y E. coli), pero que esto se puede dar por dos factores (hipótesis), primero que la luz ultravioleta no es suficiente para la eliminación de las bacterias de Coliformes totales y E. coli; y segundo, este se puede dar ya que la luz ultravioleta no hace contacto directo con el agua y como el cajón donde están las lámparas es de madera puede que la luz no se refracta bien. Por lo tanto, se desea comprobar si es cierta la segunda hipótesis, y así descartar la primera.

Para esto, el cajón de madera fue envuelto por dentro con papel aluminio para permitir que la luz no se escape y refracta por todo el cajón, además, para permitir que la luz ultravioleta incida directamente sobre el agua, al rectángulo en (L) de vidrio, se le quitó la parte superior de vidrio, permitiéndole así, incidir directamente a la radiación ultravioleta sobre el agua. Estos resultados se muestran a continuación.

**Tabla 33. Filtración por membrana periodos de retención del agua.**

Filtración por membrana para desinfección por radiación ultravioleta						
Parámetros	Muestra inicial	Periodos de retención del agua				
		10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	30 minutos
Coliformes totales	> 200	>200	> 200	2	0	0
Escherichia coli	> 200	110	39	1	0	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se puede observar en la tabla anterior, se pudo comprobar la segunda hipótesis, donde se decía que no había eliminación de bacterias porque no había incidencia directa de la luz ultravioleta, la cual era bloqueada por el vidrio. La eliminación de bacterias empieza a notarse desde los 10 minutos al haber menos E. coli en el agua, en el minuto 15 se hace más evidente la

eliminación de estos microorganismos en cuanto a las E. coli. Pero desde el minuto 20 empieza a notarse claramente el funcionamiento de la radiación ultravioleta como desinfectante del agua, ya que a partir de este tiempo la eliminación de los Coliformes y E. coli es total, lo que comprueba la eficiencia de las lámparas de luz ultravioleta, con una lámpara.

En cuanto al uso del hipoclorito de sodio (cloro líquido) como desinfectante del agua, se adicionó 0,8 ml de hipoclorito de sodio para 10 litros de agua y el resultado se presenta a continuación.

**Tabla 34. Desinfección del agua con cloro.**

Desinfección del agua		
Parámetros	Muestra inicial	Cloración (0,8 ml)
Coliformes totales	>200	0
Escherichia coli	>200	0

*Fuente:* Autores del proyecto.

Como se pudo observar en la tabla anterior, la utilización de hipoclorito de sodio (cloro líquido) eliminó el total de los Coliformes totales y Escherichia coli que se encontraban en la muestra inicial del agua, demostrando la eficiencia de este producto en la desinfección del agua, la cual debe reposar por 30 minutos para poder funcionar como desinfectante.

### **4.3 Resultado del tercer objetivo específico**

#### **4.3.1 Procesos de clarificación.**

Para el proceso de coagulación no existe una fórmula para decir que se necesita una cantidad de coagulante por una cantidad de agua, por lo tanto se tomó como referencia las

muestras tomadas en invierno y verano, ya que a estas se les hizo prueba de jarras para determinar dosis optima, estas dosis optimas se interpolaron para la cantidad de agua que pueden almacenar en la planta de tratamiento, en este caso son 52000 Litros, una vez calculado la cantidad de agua se calculó la cantidad de coagulante necesario, luego se calculó el precio para dicha cantidad de agua como se puede observar en la tabla 36.

**Tabla 35. Precio de los diferentes coagulantes**

Coagulante	Dosis optima en 1 L agua cruda		Precio de 1 L de coagulante	Precio para coagular 52000 L de agua cruda	
	Agua en invierno	Agua en verano		Agua en invierno	Agua en verano
Sulfato de aluminio tipo A	0,00625	0,01875	\$ 70	\$ 22.750	\$ 68.250
Sulfato Ferroso	0,0375	0,03125	\$ 80	\$ 156.000	\$ 130.000
Solución madre de moringa (5%)	0,08125	0,06875	\$ 3.600*	\$ 15.210.000	\$ 12.870.000

\*Moringa 50 gr: \$2000

\*Sal 50 gr: \$100

\*Papel filtro 1 unidad: \$1500 (Proporcionado por la UFPSO)

Fuente: Autores del proyecto.

Es evidente como se observa en la tabla 36 que la coagulación con moringa es demasiado costosa en comparación con el sulfato de aluminio y el sulfato ferroso, aunque cabe resaltar que la semilla de moringa es comprada pudiendo reducir el costo de este coagulante si se cultiva.

#### **4.3.2 Proceso de desinfección.**

En la fase de desinfección se tomó como referencia dos muestras de agua las cuales se sometieron a procesos diferentes, por un lado se tomó una muestra y se le adiciono 4 ml de cloro y se agito por un minuto, luego se dejó en reposo por treinta minutos, la otra muestra se expuso a veinticinco minutos a radiación ultravioleta, una vez realizado el proceso para las dos muestras

se calculó el precio de los 4 ml de cloro y el precio que cuesta veinticinco minutos de luz uv con esto se pudo expresar los datos que se aprecian en la tabla 37.

**Tabla 36. Precio de los métodos de desinfección.**

Método de desinfección	Precio	Costo para desinfectar 1 L de agua	Costo para desinfectar 52000 L
Cloro liquido (5%)	\$ 1200/500 ml	\$ 19,20	\$ 998.400,00
Radiación ultravioleta	\$ 90000/5000 Hrs	\$ 15,00	\$ 780.000,00

Fuente: Autores del proyecto.

## Capítulo 5. Conclusiones

En relación con lo anterior expuesto es importante destacar que en el desarrollo del proyecto se encontraron varios obstáculos que de una u otra manera retrasaron el desarrollo de este, pero aun así se pudieron cumplir los objetivos planteados; los objetivos de este proyecto se basaron en la moringa como polímero natural para la coagulación de agua cruda y la radiación ultravioleta como desinfectante para la eliminación de microorganismo.

El diagnóstico realizado en este proyecto permitió la identificación de fallas en la planta de tratamiento del corregimiento, este diagnóstico por medio de los muestreos realizados nos ayudó primero a saber la calidad del agua que llega a la planta para poder desarrollar el objetivo dos, en segunda instancia sirvió para saber cuáles secciones presentaban inconvenientes o cuales no cumplían su labor, a su vez la identificación del problema en cada sección permitió encontrar las causas, lo cual es la falta de mantenimiento y el no uso de coagulante y cloro.

La *moringa oleífera* se implementó en este proyecto con el fin de poder quitar productos químicos como los sulfatos en los procesos de clarificación del agua, aun así en este proyecto se logra concretar que la moringa si funciona para el proceso de coagulación y floculación pero no para el proceso de sedimentación ya que al adicionar el polímero se evidencia formación de floculos, pero estos no son capaces de sedimentarse o es excesivamente lenta, esto para valores de turbiedad y color menores de 10 NTU y 100 UPtCO respectivamente ya que para turbiedad y color mayores los flóculos si se sedimentan y reducen los valores, por otra parte el precio que se debe invertir para la implementación de la moringa es muy elevado en comparación con el sulfato ferroso y el sulfato de aluminio implementado en este proyecto, por tal razón como se

realizaron los procesos en este proyecto es factible decir que la *moringa oleífera* no es viable económicamente pero si operacionalmente para el tratamiento de agua potable.

La utilización de la radiación se basa en los problemas relacionados con el cloro y la salud humana, la implementación de radiación ultravioleta para el caso de este proyecto fue bastante satisfactoria ya que los resultados fueron favorables, por un lado se logró eliminar las colonias formadoras de *Escherichia coli* y Coliformes totales, siendo estos dos las causantes de varias enfermedades gastrointestinales en el corregimiento y otros lugares del mundo, por otro lado se pudo observar que la radiación ultravioleta puede ser más económico para la desinfección que el cloro, claro está que la estructura de la planta debería ser diferente a las plantas comunes.

Finalmente, no es factible modificar los procesos de clarificación, y para el caso del PTAP del corregimiento no es factible implementarla ya que el costo es bastante elevado, por otro lado, la radiación ultravioleta es más económica que el cloro, a baja escala como se determinó en este proyecto.

## Recomendaciones

En primer lugar, se recomienda realizar los tratamientos químicos al agua en la PTAP, para su respectiva clarificación y desinfección, ya que, sin estos el agua proporcionada por la planta a la comunidad, no sería apta para el consumo humano, al no realizarse este tratamiento, como se pudo demostrar en el IRCA. Además, se debe realizar un mantenimiento periódico a la planta potabilizadora del agua por lo menos una vez al mes, debido a que, las estructuras de la planta se encuentran colmatadas por falta de este.

De igual forma, se recomienda hacer estudios con otras concentraciones de solución madre moringa, para determinar si aumenta o disminuye su efectividad como coagulante.

Por último, se recomienda realizar estudios al agua que es sometida a desinfección por radiación UV, que permita saber si esta puede generar a futuro problemas en la salud de la población que se abastece de ella.

## Bibliografía

- Agencia para Sustancias Tóxicas y EL Registro de Enfermedades. (2004). Dióxido de Cloro y Clorito. Agencia para Sustancias Toxicas y Registro de Enfermedades, p.6.
- Aquaquimi. (2013). Desinfección agua potable. Recuperado de [http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat\\_agua\\_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html](http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat_agua_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html).
- Arboleda, J. (2000). *Teoría de la desinfección del agua*. Bogotá: McGraw Hill.
- Arias, A; Hernández, J; Castro, A; & Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. oleífera como coagulante natural. *SciELO*, 15(1), 29-39. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe/v15nspea04.pdf>
- Bellar, T. A., Linchtenbert, J. J., & Kroner, R. C. (1974). The occurrence of organohalides in chlorinated waters. *Journal of american water works association*, 703-706.
- Bull, R., Birnbaum, L., Cantor, K., Rose, J., Butterworth, B., Pegram, R., & Tuimisto, J. (1995). Water Chlorination: Essential Process or Cancer Hazard. *Fundamental and Applied Toxicology*, 155-166.

Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Revisyhluz*,

41(2), 244-254. Obtenido de

<http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/boletin/article/view/76>

Cañón Hurtado, H., & Garibello, A. (2006). 8.000 muertes diarias por escasez y mala calidad del agua. Recuperado 24 de mayo de 2018, a partir de

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1949665>.

Ceron, A. I., & Garzon, M. N. (2015). *EVALUACIÓN DE LA SEMILLA DE MORINGA*

*OLEIFERA COMO COADYUDANTE EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN PARA EL*

*TRATAMIENTO DE AGUAS NATURALES DEL RÍO BOGOTÁ EN SU PASO POR EL*

*MUNICIPIO DE VILLAPINZÓN, CUNDINAMARCA*. Bogotá: Universidad Libre.

Obtenido de <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/8109>

Chulluncuy Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 153-170.

Clark, R. M., Thurnau, R. C., Sivaganesan, M., & Ringhand, P. (1994). Predicting the Formation of Chlorinated and Brominated By-Products. . *Journal Environmental Engineering*, 493-

501.

Congreso de la Republica. (22 de Diciembre de 1993). Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan. Obtenido de Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>.

Craun, G. F. (1986). Waterborne giardiasis in the united states. *The lancet*, 513-514.

Envirologek. (23 de 01 de 2019). *Estudios y Pruebas de Tratabilidad*. Obtenido de <http://envirologek.com/shop/instrumentos-laboratorio-servicios/estudios-de-tratabilidad/estudios-y-pruebas-de-tratabilidad/?lang=es#undefined1>

Feria, D. J., Bermúdez, R. S., & Estrada, T. A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9-22. Obtenido de [http://www.lasallista.edu.co/revistas/pl/pl\\_v9n1/pl\\_v9n1.pdf](http://www.lasallista.edu.co/revistas/pl/pl_v9n1/pl_v9n1.pdf)

Foidl, N., Makkar, H. P., & Becker, K. (2001). The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial uses. *CTA Publication*, 45.

Fuglie, L. J. (2001). Combating malnutrition with Moringa. *CTA Publication*, 787.

- Gómez Gutiérrez, K. R. (2010). *Eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa oleífera en el tratamiento de agua con baja turbidez*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/538/1/IAD-2010-T010.pdf>
- Gómez, M. F. (2016). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SEMILLAS DE (Moringa Oleífera lam.) COMO COAGULANTE NATURAL EN LA CIUDAD DE PASTO - COLOMBIA. *Editorial UNIMAR*, 447-470. Obtenido de <http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/libroseditorialunimar/article/view/984/906>
- Guay, C., Rodríguez, M., & Serodes, J. (2005). Using ozonation and chloramination to reduce the formation of trihalometanes and haloacetic acids in drinking water. *Desalination*, 229-240.
- H. B. Wright & W. L. Cairns. (1996). DESINFECCIÓN DE AGUA POR MEDIO DE LUZ ULTRAVIOLETA. Trojan Technologies Inc. 3020 Gore Road, London, Ontario, Canada N5V 4T7. *Trojan Technologies Inc.*, 4, 1-28. Recuperado a partir de <http://www.ingenieroambiental.com/2info/ultravio.pdf>.
- Hernandez Sampieri, R., Collado Fernández, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (E. McGraw Hill, Ed.) (6.<sup>a</sup> ed.). México D.F. Recuperado a partir de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>.

IDS, I. departamental de salud. (2017). Autoridades de salud preocupadas por baja calidad del agua. Recuperado 24 de mayo de 2018, a partir de <https://www.laopinion.com.co/region/autoridades-de-salud-preocupadas-por-baja-calidad-del-agua-136243#OP>.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (10 de Mayo de 1995). NTC-ISO 5667-1. Gestión Ambiental. Calidad del Agua. Muestreo. Parte 1: Directrices para el Diseño de Programas y Técnicas de Muestreo. Obtenido de: <http://www.emcali.com.co/documents/10157/4985846/NTC+ISO+5667+-1+1995>.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (21 de Junio de 1995). NTC-ISO 5667-2. Gestión Ambiental. Calidad del Agua. Muestreo. Parte 2: Técnicas Generales de Muestreo. Obtenido de: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000144-4dfdd4f559/NTC-ISO%205667-02-1995.%20Tecnicas%20generales%20de%20muestreo.pdf>.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (03 de Noviembre de 2004). NTC-ISO 5667-3. Gestión Ambiental. Calidad del Agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la Preservación y Manejo de las Muestras. Obtenido de: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000140-e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf>.

Isabel II. (2010). Tratamiento del agua potable. Obtenido de

[http://www.elaguapotable.com/tratamiento\\_agua\\_potable%20Canaleduca.pdf](http://www.elaguapotable.com/tratamiento_agua_potable%20Canaleduca.pdf)

Johnson, C. H., Marshall, M. M., DeMaria, L. A., Moffet, J. M., & Korich, D. G. (2003).

Chlorine Inactivation of spores of *Encephalitozoon* spp. *Applied and Environmental microbiology*, 1325-1326.

Lédo, P. G., Lima, R. F., Paulo, J. B., & Duarte, M. A. (2009). Estudio Comparativo de Sulfato

de Aluminio y Semillas de Moringa oleífera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. *SCIELO*, 20(5), 3-12. Obtenido de

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642009000500002](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000500002).

Lozano, W; y Lozano, G, (2015), Generalidades de la potabilización. En F. Sánchez & A. Cerón.

(Ed.), Potabilización del agua principios de diseño, control de procesos y laboratorio (pp. 37-287). Bogotá, Colombia: Digiprint editores e.u

Melo, V. G., & Turriago, R. F. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación*

*superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias.*

Villavicencio, Colombia: UNAD. Obtenido de

<http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1428/1/TESIS%20DE%20GRADO->

EFICIENCIA%20UTILIZACION%20DE%20SEMILLAS%20DE%20MORINGA%20-%20BIORREMEDIACION.pdf

Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz, A. (2000). Uso de la Moringa Oleifera como Coagulante en la Potabilización de las Aguas. *Revicyhluz*, 8(2), 235-242. Obtenido de <http://www.produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/9050>

Mera, A. C., Gutiérrez, S. M., Montes, R. C., & Paz, C. J. (2016). EFECTO DE LA Moringa oleífera EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAUCA, COLOMBIA. *SCIELO*, 14(2), 100-109. doi:10.18684/BSAA(14)100-109

Ministerio de Desarrollo Económico. (17 de Noviembre de 2000). Resolución 1096 de 2000. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Sección II. Título B. Sistemas de acueducto. Obtenido de: <http://www.ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Normas%20ambientales/1990-2000/2000/Resolucion%201096%20de%202000%20-%20Titulo%20B.pdf>.

Ministerio de Desarrollo Económico. (17 de Noviembre de 2000). Resolución 1096 de 2000. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Sección II. Título C. Sistemas de Potabilización. Obtenido de: [http://procurement-notices.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=16483](http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483).

Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

(22 de Junio de 2007). Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Obtenido de:

[http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf).

Ministerio de la Protección Social. (09 de Mayo de 2007). Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Obtenido de:

<http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de Junio de 2017). Resolución 330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. Obtenido de Alcaldía de Bogotá:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542#258>

Molina, R. E. (2016). *EVALUACIÓN DE COAGULANTES NATURALES EN SISTEMAS DE FLUJO CONTINUO, COMO SUSTITUTO DEL AL<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> PARA CLARIFICACIÓN DE AGUAS*. Valledupar.

Morales, C; & Solsona, F. (2006). Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro. *Ministerio De Salud Pública Y Asistencia Social*. Recuperado a partir de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf%0Ahttp://www.colmedegua.org/files/DESINFECCIONAGUA.pdf>

Navarro, N. (23 de 01 de 2019). *ISA*. Obtenido de Prueba de jarras: <https://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>.

Nissinen, T. K., Miettinen, I. T., & Martikainen, P. J. (2002). Disinfection by- products in Finnish drinking waters. *Chemosphere*, 9-20.

Ohanian, E. V., Mullin, C. S., & Orme, J. (1989). Heal effects of disinfectants and disinfection by-products: A regulatory perspective. *Chemical environmental*, 6.

Portero, S. (23 de 01 de 2019). *Radiación*. Obtenido de <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/ultravioleta-morrillo.pdf>

Presidencia de la Republica. (1998). Decreto 475 De 1998. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Obtenido de la Alcaldia de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>.

Presidencia de la Republica. (26 de Julio de 1984). Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Obtenido de la Alcaldia de Bogotá:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>

Restrepo Osorno , H. A. (2009). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*. Obtenido de Universidad nacional de Colombia:  
[http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239\\_2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf)

Sandoval, A. M., & Laines, C. J. (2013). Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Redalyc.org*, 17(2), 93-101. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>.

Siddiqui, M., Amy, G. L., & Rice, R. Q. (1995). Bromate ion formation: a critical review. *Journar of american water works association*, 58-70.

Singer, P. C., & Reckhow, D. A. (2002). Oxidación química. *McGraw-Hill*, 781-780.

Sorlini, S., & Collivignarelli, C. (2005). Trihalomethane formation during chemical oxidation with chlorine, chlorine dioxide and ozone of ten Italian natural waters. *Desalination*, 103-111.

Valencia, M. (2018). Métodos de extracción de aceite esencial de la semilla de moringa (Moringa oleífera) (tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar.

Velásquez Restrepo, J. (2008). *PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS TRIBUNAS CÓRCEGA E.S.P. EN LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN, FILTRACIÓN Y DESINFECCIÓN* . Pereira: Universidad tecnológica de pereira.

Wolfe, R.L. (1990). Ultraviolet disinfection of potable water, current technical and research needs. *Envir. Sci. Technol.*, 1990; 24(6), 768-773.

# Apéndices

## Apéndice A. Resultados muestras de agua laboratorio UFPSO.

**RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS**

**MATRIZ DE LA MUESTRA:** N.A.

**TIPO DE MUESTRA:** Simple.

**LUGAR DE MUESTREO:** N.A PUNTO: Salida PTAP.

**TOMADA POR:** Brayan Durán – Carlos Gómez **HORA:** 08:36 Hrs.

**FECHA TOMA DE MUESTRA:** 25 de octubre de 2018.

**FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS:** 25 de octubre de 2018. **HORA:** 09:00 Hrs

**ANÁLISIS SOLICITADOS:** pH, color, turbiedad, alcalinidad, dureza, nitritos, nitratos.

**OBSERVACIONES:** Ninguna.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR SALIDA PTAP
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7.86
COLOR	UPtCo	159
ALCALINIDAD	mg/L CaCO <sub>3</sub>	70
DUREZA	mg/L CaCO <sub>3</sub>	85.08
TURBIEDAD	NTU	20.9
NITRITOS	mg/L	0.03
NITRATOS	mg/L	14.1



**MSc. Diana M. Valdes S.**  
**Coord. Laboratorio de Aguas.**



## Apéndice B. Resultados muestras de agua laboratorio Biotecnología Animal UFPSO.

 Universidad Francisco


Ocaña 13 de Diciembre 2018

**RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS****MATRIZ DE LA MUESTRA:** Agua cruda.**TIPO DE MUESTRA:** Puntual **LUGAR:** Planta de producción.**TOMADA POR:** Brayan R. Duran C – Carlos A. Gómez M.**HORA TOMA DE MUESTRA:** 9:00 am **FECHA TOMA DE MUESTRA:** 13/Dic/18**SITIO DE TOMA DE MUESTRA:** Planta del corregimiento de San Pablo.**SOLICITANTE:** Brayan R. Duran C – Carlos A. Gómez M.**ANÁLISIS SOLICITADOS:** Ver tabla

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA
		AGUA CRUDA
TURBIEDAD	NTU	6.93
COLOR	U <sub>PtCo</sub>	78
ALCALINIDAD	mg/L	70
DUREZA	mg/L	95.09
POTENCIAL HIDROGENO	pH	7,76
NITRITOS	mg/L	0.02
NITRATOS	mg/L	20.7



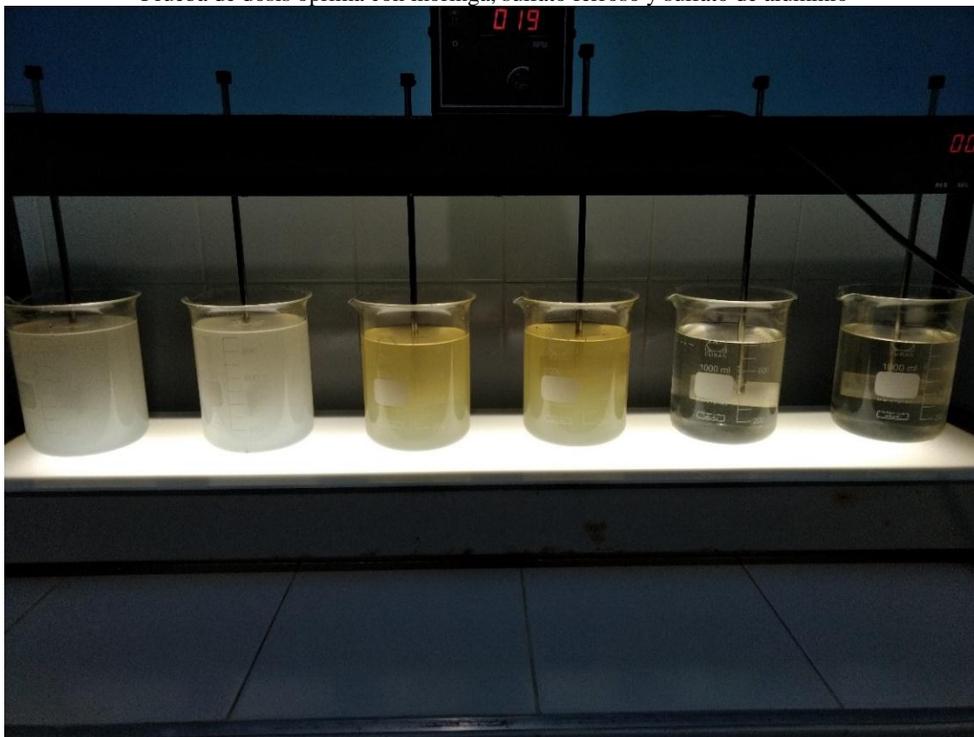
CARLOS ALBERTO PATIÑO P.  
Químico

ServiAnalítica Profesional SAS  
NT 900 476 024-4  
Dirección calle 12 A N° 8 - 30  
Cúcuta 301 656 6273

## Apéndice C. Resultados muestras de agua laboratorio ServiAnalítica Profesional SAS.

Apéndice D. Evidencia de realización de prueba de jarras.

Prueba de dosis óptima con moringa, sulfato ferroso y sulfato de aluminio



Mezcla lenta de prueba con moringa



Apéndice E. Evidencia visitas de campo.

Inspección de uno de los desarenadores



Inspección de una de las bocatomas



## Apéndice F. Evidencia planta piloto.

Ensayo en planta piloto



Ensamble de planta piloto



## Apéndice G. Evidencia procesos de desinfección.

**Construcción de canal de radiación**



**Agua sometida a radiación y toma de muestra**



**Laboratorio de filtración por**

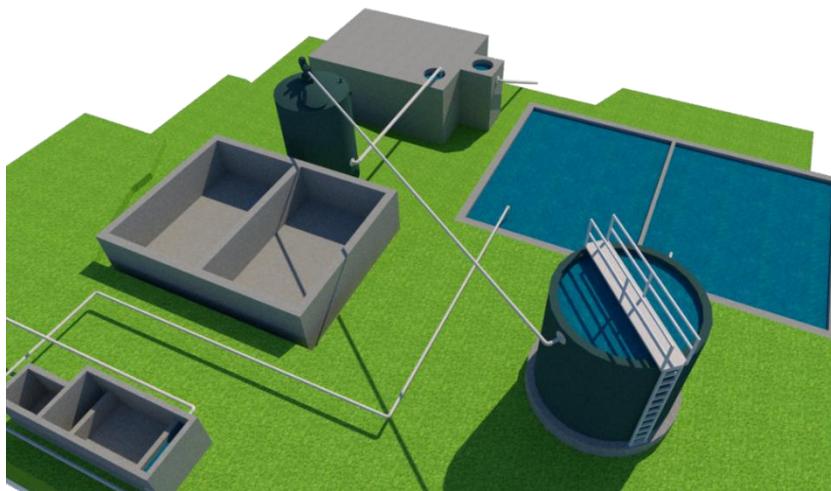


**Conteo de colonias de bacterias**



H. Planos de la PTAP.

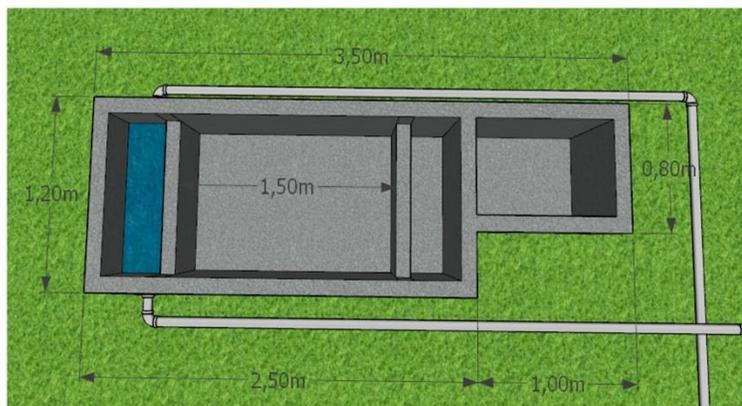
Plano de la PTAP



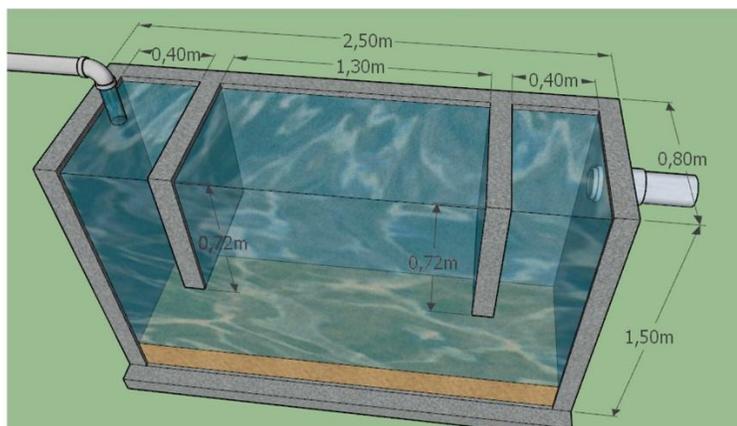
Filtro de flujo descendente



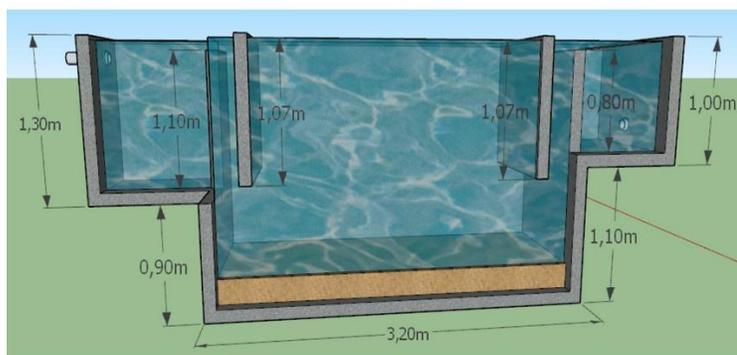
Entrada agua a la PTAP



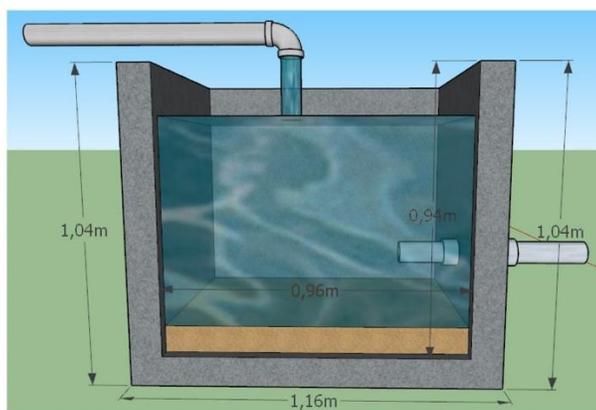
Desarenador #2



Desarenador #1



Desarenador #3



## I. Estructura PTAP.

Vista horizontal de la PTAP

