

**USO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA
SUPERFICIAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA (GIRARDOT)**

LINA MELISSA CASTILLO AGUIRRE

CÓDIGO: 263214128

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
SECCIONAL GIRARDOT
GIRARDOT - CUNDINAMARCA**

2019

**USO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA
SUPERFICIAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA (GIRARDOT)**

LINA MELISSA CASTILLO AGUIRRE

CÓDIGO: 263214128

Trabajo de grado opción pasantía para optar por el título de ingeniero ambiental

Asesor interno

JOHN JAIRO SANDOVAL VALENCIA

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
SECCIONAL GIRARDOT
GIRARDOT - CUNDINAMARCA**

2019

Notas de aceptación

Firma del director del trabajo

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Girardot, 10 de octubre del 2019

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios que me dio la fortaleza para terminar este proyecto de vida, a mis padres por estar ahí cuando más los necesité y en especial a mi hermana quien me dio su apoyo incondicional durante toda mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A la primera persona, que le quiero agradecer es a mi tutor John Jairo Sandoval, que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto. A mis padres, por haberme proporcionado la mejor educación y valores en la vida.

En especial a mi padre Mauricio Castillo, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue.

En especial a mi madre Nancy Esperanza Aguirre, por cada día hacerme ver la vida de una forma diferente y confiar en mis decisiones.

Y a mi hermana Lizeth Castillo, por ser un ejemplo a seguir en mi vida y enseñarme a luchar por mis metas y sueños.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	15
Objetivo General:	15
Objetivos Específicos:	15
4. MARCO NORMATIVO	16
5. MARCO TEORICO	18
1) INTERCAMBIO IÓNICO Y RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO	18
2) AGUA DESIONIZADA	21
3) PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICO DEL AGUA	21
a) CARACTERISTICAS FÍSICAS DEL AGUA.	21
b) CARACTERISTICAS QUÍMICAS DEL AGUA.	22
iii) CLORUROS.	23
4) PROCESOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA	23
c) AJUSTE DEL pH.....	24
d) COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.....	24
6. DISEÑO METODOLÓGICO	25

a.	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN.....	25
b.	DATOS GEOGRAFICOS	25
c.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	26
d.	RECURSOS:.....	26
e.	METODOLOGÍA:	27
7.	RESULTADOS	40
a.	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DEL RIO MAGDALENA.	40
b.	TEST DE JARRAS	41
c.	PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	47
d.	EQUIPO PARA ESTUDIO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO	48
e.	RESULTADOS DEL DISPOSITIVO ECONÓMICO.....	50
8.	COSTOS DEL DISPOSITIVO ECONÓMICO.....	56
	CONCLUSIONES	58
	ANEXOS	60
	BIBLIOGRAFÍA	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco normativo	16
Tabla 2. Clasificación de las resinas de intercambio iónico según su grupo funcional	19
Tabla 3. Determinación de cada parámetro.	28
Tabla 4. Listado de materiales	32
Tabla 5. Lista de materiales reciclados	33
Tabla 6. Lista de herramientas.	34
Tabla 7. Toma de muestras del Río Magdalena – embarcadero de Girardot, Cundinamarca	40
Tabla 8 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 1%	41
Tabla 9 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 1% y 1g de almidón	42
Tabla 10 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 0,5 y 0,5g de almidón	43
Tabla 11 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 1% y 1ml de sábila	44
Tabla 12 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 0,5 y 0,5ml de sábila	45
Tabla 13 Solución madre: 1 ml de sábila.	46
Tabla 14. Tabla de análisis físico – químicos del Rio Magdalena.	47
Tabla 15. Agua potable de la llave	48
Tabla 16. Agua potable de la llave	49
Tabla 17 Agua del Rio Magdalena – Embarcadero de Girardot	49
Tabla 18. Filtro #1 CAPACIDAD MÁXIMA 1500ml	50
Tabla 19. Datos estadísticos del filtro #1	50
Tabla 20. Filtro #2 Capacidad máxima 1500ml	51
Tabla 21. Datos estadísticos del filtro #2	52
Tabla 22. Filtro #3 Capacidad máxima 1500ml	52
Tabla 23. Datos estadísticos del filtro #3.	53
Tabla 24. Filtro completo	53
Tabla 25. Datos estadísticos del filtro completo	54

Tabla 26. Filtro completo con agua del Rio Magdalena. _____	54
Tabla 27. Datos estadísticos del filtro completo con agua del Rio Magdalena. _____	55
Tabla 28. Costos del dispositivo _____	56
Tabla 29. Costos comerciales en HOMECENTER _____	57

TABLA DE ILUSTRACIÓN

<i>Ilustración 1. Resinas de intercambio iónico (El copolimero de divinilbenceno) y Na⁺ y Ca⁺² son las especies que reaccionan.</i>	19
<i>Ilustración 3. Equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala. (Generatoris S.A. de C.V.)</i>	29
<i>Ilustración 4. Tabla C 2.1. Calidad de la fuente. Recuperado (minvivienda, 2017).....</i>	31
<i>Ilustración 5. Fases para la elaboración del dispositivo económico.....</i>	32

TABLA DE ANEXOS.

<i>ANEXO A. Selección de materiales reciclados.</i>	60
<i>ANEXO B. Dispositivo económico.</i>	60
<i>ANEXO C. Titulación para cloruros.</i>	61
<i>ANEXO D. Titulación para Dureza.....</i>	61
<i>ANEXO E. Titulación para Alcalinidad.....</i>	62

INTRODUCCIÓN

La pasantía: Uso de Resinas de Intercambio Iónico para el Tratamiento de Agua Superficial de la Cuenca Alta del Río Magdalena (Girardot), que se describe en este documento pretende comprender y evaluar algunas técnicas para mejorar los parámetros fisicoquímicos del agua superficial, particularmente mediante procesos de coagulación, floculación y el uso de materiales poliméricos para la retención de iones disponibles en medio acuoso. Lo anterior, y resaltando los procesos de calidad del agua hacen parte de los objetivos del milenio en términos de desarrollo sostenible, donde el objetivo 6:-Agua limpia y saneamiento busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2015). Por lo tanto, es un área de potencial estudio y puesta en práctica el conocimiento adquirido durante la formación de ingenieros ambientales.

Teniendo presente el recurso hídrico de la provincia del alto magdalena, particularmente del municipio de Girardot, se ha estudiado una de las más importantes arterias fluviales de Colombia, el río Magdalena. Dicho estudio se basó principalmente en mejorar las características fisicoquímicas del agua haciendo uso de las instalaciones y equipos ubicados en el laboratorio de aguas de la Universidad de Cundinamarca. El proceso consiste principalmente en la reducción de la turbidez a través de la coagulación y floculación con sulfato de aluminio comercial y otros materiales de origen natural, tal como el extracto de sábila y almidón como coadyuvantes. Finalmente, la fabricación y evaluación de un equipo de resinas de intercambio iónico a pequeña ha permitido reducir considerablemente la conductividad del agua en función del tratamiento (flujo constante o recirculación) y en términos del tiempo de contacto.

Este último tratamiento, tiene como contexto la transferencia de iones disueltos no deseados por otros iones con una carga similar, existiendo dos grupos diferentes de iones, los cationes que son iones cargados en forma positiva y los aniones que tienen carga negativa.

En el proceso de remoción de contaminantes iónicos disueltos en el agua existe un intercambio de material fluido – sólido donde el equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala del laboratorio de aguas y el prototipo fabricado (Seccional Girardot) tienen como finalidad la desionización del agua mediante el uso de resinas de intercambio, cuyas variables son medidas tras el cambio en la conductividad, bien sea en su conjunto o de manera independiente, es decir en la salida de cada resina (iónica o catiónica). (Generatoris S.A. de C.V.).

Finalmente, este trabajo de pasantía para optar al título de ingeniero ambiental de la Universidad de Cundinamarca, se propone el intercambio iónico como una alternativa eficiente para reducir la concentración de iones metálicos y aniones en agua superficial de muestras de agua a pequeña escala del río Magdalena, teniendo presente que se trata de un aprendizaje basado en problemas, puesto que se ha estudiado y comprendido dos tratamientos fisicoquímicos para mejorar la calidad del agua, proveniente del embarcadero de Girardot, punto de muestro que constantemente presenta un impacto ambiental negativo tras la desembocadura del río Bogotá (aproximadamente 2 Km antes) y diferentes vertimientos de agua residual, lo cual hacen que disminuya la calidad del agua para diversas aplicaciones, entre ellas para consumo humano o uso agropecuario.

1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca del Río Magdalena esta sectorizada en tres partes: El Alto Magdalena, desde su nacimiento hasta Honda, Medio Magdalena, desde Honda hasta El Banco, y Bajo Magdalena, desde El Banco hasta la desembocadura (en la Depresión Momposina y en el delta magdaleniense), (Cormagdalena & IDEAM, 2001);

Una de las principales problemáticas socio ambientales en los países en vía de desarrollo, es la disposición de agua de calidad para consumo humano, por ejemplo, solo el 73,2% de las zonas rurales de Colombia presentan servicio público domiciliario (MINVIVIENDA, 2018), en el sistema de Gestión Ambiental Municipal (2016) del municipio de Girardot se menciona que en el sector rural el abastecimiento de agua para el consumo humano y labores domésticas se realiza de nacimientos de distintos caudales que generalmente surten unas pocas familias, estas aguas no son tratadas. Por estas razones, en esta pasantía en el laboratorio de aguas se pretende comprender los diversos tratamientos físico-químicos (Coagulación, floculación y retención de iones) para mejorar la calidad del agua superficial, por las razones antes descritas, en este trabajo se estudió algunos materiales de origen natural y económicos para llevar a cabo procesos de coagulación, floculación y absorción de cationes o aniones en una fase sólida. El uso de resinas de intercambio iónico puede ser un tratamiento adicional para garantizar la calidad del agua proveniente del río Magdalena en términos de remoción de iones no deseados (metales pesados, reducción de la dureza, aniones nitrogenados (nitratos, nitritos, cianuro), fosfatos, etc.) según su aplicabilidad, es decir, si es para consumo humano, para aplicaciones industriales, para la fabricación de productos de limpieza, uso agropecuario, entre otros. Todo ello, estará definido principalmente mediante la reducción de la turbidez, la conductividad y otros parámetros definidos mediante pruebas volumétricas.

2. JUSTIFICACIÓN

Comprender y aplicar las técnicas de tratamiento de aguas para consumo animal o uso agrícola juega un papel importante en términos de desarrollo y sostenibilidad socio ambiental de la región, puesto que la presencia de agentes xenobioticos en las fuentes hídricas ocasionan alteraciones en los sistemas vivos debido a los procesos de bioacumulación y magnificación. Por ello, el desarrollo de sistemas económicos para el tratamiento de aguas a pequeña escala puede ser una alternativa de solución, que garantice el acceso a un agua de mejor calidad en zonas marginadas, rurales o de difícil acceso, todo ello respecto a las características fisicoquímicas del agua. Sin embargo, es importante resaltar que es indispensable un último tratamiento que elimine los microorganismos patógenos, en este caso se sugiere que en dichas zonas marginadas se realice de manera controlada procesos térmicos o ebullición del agua cuando se trata para consumo humano.

El suministro de agua para consumo cerca de la cuenca alta del Rio Magdalena en el municipio de Girardot-Cundinamarca es escasa para algunas áreas rurales como lo son los corregimientos de Barzaloza, San Lorenzo y Acapulco, por tal motivo es necesario aplicar y desarrollar prácticas de saneamiento que contribuyan a la disminución de contaminantes que pueden llegar a contener la fuente hídrica de la que se abastecen.

Teniendo en cuenta la calidad del agua en zonas rurales aledañas al Rio Magdalena en el municipio de Girardot - Cundinamarca, se identifica que en el sistema de Gestión Ambiental Municipal del 2014-2026, se tiene en cuenta algunos programas y proyectos en el plan de acción ambiental del municipio, dentro de la línea estratégica para el saneamiento básico, la empresa de acueducto tiene como proyecto ampliar las redes de acueducto y alcantarillado del municipio para que de esta manera no se genere ningún riesgo para la salud de la comunidad y manteniendo

un ambiente sano. Sin embargo, mientras se garantiza un saneamiento básico en Colombia en las zonas más vulnerables, el aporte de esta pasantía ha sido: la aplicación de distintos conceptos de las ciencias básicas y la ingeniería para el desarrollo de un dispositivo que facilite el tratamiento fisicoquímico de aguas de manera eficiente y práctica, mediante el reciclaje, el uso de materiales económicos o de fácil acceso.

3. OBJETIVOS

Objetivo General:

Estudiar la disminución de la conductividad en muestras de agua proveniente de la cuenca alta del río Magdalena a la altura del Municipio de Girardot, mediante el uso de resinas de intercambio iónico.

Objetivos Específicos:

- ✓ Determinar la concentración óptima en procesos de coagulación y floculación con Sulfato de Aluminio Comercial, en muestras de agua del río Magdalena.
- ✓ Estudiar la eficiencia del equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala del Programa de Ingeniería Ambiental, seccional Girardot, para el tratamiento de aguas.
- ✓ Evaluar un dispositivo económico para la reducción de la conductividad en muestras de agua superficial de la provincia del alto Magdalena.

4. MARCO NORMATIVO.

Colombia presenta un marco normativo importante para definir la calidad del agua, las normas y los lineamientos se describen en la *Tabla 1. Marco normativo*

Tabla 1. Marco normativo

NORMA	LINEAMIENTO O PARÁMETROS
Manual de operaciones y prácticas	Equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala
Constitución Política del 1991	Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución
Ley 142 de 1994	Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios así como de actividades que realicen las personas que los presten.
Resolución 1096 del 2000	Por la cual se adopta el Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.
La Resolución 1096 del 2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS

Decreto 1575 del 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
Resolución 2115 del 2007	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
Resolución 0330 del 2017	Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS

A pesar de la normatividad vigente, Colombia presenta una importante falencia en términos de asegurar o garantizar la calidad del agua, de 1122 municipios en Colombia, 682 municipios cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR), sin considerar la cantidad, los tipos de tratamiento y su eficiencia. Aproximadamente el 40% de los municipios vierten sus aguas residuales a los principales cuerpos de agua tal como el río Magdalena, fuente que suministra agua a importantes ciudades a lo largo del territorio nacional, sin embargo, cada día la calidad del agua es peor y hace que sea necesario sistemas de tratamiento más rigurosos para que dicho recurso sea para consumo humano. Según lo anterior, las entidades que regulan dichas normatividades deben ser más exigentes para que los municipios y entidades privadas cumplan con lo establecido en términos de vertimientos, se penalice o se creen estrategias para lograr una sostenibilidad ambiental en cada proceso.

5. MARCO TEORICO

1) INTERCAMBIO IÓNICO Y RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO.

El proceso de intercambio iónico se define como la transferencia de iones disueltos no deseados por otros iones con una carga similar, en donde ocurre un intercambio sólido- líquido, implicando la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga.

Teniendo en cuenta que la eficiencia de este proceso de intercambio iónico depende del equilibrio sólido – líquido y de la velocidad de transferencia de materia. Los sólidos suelen ser de tipo polimérico, siendo los más habituales los basados en resina sintética. (Generatoris S.A. de C.V.).

En el tratamiento de aguas los iones indeseables son removidos y transferidos a dicho material sólido (resinas), llamando a este proceso intercambio iónico, el cual los acepta cediendo un número equivalente de iones de una especie deseable que se encuentra almacenada en el esqueleto del intercambiador de iones, teniendo en cuenta que el esqueleto tiene una capacidad limitada para almacenar o intercambiar iones llamada también capacidad de intercambio. (Anduaga Cota, Vicente, 1987)

Las resinas de intercambio iónico son usadas muchas veces para realizar procesos de concentración, separación y purificación; son consideradas como una estructura de cadenas hidrocarbonadas a la que se encuentran unidas de forma rígida los grupos aniónicos libres.

Las cadenas hidrocarbonadas se encuentran unidas transversalmente formando de esta manera una matriz tridimensional y proporcionando rigidez en la resina, donde el grado de reticulación o entrecruzamiento determina la estructura porosa interna de la resina; los iones deben difundirse en el interior de la resina para que así pueda ocurrir el intercambio y la selección del grado de

reticulación puede llegar a limitar la movilidad de los iones participantes, tal como se describe en la siguiente ilustración:

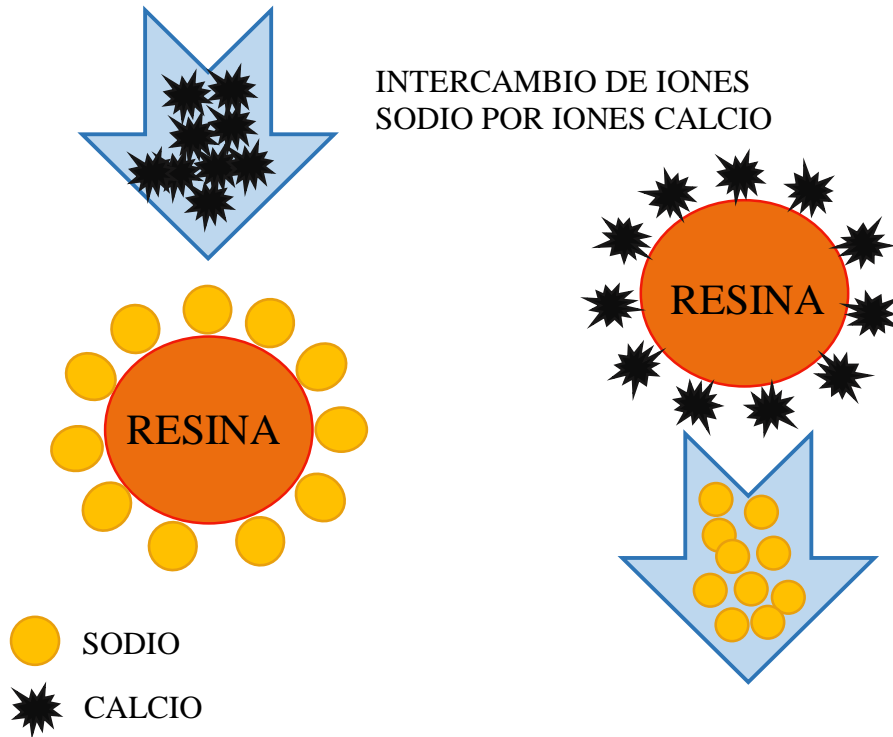


Ilustración 1. Resinas de intercambio iónico (El copolímero de divinilbenceno) y Na^+ y Ca^{+2} son las especies que reaccionan.

Según (García, 2009) hay cinco tipos de resinas de intercambio iónico sintéticas son usadas actualmente, las cuales son:

Tabla 2. Clasificación de las resinas de intercambio iónico según su grupo funcional

Tipo de resina	Características
Catiónica ácido fuerte	Se soporta similar a un ácido fuerte, y son altamente ionizadas tanto en forma ácida ($R-SO_3H$) y sal ($R-SO_3Na$), sobre el rango completo de pH

Catiónica ácido débil	Tienen un grupo funcional ácido débil (-COOH), típicamente un grupo carboxílico. Se comporta como los ácidos orgánicos que son levemente disociados.
Aniónica base fuerte	Son altamente ionizadas, tienen grupos funcionales de base fuerte como el OH, y pueden usarse sobre el rango completo de pH. Son utilizadas en la forma de hidróxido para la desionización del agua
Aniónica base débil	Tienen grupos funcionales de base débil donde el grado de ionización es dependiente del pH.
Quelatante selectivo de metales pesados	Se comportan como las resinas catiónicas de ácido débil, pero presentan un alto grado de selectividad por los cationes de metales pesados. El grupo funcional en la mayoría de estas resinas es la EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), y la estructura de la resina en la forma de sodio es R-EDTA-Na

Nota: Recuperado de “Combinación de electrodiálisis, intercambio iónico y ósmosis inversa para la desnitrificación de aguas potencialmente potables”, de García, F. (2009). Cideteq. P63.

2) AGUA DESIONIZADA

Según (Muñoz, 2015) “El agua desionizada o desmineralizada es aquella a la cual se le han quitado los cationes, como los de sodio, calcio, hierro, cobre y otros, y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc, mediante un proceso de intercambio iónico. Esto significa que el agua se le han quitado todos los iones excepto el H^+ , o más rigurosamente H_3O^+ y el OH^- , pero puede contener pequeñas cantidades de impurezas no iónicas como compuestos orgánicos.”

“El agua desionizada es mucha más vulnerable, desde el punto de vista bacteriológico, que el agua de red, ya que, si bien se le han privado de gran parte de sus iones, suelen quedar los suficientes para permitir una larga supervivencia de las bacterias que transportan y aún a veces soporta su crecimiento.” (Guinea, Sancho , & Parés , 1979).

3) PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICO DEL AGUA

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química.

a) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA.

Dentro de las características físicas del agua, que son llamadas así porque tiene directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, encontramos las siguientes:

- Turbiedad
- Sabor y olor
- Sólidos solubles e insolubles
- Temperatura y,
- Color
- pH

i) TURBIEDAD

La turbidez del agua es dada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro y las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

ii) pH.

Este parámetro es definido como el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones (H^+); “Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado.” (Aznar Jiménez & Barba, 2011)

b) CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA.

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración.

i) DUREZA

“Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio. La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos.” (Aznar Jiménez & Barba, 2011)

ii) CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

“El agua pura se comporta como aislante eléctrico, siendo las sustancias en ella disueltas las que proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Se determina mediante electrometría con un electrodo conductimétrico, expresándose el resultado en microsiemens cm^{-1} ($\mu\text{S cm}^{-1}$). Es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos estando relacionados ambos mediante la expresión empírica ($\text{SD (mg/L)} = 0,8 \cdot \Lambda_0 (\mu\text{S cm}^{-1})$).” (Aznar Jiménez & Barba, 2011)

iii) CLORUROS.

“Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas. En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad.” (Aznar Jiménez & Barba, 2011)

iv) ALCALINIDAD.

“Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica.” (Aznar Jiménez & Barba, 2011).

4) PROCESOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA.

El tratamiento de agua potable es el conjunto de procesos en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos parámetros estipulados en la Ley.

c) AJUSTE DEL pH

El pH del agua al final puede necesitar que se ajuste de forma que no sea demasiado ácida, lo cual podría corroer las conducciones metálicas de distribución y las cañerías domésticas, o demasiado alcalina, lo cual resultaría en la deposición de sales en el sistema de distribución originando una reducción en el caudal. El pH se debe ajustar en alguna de las etapas, como en la coagulación, para asegurar la máxima eficiencia. (Gray, 1994)

d) COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.

Un coagulante se añade al agua para desestabilizar las partículas e inducir las a agregarse en partículas mayores conocidos como floculos. Se utilizan diferentes tipos de coagulantes. Las sales más comunes son el sulfato de aluminio, hidróxido de aluminio, cloruro de polialuminio, cloruro de hierro (III), sulfato de hierro (III). (Gray, 1994).

La probabilidad del choque entre partículas se puede incrementar significativamente agitando suavemente el agua, este proceso es conocido como floculación. Donde hay una alta concentración de partículas coloidales, entonces la floculación puede ser efectiva por sí misma. (Gray, 1994).

6. DISEÑO METODOLÓGICO.

6.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN

La Universidad de Cundinamarca seccional Girardot – Cundinamarca, en la que se ofertan cinco programas de pregrado y dos especializaciones presenciales; se encuentra ubicada en la Carrera 19 N° 24 – 209, es una Institución Estatal de Educación Superior del Orden Territorial, que tiene: (Universidad De Cundinamarca, s.f.)

 sus orígenes como proyecto educativo departamental en la Ordenanza número 045 del 19 de diciembre de 1969, por medio de la cual se creó el Instituto Técnico Universitario de Cundinamarca ITUC, y fue reconocida como Universidad mediante Resolución No. 19530, de Diciembre 30 de 1992 del Ministerio de Educación Nacional, y de conformidad con la Constitución Política, la Ley 30 de 1992 y los Derechos Reglamentarios, es un ente autónomo e independiente, con personería jurídica, autonomías académica, administrativa, financiera, presupuestal y de gobierno, con rentas y patrimonio propios, y vinculada al Ministerio de Educación Nacional haciendo parte del Sistema Universitario Estatal, como institución de Educación Superior.

6.2. DATOS GEOGRAFICOS

La Universidad de Cundinamarca se encuentra ubicada en el municipio de Girardot-Cundinamarca, tiene una población de 106.818 habitantes; cuenta con un ecosistema de bosque seco tropical lo que hace tener una temperatura promedio de entre 28°C y 30°C, situado en la región centro Oriental en la provincia del Alto Magdalena, con una superficie 130 Km² (13.000 Ha) a una altitud de 326 m.s.n.m.

6.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

1. Apoyar los procesos administrativos correspondientes al laboratorio de aguas.
2. Realizar búsqueda bibliográfica referente a los tratamientos fisicoquímicos de agua superficial. Se hará uso de bases de datos institucionales como scopus, sciendirect, scielo, etc. La bibliografía se administrará hacienda uso de procesadores bibliográficos como Mendeley.
3. Se realiza la toma de muestras en el Rio Magdalena de manera manual ya que este este método se puede efectuar en sitios de fácil acceso o aquellos que por medio de ciertas adaptaciones puedan facilitar la toma de muestra en este caso la muestra fue tomada en el embarcadero de Girardot - Cundinamarca.
4. Realizar test de jarras para definir la concentración optima en el proceso de coagulación y floculación con sulfato de aluminio comercial con agua superficial proveniente del río Magdalena.
5. Una vez realizado el proceso de coagulación y floculación, el agua obtenida se tratará haciendo uso de un equipo de resinas de intercambio iónico, ubicado en el laboratorio de aguas de la Universidad de Cundinamarca seccional Girardot.
6. Elaborar un dispositivo económico para el tratamiento de agua superficial, mediante el uso de materiales que permitan la retención de partículas en suspensión y diversos aniones, realizando un filtro lento de arena mediante capas con materiales en un orden establecido para que cumplan su función.

6.4.RECURSOS:

Dentro de los recursos encontramos:

- **HUMANO:** Para el proyecto se utilizó la asesoría del docente John Jairo Valencia ante la dirección y la cesión de conocimientos.
- **INSTITUCIONALES:** Se necesitó de la ayuda de todos miembros involucrados con el manejo del laboratorio de aguas del Programa de Ingeniería Ambiental Seccional Girardot, como lo son el profesional Rubén Darío Bocanegra Moreno y el docente John Jairo Sandoval Valencia.
- **FÍSICOS, LOGÍSTICOS Y TÉCNICOS:** El uso del laboratorio de agua con el equipo de resinas de intercambio iónico a pequeña escala, medidores de pH, turbidímetro, sulfato de aluminio, sábila o aloe vera, muestra del Rio Magdalena, equipo de Teste de Jarras, 6 vasos precipitados de 1 L, vasos precipitados de 100ml, agitador de vidrio, balanza, jeringas y para los filtros a elaborar, material de pvc, platinas de aluminio, tornillos, arena fina, grava, piedras de diferente diámetro, resina y manguera para el paso del agua entre los filtros.
- **INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS:** Las instalaciones de la Universidad de Cundinamarca, laboratorio de aguas del Programa de Ingeniería Ambiental, el equipo de resinas de intercambio iónico a pequeña escala, que cuenta con dos columnas de resinas una iónica y una catiónica, compuesta de una unidad de proceso y un gabinete de control con un tanque de alimentación a sistema de columnas de resinas de intercambio iónico con capacidad de 20 litros.

6.5. METODOLOGÍA:

6.5.1. Determinación de cada parámetro.

Se realizó el análisis de los parámetros físico-químico mediante los siguientes métodos:

Tabla 3. Determinación de cada parámetro.

Parámetros	Equipo utilizado	Calibración de equipos	Estandarización	Método
pH	pHmetro – Marca HANNA Hi98129	Si	N.A	Potenciométrico
Turbidez	Turbidímetro – Marca HANNA Hi93703	Si	N.A	Nefelométrico
Conductividad	pHmetro –Marca HANNA Hi90129. Equipo de resinas de intercambio. iónico	No	N.A	Potenciométrico
Cloruros	Erlenmeyer, Pipeta, Bureta	No	AgNO ₃ – 0.0142N	Volumétrico
Alcalinidad	Erlenmeyer, Pipeta, Bureta	No	H ₂ SO ₄ - 0.1 N	Volumétrico
Dureza	Erlenmeyer, Pipeta, Bureta	No	EDTA - 0.01 M	Volumétrico

Fuente: Autor.

6.5.2. Equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala.

El equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala cuenta con dos columnas una de resina aniónica y otra de resina catiónica que por medio de una bomba de alimentación se logra conducir el agua hacia las resinas, basados en el manual de operaciones y prácticas que se encuentra en el laboratorio se revisaran y realizaran previamente unas prácticas experimentales logrando desarrollar los cálculo de concentración de la solución expuestas como ejemplo en el manual, de esta manera se realiza el conocimiento del equipo y su debido manejo.

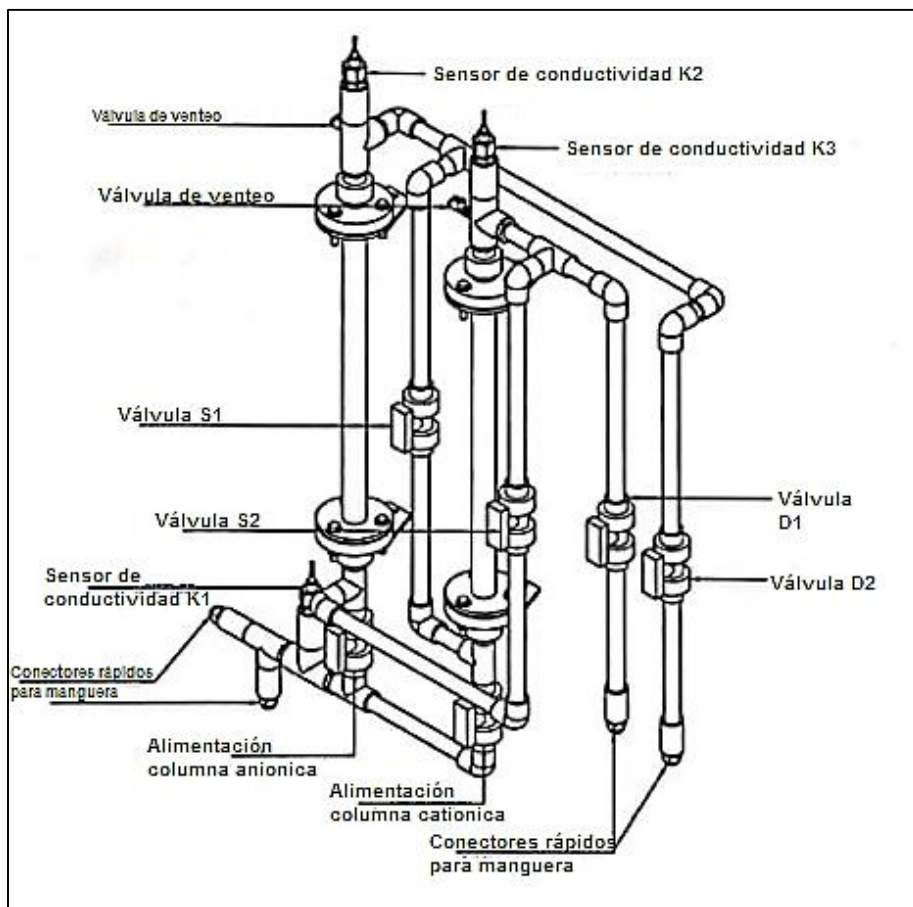


Ilustración 2. Equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala. (Generatoris S.A. de C.V.)

Teniendo en cuenta que el producto de las resinas cuentan con un certificado de análisis, donde se especifica que las resinas son copolimero estireno divinilbenceno, donde la resina catiónica actividad su grupo funcional es ácido sulfónico, estructura en gel, aspecto negro-pardo, tamaño de la partícula 0,63 mm y una capacidad total de 2,00 eq/L, y la resina aniónica activada, su grupo funcional es Amina Cuaternaria tipo I, estructura en gel, aspecto ámbar claro, tamaño de partícula 0,65mm y una capacidad total de 1,2 eq/L.

Se realizarán toma de muestra de agua del Río Magdalena considerando diversos factores, tales como: profundidad, caudal, distancia a la orilla, etc. La muestra se tomará lo más lejos posible de la orilla, procurando no remover el fondo y evitando los remansos o zonas de estancamiento, para tomar una muestra del agua se sujetará el frasco por el fondo en posición

invertida, sumergiéndolo completamente y dándole la vuelta en sentido contrario a la corriente del río o desplazándolo horizontalmente en la dirección de la boca del frasco posteriormente se rotularán.

Se realizan los procedimientos de análisis de las características físico-químicas del agua obteniendo el pH, turbidez, conductividad, dureza, alcalinidad y cloruros, luego se ejecutarán las pruebas de coagulación y floculación mediante test de jarras para retirar las partículas en suspensión, se hará proceso de sedimentación, filtración y ajuste de pH posteriormente se realizarán de nuevo los análisis físico-químicos.

La muestra de agua se pasará por el equipo para estudio de resinas de intercambio iónico y se determinaran la capacidad de la resina por medio de la curva de ruptura del sistema del volumen eluído, la concentración de la solución de alimentación a partir de valores experimentales de conductividad y la solución de salida de la columna de resina aniónica a partir de valores conductividad.

6.5.3. DISPOSITIVO ECONOMICO (FILTRO)

Para la elaboración del dispositivo económico se realizó una consulta en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua potable y Saneamiento Básico (RAS) 2017, título C - Sistemas de potabilización, en la sección C.2.3., que habla de calidad del agua de la fuente y grado de tratamiento, especificando en la tabla C.2.1., que es una clasificación de fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros de caracterización físico – química y microbiológica y el grado de tratamiento mínimo que se recomienda, esta tabla se clasifica según la calidad de la fuente, donde se mencionan 3 niveles de calidad de acuerdo al grado de contaminación, dándose a conocer por los valores conocidos de la turbidez de la muestra de agua

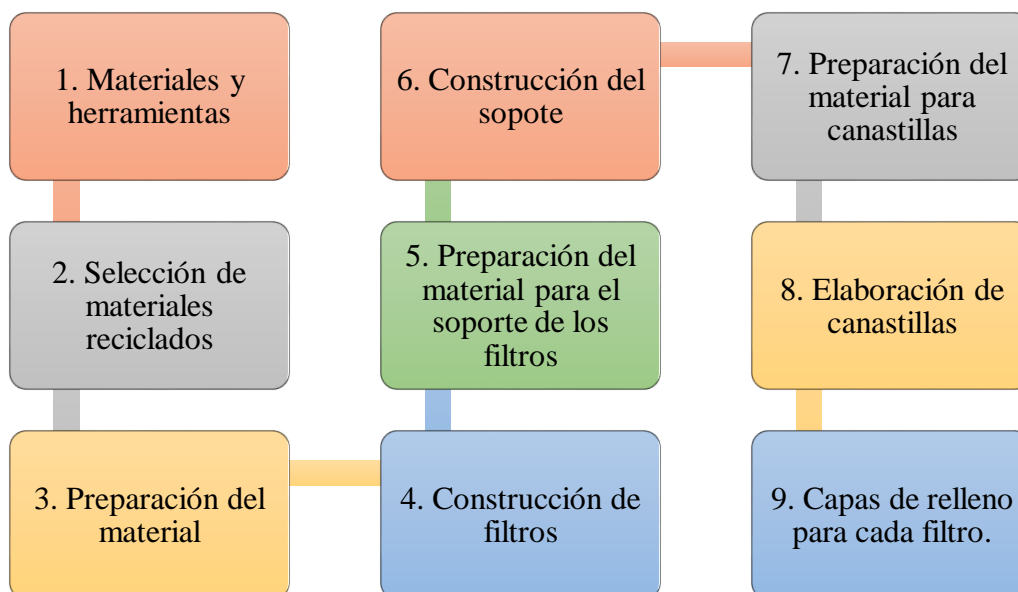
realizada en el Río Magdalena que en promedio es de 48,97 NTU, esta muestra se clasifica en el nivel 3 que es una fuente deficiente, como se muestra a continuación:

TABLA C.2.1. Calidad de la fuente						
Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación			
	Norma Técnica Icontec NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-5870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 -20	20 - 40	≥ 40
Sabor y olor		D 1292	Aceptable	Aceptable	Rechazable	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	SI, hay veces (ver requisitos para uso FiME : literal C.7.4.3.2.)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1) FiME	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Flocculación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [FiME Filtración en múltiples etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Ilustración 3. Tabla C 2.1. Calidad de la fuente. Recuperado (minvivienda, 2017)

Después de conocer el tratamiento adecuado que se le debe dar al agua del Río Magdalena, se consulta sobre la elaboración del filtro FiMe y se realiza uno a pequeña escala teniendo esta una altura de 40cm, realizando las siguientes fases para la construcción del filtro económico.

Ilustración 4. Fases para la elaboración del dispositivo económico.



6.5.3.1. FASE I – Materiales y herramientas a utilizar.

En esta fase se realiza una lista de los materiales y herramientas a utilizar para la construcción del filtro como lo son:

MATERIALES:

Los materiales para la elaboración del dispositivo económico se consiguieron mediante maestros de construcción y plomeros quienes nos brindaron precios bajos del mismo.

Tabla 4. Listado de materiales

Ítem	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Unión pvc de 4"	6
2	Buje pvc de 4" a 2"	6
3	Buje pvc de 2" a 1/2"	6
4	Adaptador macho	6

5	Llave universal	2
7	Tela liencillo	1
8	Teflón	2
9	Codos pvc de 1"	4
10	T pvc de 1"	16
11	Platina	6
12	Tornillos de " x 1/4 Ø	12
13	Remaches pop	40
14	Pegante de soldadura líquida pvc	1

Fuente: Autor.

El resto de materiales para la elaboración del dispositivo económico se consiguió mediante algunos desechos de obra de construcción con autorización de la constructora SANTA ROSA, obra santa rosa ubicada a las afueras del Espinal- Tolima.

Tabla 5. Lista de materiales reciclados

Ítem	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubos pvc de 4" x 30cm	3
2	Tubos pvc de 1/2" x 60 cm	1
3	tubos pvc de 1"	7
4	Tapas de tarros de leches	3
5	Llaves de paso 1/2"	4

Fuente: Autor.

HERRAMIENTAS:

Tabla 6. Lista de herramientas.

Ítem	DESCRIPCIÓN
1	Segueta
2	Remachadora
3	Prensa
4	Alicate
5	Hombre solo
6	Martillo
7	Destornilladores
8	Taladro y brocas

Fuente: Autor.

6.5.3.2. FASE II – Selección de materiales reciclados

En esta fase se realizó la selección de materiales a reutilizar para la elaboración del dispositivo económico, en la obra Santa Rosa ubicada a las afueras del Espinal – Tolima con la autorización de la constructora SANTA ROSA, para de esta manera obtener materiales y disminuir los costos del mismo, ver el ANEXO A. *Selección de materiales reciclados.*

6.5.3.3. FASE III – Preparación del material para elaborar los filtros

En esta fase se realizan los cortes con las medidas de cada uno de los tubos de pvc como se describe a continuación:

- 3 tubos pvc de 4” con un largo de 30cm cada uno
- 7 tubos pvc de ½” con un largo de 5cm cada uno

- 1 tubo pvc de ½” con un largo de 7cm
- 1 tubo pvc de ½” con un largo de 19cm

Para armar el filtro es necesario el resto de materiales que son:

- 6 Uniones pvc de 4”
- 6 Bujes pvc de 4” a 2”
- 6 Bujes pvc de 2” a ½”
- 6 Adaptadores macho
- 4 Llaves de paso de ½”
- 2 Llaves universal de ½”
- 3 Tapas de tarros de leche perforadas con un Ø de 6mm
- 3 filtros de tela liencillo

6.5.3.4. FASE IV – Construcción de los filtros

En esta fase se empieza la construcción de cada uno de los filtros mediante los siguientes pasos:

1. Se coge un tubo pvc de 4” de 30cm y con el uso del pegante de soldadura líquida pvc se une una unión pvc de 4” en ambos extremos del tubo pvc de 4” y se deja secar por 1 minuto.
2. Se pega el buje de 4” a 2” con el buje de 2” a ½” y se deja secar por 1 minuto.
 - 2.1. Se pega un tubo pvc de ½” de 5cm al buje pvc de 2” a ½” y se deja secar por 1 minuto.
 - 2.2. Se pega el adaptador macho de ½” con el tubo pvc de ½”, se le aplica cinta teflón al adaptador macho para evitar fugas.
 - 2.3. Se enrosca el adaptador macho de ½” a la llave de paso de ½”.

2.4. Se une el adaptador macho de ½” a la llave universal mediante un tubo pvc de ½” de 5cm.

NOTA: Estos pasos se realizan a la salida del filtro #1 y #2.

3. ENTRADA DEL AGUA AL FILTRO

Se pega el buje de 4” a 2” con el buje de 2” a ½” y se deja secar por 1 minuto.

3.1. Se pega un tubo pvc de ½” de 5cm al buje pvc de 2” a ½” y se deja secar por 1 minuto.

3.2. Se pega el adaptador macho de ½” con el tubo pvc de ½”, se le aplica cinta teflón al adaptador macho para evitar fugas.

3.3. Se enrosca el adaptador macho de ½” a la llave de paso de ½”.

3.4. Se enrosca un adaptador de la llave de paso de ½” a la manguera.

4. SALIDA DE AGUA DEL FILTRO

Se pega el buje de 4” a 2” con el buje de 2” a ½” y se deja secar por 1 minuto.

4.1. Se pega al buje de 2” a ½” un tubo pvc de ½” de 7cm

4.2. Se une un codo pvc de ½” al tubo pvc ½” de 7cm

4.3. Se une un tubo pvc de ½” de 19cm al codo pvc de ½”

4.4. Se le pega un adaptador macho de ½” y se enrosca el adaptador macho de ½” a la llave de paso de ½”, se le aplica cinta teflón al adaptador macho para evitar fugas.

NOTA: Este proceso se realiza a la salida del filtro #3

6.5.3.5. FASE V – Preparación del material para elaborar el esqueleto de soporte de los filtros.

En esta fase se realizan los cortes con las medidas de cada uno de los tubos de pvc como se describe a continuación:

- 6 tubos pvc de 1” con un largo de 22cm cada uno

- 4 tubos pvc de 1" con un largo de 14cm cada uno
- 8 tubos pvc de 1" con un largo de 57cm cada uno
- 4 tubos pvc de 1" con un largo de 25cm cada uno
- 4 tubos pvc de 1" con un largo de 15cm cada uno

Posteriormente se alistaron el resto de materiales para elaborar el esqueleto para soporte de los filtros como lo son:

- 4 Codos pvc de 1"
- 16 T pvc de 1"

6.5.3.6. FASE VI - Construcción del esqueleto para soporte de los filtros.

La construcción del esqueleto para soporte de los filtros se realizó mediante los siguientes pasos:

1. Se unió los tubos de 22cm y 14cm con los codos pvc de 1" y las T pvc de 1" para formar un rectángulo.
2. Se unen los tubos pvc de 1" de 57cm con las T pvc de 1" del rectángulo anteriormente mencionado.
3. Se une a la parte inferior del tubo pvc de 1" una T pvc de 1"

NOTA: Se realiza este mismo proceso con los demás tubos pvc de 1" y T pvc de 1"

6.5.3.7. FASE VII – Preparación del material para elaborar las canastillas de soporte de cada uno de los filtros

En esta fase se realizan los cortes con las medidas de cada uno de las platinas de aluminio

- 6 platinas de aluminio de $\frac{3}{4}$ con un largo de 65cm cada una
- 3 platinas de aluminio de $\frac{3}{4}$ con un largo de 30cm cada una

Posteriormente se alistaron el resto de materiales como lo son:

- Tornillos de 2" x ¼ Ø
- Remaches pop

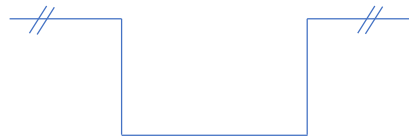
6.5.3.8. FASE VIII - Elaboración de canastillas para soporte de cada uno de los filtros

En esta fase se realiza la construcción de cada una de las canastillas

1. Se realizó un corte de la platina de aluminio de ¾ haciendo una escuadra de:

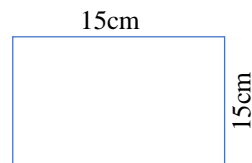


2. Se realizó unas perforaciones para tornillos de 2" x ¼ Ø



NOTA: Se realizan 2 de estas mismas.

3. Se realiza un cuadrado para darle firmeza a la canastilla.



4. Para la unión del cuadrado y las platinas se utilizaron un remache pop.

Nota: Se utilizó una remachadora y una prensa para hacer el doble de cada platina.

6.5.3.9. FASE IX – CAPAS DEL FILTRO.

• PRIMER FILTRO

Para el relleno del primer filtro se introdujo un filtro de tela elaborado tela liencillo y se utilizó un vaso precipitado como medida para cada una de las capas, las cuales son:

1. 600 ml Arena filtrante para piscinas marca Carlos Buitrago

2. 1000ml de carbón activado
3. 200ml de grava.

- **SEGUNDO FILTRO.**

Para el relleno del segundo el filtro se utilizó una almohadilla de espuma cortadas al mismo diámetro del filtro, donde se colocaron al principio y al final de la resina, este filtro contiene:

1. 1000 ml de resina copolimero estireno divinilbenceno, grupo funcional Amina Cuaternaria tipo I, Color ámbar claro.

- **TERCER FILTRO**

Para el relleno del segundo el filtro se utilizó una almohadilla de espuma cortadas al mismo diámetro del filtro, donde se colocaron al principio y al final de la resina, este filtro contiene:

1. 1000 ml de resina copolimero estireno divinilbenceno, grupo funcional ácido sulfónico, color negro-pardo.

Ver ANEXO B. Dispositivo económico.

7. RESULTADOS

7.1. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DEL RIO MAGDALENA.

Para la realización de análisis en el laboratorio de aguas del programa de ingeniería ambiental, se es necesario realizar toma de muestras del agua problema que en este caso es del Río Magdalena, identificando el punto de muestreo en el embarcadero ubicado en el municipio de Girardot- Cundinamarca. Este muestreo fue realizado de manera manual en 3 días diferentes como se muestra a continuación.

Tabla 7. Toma de muestras del Río Magdalena – embarcadero de Girardot, Cundinamarca

FECHA	CONDICIONES METEREOLÓGICAS	EVIDENCIAS
11-09-2019	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura: 33 ° C• Sensación térmica: 33 ° C• Humedad: 59%• Viento: E 11 km/h	
20-09-2019	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura: 32 ° C• Sensación térmica: 32 ° C• Humedad: 62%• Viento: E 13 km/h	
02-10-2019	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura: 34 ° C• Sensación térmica: 34 ° C• Humedad: 55%• Viento: E 10 km/h	

Fuente: Autor.

7.2. TEST DE JARRAS

Se realizó el test de jarras para determinar la dosis optima en el proceso de coagulación y floculación con las muestras de agua tomadas el Rio Magdalena.

Tabla 8 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 1%

Ensayo	Concentración	V(mL)	Turbidez	pH	Conductividad
	Coagulante	Alícuota	NTU		Eléctrica (μs)
1	25 mg/L	2,5 ml	4,71	6,77	0,16
2	50 mg/L	5,0 ml	4,01	6,52	0,18
3	80 mg/L	8,0 ml	3,64	6,20	0,20
4	100 mg/L	10 ml	2,19	5,64	0,23
5	120 mg/L	12 ml	1,93	4,90	0,26
6	150 mg/L	15 ml	2,31	4,38	0,30

Fuente: Autor

Agua problema Río Magdalena			
Tiempo 0		Tratada	
pH	5,82	pH	3,92
Conductividad Eléctrica (μs)	0,13	Conductividad Eléctrica (μs)	0,86
Turbidez NTU	54	NTU	0,84

Agua de la llave	
pH	6,09
Conductividad Eléctrica (μs)	0,13
Turbidez NTU	1,45

$$\%de\ remoci3n = \frac{54 - 1.93}{54} \times 100\% = 96,42\%$$

Tabla 9 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 1% y 1g de almidón

Ensayo	Concentración Coagulante	V(mL) Alícuota	Turbidez NTU	pH	Conductividad Eléctrica (μs)
1	25 mg/L	2,5 ml	40,64	6,83	0,18
2	50 mg/L	5,0 ml	3,83	6,55	0,20
3	80 mg/L	8,0 ml	4,46	6,33	0,20
4	100 mg/L	10 ml	5,77	5,95	0,23
5	120 mg/L	12 ml	6,12	5,70	0,25
6	150 mg/L	15 ml	1,86	5,19	0,27

Fuente: Autor

Agua problema Río Magdalena	
Tiempo 0	
pH	6,94
Conductividad Eléctrica (μs)	0,17
Turbidez NTU	58

Agua de la llave	
pH	6,09
Conductividad Eléctrica (μs)	0,13
Turbidez NTU	1,45

$$\%de\ remoci3n = \frac{58 - 1.83}{58} \times 100\% = 96,84\%$$

Tabla 10 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 0,5 y 0,5g de almidón

Ensayo	Concentración Coagulante	V(mL) Alícuota	Turbidez NTU	pH	Conductividad Eléctrica (μs)
1	25 mg/L	2,5 ml	38,94	6,25	0,17
2	50 mg/L	5,0 ml	39,39	6,34	0,17
3	80 mg/L	8,0 ml	40,05	6,24	0,17
4	100 mg/L	10 ml	36,22	6,45	0,18
5	120 mg/L	12 ml	20,44	6,46	0,18
6	150 mg/L	15 ml	16,43	6,47	0,18

Fuente: Autor.

Agua problema Río Magdalena	
Tiempo 0	
pH	6,94
Conductividad Eléctrica (μs)	0,17
NTU	58

Agua de la llave	
pH	6,09
Conductividad Eléctrica (μs)	0,13
NTU	1,45

$$\%de\ remoci3n = \frac{58 - 16,43}{58} \times 100\% = 71,67\%$$

Tabla 11 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 1% y 1ml de sábila

Ensayo	Concentración Coagulante	V(mL) Alícuota	Turbidez NTU	pH	Conductividad Eléctrica (μ s)
1	25 mg/L	2,5 ml	0,05	6,41	0,17
2	50 mg/L	5,0 ml	0,02	5,79	0,18
3	80 mg/L	8,0 ml	0,96	4,68	0,22
4	100 mg/L	10 ml	0,85	4,31	0,26
5	120 mg/L	12 ml	1,24	4,22	0,29
6	150 mg/L	15 ml	1,71	4,18	0,32

Fuente: Autor.

Agua problema Río Magdalena		Agua de la llave	
Tiempo 0		pH	6,62
pH	6,56	Conductividad Eléctrica (μs)	0,13
Conductividad Eléctrica (μs)	0,15	Turbidez NTU	0,00
Turbidez NTU	39,10		

$$\%de\ remoción = \frac{39,10 - 0,02}{39,10} \times 100\% = 99,9\%$$

Observaciones: Se observa que en el ensayo número 1 y 2 hay menos partículas suspendida y al momento de sedimentarse se nota que las aguas de estas muestras no presentan turbidez comparado con el ensayo 6

Tabla 12 Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 0,5 y 0,5ml de sábila

Ensayo	Concentración Coagulante	V(mL) Alícuota	Turbidez NTU	pH	Conductividad Eléctrica (μ s)
1	25 mg/L	2,5 ml	5,39	5,63	0,16
2	50 mg/L	5,0 ml	6,14	5,57	0,17
3	80 mg/L	8,0 ml	2,73	5,39	0,19
4	100 mg/L	10 ml	1,55	5,22	0,20
5	120 mg/L	12 ml	1,78	4,64	0,23
6	150 mg/L	15 ml	2,39	4,54	0,23

Fuente: Autor.

Agua problema Río Magdalena	
Tiempo 0	
pH	6,56
Conductividad Eléctrica (μ s)	0,15
Turbidez NTU	39,10

Agua de la llave	
pH	6,62
Conductividad Eléctrica (μ s)	0,13
Turbidez NTU	0,00

$$\%de\ remoci3n = \frac{39,10 - 1,55}{39,10} \times 100\% = 96,03\%$$

Tabla 13 Solución madre: 1 ml de sábila.

Ensayo	Concentración Coagulante	V(mL) Alícuota	Turbidez NTU	pH	Conductividad Eléctrica (µs)
1	25 mg/L	2,5 ml	12,65	6,81	0,15
2	50 mg/L	5,0 ml	10,51	6,75	0,15
3	80 mg/L	8,0 ml	11,02	6,69	0,15
4	100 mg/L	10 ml	11,34	6,59	0,15
5	120 mg/L	12 ml	12,31	6,66	0,15
6	150 mg/L	15 ml	11,32	6,59	0,14

Fuente: Autor.

Agua problema Río Magdalena	
pH	6,79
Conductividad Eléctrica (µs)	0,15
Turbidez NTU	44,78

Agua de la llave	
pH	6,62
Conductividad Eléctrica (µs)	0,13
Turbidez NTU	0,11

$$\%de\ remoción = \frac{44,78 - 10,51}{44,78} \times 100\% = 76,52\%$$

En las pruebas de teste de jarras se realizaron análisis con diferentes concentraciones de Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) en la solución madre y utilizando coadyuvantes de coagulación como lo fueron el almidón y la sábila o aloe vera, teniendo en cuenta los resultados obtenidos se evidencio que la dosis optima del coagulante comercial ($Al_2(SO_4)_3$) al 1% era de 120 mg/L con un % de remoción del 96,42, y con 1g de coadyuvante de almidón la dosis optima fue de 150

mg/L con un % de remoción del 98,84, con 1ml de coadyuvante de aloe vera o sábila, la dosis óptima fue de 50 mg/L con un % de remoción del 99,9.

7.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.

Se realizaron los análisis físico-químicos de las muestras de agua del Rio Magdalena.

Tabla 14. Tabla de análisis físico – químicos del Rio Magdalena.

MUESTRA	PARÁMETROS					
	FÍSICOS		QUÍMICOS			
	pH	TURBIDEZ (UNT)	CONDUCTIVIDAD (μ S)	CLORUROS	ALCALINIDAD	DUREZA*
				V(ml)AgNO ₃ -0.0142 N	V (ml) H ₂ SO ₄ - 0.1 N	V(ml)EDTA- 0.01 M
1a	6,82	54,00	0,13	1,6	0,6	N.D
1b	6,82	53,78	0,13	1,2	0,6	
1c	6,79	54,00	0,13	1,3	0,7	
1d	6,83	53,90	0,13	1,3	0,6	
PROMEDIO	6,82	53,92	0,13	1,4	0,6	
2a	6,94	58,00	0,17	1,2	0,5	
2b	6,91	58,00	0,17	1,4	0,5	
2c	6,89	57,54	0,17	1,3	0,6	
2d	6,93	59,11	0,17	1,2	0,6	
PROMEDIO	6,92	58,16	0,17	1,3	0,6	
3a	6,56	39,10	0,15	1,2	0,6	
3b	6,56	39,23	0,15	1,3	0,6	
3c	6,57	39,06	0,15	1,4	0,5	
3d	6,55	38,73	0,15	1,1	0,5	
PROMEDIO	6,56	39,03	0,15	1,3	0,6	

PROMEDIO TOTAL	6,76	50,37	0,15	1,3	0,6	N.D.
				26,0	115,0	
NORMATI VA	6,5 a 9,0	2	1000 µS	250	200	300

Fuente: Autor.

*No Detectado mediante la prueba volumétrica con EDTA al 0.01 M

La concentración de cloruros $\frac{mgCl^-}{l} = \frac{(1,3)*(0,0142)}{25} * 35450 = 26,18$

7.4. EQUIPO PARA ESTUDIO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

Tabla 15. Agua potable de la llave

HORA	CONDUCTIVIDAD ENTRADA	CONDUCTIVIDAD RESINA ANIONICA	CONDUCTIVIDAD RESINA CATIONICA
0 min	146,9 µS	143,1 µS	11,5 µS
15 min	147,0 µS	136,3 µS	3,7 µS
30 min	146,8 µS	134,4 µS	< 1 µS
45 min	417,3 µS	131,6 µS	< 1 µS
60 min	148,1 µS	180,1 µS	< 1 µS
90 min	146,2 µS	194,0 µS	< 1 µS
130min	147,0 µS	177,7 µS	< 1 µS

Fuente: Autor.

Tabla 16. Agua potable de la llave

HORA	CONDUCTIVIDAD ENTRADA	CONDUCTIVIDAD RESINA ANIONICA	CONDUCTIVIDAD RESINA CATIONICA
0 min	184,9 μ S	175,6 μ S	53,2 μ S
15 min	146,3 μ S	206,7 μ S	< 1 μ S
30 min	148,8 μ S	204,5 μ S	< 1 μ S
45 min	146,0 μ S	200,0 μ S	< 1 μ S
60 min	148,3 μ S	199,0 μ S	< 1 μ S
90 min	147,8 μ S	203,3 μ S	< 1 μ S
130min	147,4 μ S	206., μ S	< 1 μ S

Fuente: *Autor.*

Tabla 17 Agua del Rio Magdalena – Embarcadero de Girardot

HORA	CONDUCTIVIDAD AD ENTRADA	CONDUCTIVIDAD RESINA ANIONICA	CONDUCTIVIDAD RESINA CATIONICA
0 min	1032,4 μ S	244,7 μ S	40.1 μ S
15 min	1035,2 μ S	258,1 μ S	< 1 μ S
30 min	1036,9 μ S	257,7 μ S	5,3 μ S
45 min	1056,5 μ S	486,2 μ S	581,7 μ S
60 min	1053,1 μ S	702,4 μ S	2244,33 μ S

Fuente: *Autor*

7.5. RESULTADOS DEL DISPOSITIVO ECONÓMICO

Tabla 18. Filtro #1 CAPACIDAD MÁXIMA 1500ml

AGUA DE LA LLAVE

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVI DAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVI VIDAD FINAL (μ S)
69.21	0.15	0.15
72.62	0.15	0.15
69.53	0.15	0.15
72.09	0.15	0.15
69.45	0.15	0.15
70.88	0.15	0.15
69.20	0.15	0.15
71.89	0.15	0.15
72.12	0.15	0.15
69.80	0.15	0.15

AGUA AL 1% DE SAL DE MESA

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVI DAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVI DAD FINAL (μ S)
70.23	20,00	15,13
68.68	20,00	13,86
64.56	20,00	12,92
70.18	20,00	11,84
69.04	20,00	11,66
69,68	20,00	11,40
70,71	20,00	11,36
68,38	20,00	11,25
69,84	20,00	11,25
70,18	20,00	11,25

Fuente: Autor.

Tabla 19. Datos estadísticos del filtro #1

DATOS ESTADÍSTICOS	RESULTADOS
n (Cantidad de datos)	10
Media aritmética	12,19
Mediana	11,53

Moda	11,25
------	-------

Fuente: Autor.

Tabla 20. Filtro #2 Capacidad máxima 1500ml

AGUA DE LA LLAVE

AGUA AL 1% DE SAL DE MESA

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVI DAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVI DAD FINAL (μ S)
87.01	0,15	0,15
88.95	0,15	0,14
81.84	0,15	0,14
89.98	0,15	0,14
87.89	0,15	0,14
88.09	0,15	0,14
86.76	0,15	0,13
88.43	0,15	0,13
85.40	0,15	0,13
87.91	0,15	0,13

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVI DAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVI DAD FINAL (μ S)
86.92	20,00	15,60
85.42	20,00	15,49
82.63	20,00	15,09
90.84	20,00	14,78
84.63	20,00	13,55
83.44	20,00	13,37
86.64	20,00	13,32
84.32	20,00	12,52
85.82	20,00	12,18
87.22	20,00	11,53

Fuente: Autor.

Tabla 21. Datos estadísticos del filtro #2

DATOS ESTADISTICOS	RESULTADOS
n (Cantidad de datos)	10
Media aritmética	13,74
Mediana	13,46
Moda	NO APLICA

Fuente: Autor.

Tabla 22. Filtro #3 Capacidad máxima 1500ml

AGUA DE LA LLAVE

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVI DAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVI DAD FINAL (μ S)
91,86	0,14	0,13
90,76	0,14	0,13
91,40	0,14	0,13
90,90	0,14	0,13
91,12	0,14	0,12
90,55	0,14	0,12
91,66	0,14	0,12
89,95	0,14	0,11
90,02	0,14	0,11
91,25	0,14	0,11

Fuente: Autor.

AGUA AL 1% DE SAL DE MESA

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVI DAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVI DAD FINAL (μ S)
81.39	20,00	15,87
81.30	20,00	15,65
75.75	20,00	15,06
78.63	20,00	13,79
79.48	20,00	13,78
80.53	20,00	10,55
81.83	20,00	10,09
74,95	20,00	9,96
78.38	20,00	9,85
81.56	20,00	9,74

Tabla 23. Datos estadísticos del filtro #3.

DATOS ESTADISTICOS	RESULTADOS
n (Cantidad de datos)	10
Media aritmética	12,43
Mediana	12,17
Moda	NO APLICA

Fuente: Autor.

Tabla 24. Filtro completo

AGUA DE LA LLAVE - sistema de manguera

AGUA AL 1% DE SAL DE MESA

TIEMPO (minutos)	CONDUCTIVIDAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVIDAD AD FINAL (μ S)
0	0,14	0,19
15	0,14	0,18
30	0,14	0,16
45	0,14	0,16
60	0,14	0,15
75	0,14	0,14
95	0,14	0,13
110	0,14	0,13
125	0,14	0,13
140	0,14	0,13

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVIDAD INICIAL (μ S)	CONDUCTIVIDAD AD FINAL (μ S)
3:59.31	20,00	5,78
4:02.12	20,00	1,90
4:01.63	20,00	1,07
3:58.28	20,00	1,06
3:53.50	20,00	1,05
3:54.48	20,00	1,05
3:57.79	20,00	1,03
3:59.01	20,00	1,03
4:01.50	20,00	1,02
4:02.28	20,00	1,01

Fuente: Autor.

Tabla 25. Datos estadísticos del filtro completo

DATOS ESTADÍSTICOS	RESULTADOS
n (Cantidad de datos)	10
Media aritmética	1,60
Mediana	1,05
Moda	1,05

Fuente: Autor.

Tabla 26. Filtro completo con agua del Rio Magdalena.

AGUA DEL RIO MAGDALENA

TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)	CONDUCTIVIDAD INICIAL (μS)	CONDUCTIVIDAD FINAL (μS)
3:03.41	0,16	0,40
3:15.55	0,16	0,33
3:05.77	0,16	0,23
3:10.42	0,16	0,18
3:12.88	0,16	0,16
3:02.13	0,16	0,16
3:03.51	0,16	0,15
3:02.33	0,16	0,15
3:05.11	0,16	0,15
3:03.43	0,16	0,15

Fuente: Autor.

Tabla 27. Datos estadísticos del filtro completo con agua del Rio Magdalena.

DATOS ESTADISTICOS	RESULTADOS
n (Cantidad de datos)	0
Media aritmética	0,21
Mediana	0,16
Moda	0,15

Fuente: Autor.

Para el análisis de resultados con el dispositivo económico elaborado se realizaron tres ensayos los cuales fueron:

1. Agua de la llave
2. Agua con sal de mesa
3. Agua del rio Magdalena.

Con la elaboración de las pruebas se identificó que, con cada uno de los filtros, se obtuvo una reducción de conductividad eléctrica (CE) del agua problema, para el tratamiento del agua del Rio Magdalena se observó una baja reducción de conductividad eléctrica (CE) debido a que el agua no presentaba una alta concentración de cloruros, por tal motivo se implementó un ensayo con sal de mesa para obtener de esta manera una reducción más notoria en la conductividad eléctrica (CE) del agua.

8. COSTOS DEL DISPOSITIVO ECONÓMICO.

En la elaboración del dispositivo económico, se reutilizaron materiales encontrados en la obra Santa Rosa ubicada a las afueras del Espinal – Tolima con la autorización de la constructora SANTA ROSA, para de esta manera obtener materiales y disminuir los costos del mismo.

Tabla 28. Costos del dispositivo

Ítem	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Unión pvc de 4"	6	\$ 2.000	\$ 12.000
2	Buje pvc de 4" a 2"	6	\$ 2.100	\$ 12.600
3	Buje pvc de 2" a 1/2"	6	\$ 1.500	\$ 9.000
4	Adaptador macho	6	\$ 400	\$ 2.400
5	Llave universal	2	\$ 1.800	\$ 3.600
7	Tela liencillo	1	\$ 1.000	\$ 1.000
8	Teflón	2	\$ 400	\$ 800
9	Codos pvc de 1"	4	\$ 700	\$ 2.800
10	T pvc de 1"	16	\$ 1.000	\$ 16.000
11	Platina	6	\$ 3.000	\$ 18.000
12	Tornillos de 2" x 1/4 Ø	12	\$ 250	\$ 3.000
13	Remaches pop	40	\$ 50	\$ 2.000
14	Pegante de soldadura líquida pvc	1	\$ 5.200	\$ 5.200
	TOTAL			\$ 88.400,00

Fuente: Autor.

Se realizó una relación de los costos comerciales investigados en la plataforma digital de HOMECENTER.

Tabla 29. Costos comerciales en HOMECENTER

Ítem	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Unión pvc de 4"	6	\$ 4.900	\$ 29.400
2	Buje pvc de 4" a 2"	6	\$ 4.980	\$ 29.880
3	Buje pvc de 2" a 1/2"	6	\$ 1.900	\$ 11.400
4	Adaptador macho	6	\$ 1.900	\$ 11.400
5	Llave universal	2	\$ 9.900	\$ 19.800
7	Tela liencillo	1	\$ 9.000	\$ 9.000
8	Teflón	2	\$ 1.300	\$ 2.600
9	Codos pvc de 1"	4	\$ 900	\$ 3.600
10	T pvc de 1"	16	\$ 1.480	\$ 23.680
11	Platina	6	\$ 12.200	\$ 73.200
12	Tornillos de 2" x 1/4 Ø	12	\$ 500	\$ 6.000
13	Remaches pop	40	\$ 100	\$ 4.000
14	Pegante de soldadura líquida pvc	1	\$ 12.500	\$ 12.500
15	Tubos pvc de 4" x 30cm	1	\$ 12.400	\$ 12.400
16	tubos pvc de 1"	4	\$ 2.350	\$ 9.400
17	Llaves de paso 1/2"	4	\$ 4.900	\$ 19.600
18	Tubos pvc de 1/2" x 60 cm	1	\$ 2.350	\$ 2.350
	TOTAL			\$ 280.210,00

Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

La realización de las diferentes pruebas hechas en el laboratorio de agua del programa de ingeniería ambiental de la Universidad de Cundinamarca seccional Girardot, fueron tres fases; en la primera se hizo varias pruebas de test de jarras con diferentes concentraciones de sulfato de Aluminio, almidón y sábila, este test se realiza para obtener la dosis optima en el proceso de pretratamiento al agua problema y así obtener como resultado un porcentaje de remoción optimo, con este test de jarras se obtuvieron los parámetros de turbidez, pH y conductividad eléctrica del agua a tratar, obteniendo como resultados en la *tabla 6. Solución madre: $Al_2(SO_4)_3$ 1% y 1ml de sábila* una remoción del 99,9% y al utilizar en la *Tabla 8 Solución madre: 1 ml de sábila un 76.52%*.

Se realizó el análisis de los parámetros físicos- químicos del agua problema, estos resultados son vistos en la *Tabla 13. Tabla de análisis físico – químicos del Rio Magdalena.*, notando de esta manera que la turbidez del agua problema es de 50,37 UNT.

Luego en la fase dos, se implementó el uso del equipo para resinas de intercambio iónico a pequeña escala ubicado en el laboratorio, se realizaron pruebas para desionizar agua de la llave obteniendo como resultado de conductividad eléctrica entrando 146,9 μS y saliendo -1 μS ; en el momento en el que se realizaron las pruebas con el agua problema el equipo arrojó como resultado una conductividad de 1032,4 μS y después de 60min la conductividad de salida era de 2244,33 μS , por lo que las resinas catiónicas se saturaron debido al pH con el que había entrado el agua problema.

En la fase tres se evaluó la eficiencia del dispositivo económico donde se obtuvo como resultado la reducción de la conductividad eléctrica (CE) en el agua del Rio Magdalena donde la

CE inicial era del 0,16 y la CE final fue del 0,15, esto es debido a que se evidencia que en la muestra existen bajas concentraciones de sales.

Para un futuro en el dispositivo económico se es recomendable implementar una válvula de presión para que de esta manera se logre controlar el caudal de entrada al mismo.

ANEXOS

ANEXO A. Selección de materiales reciclados.



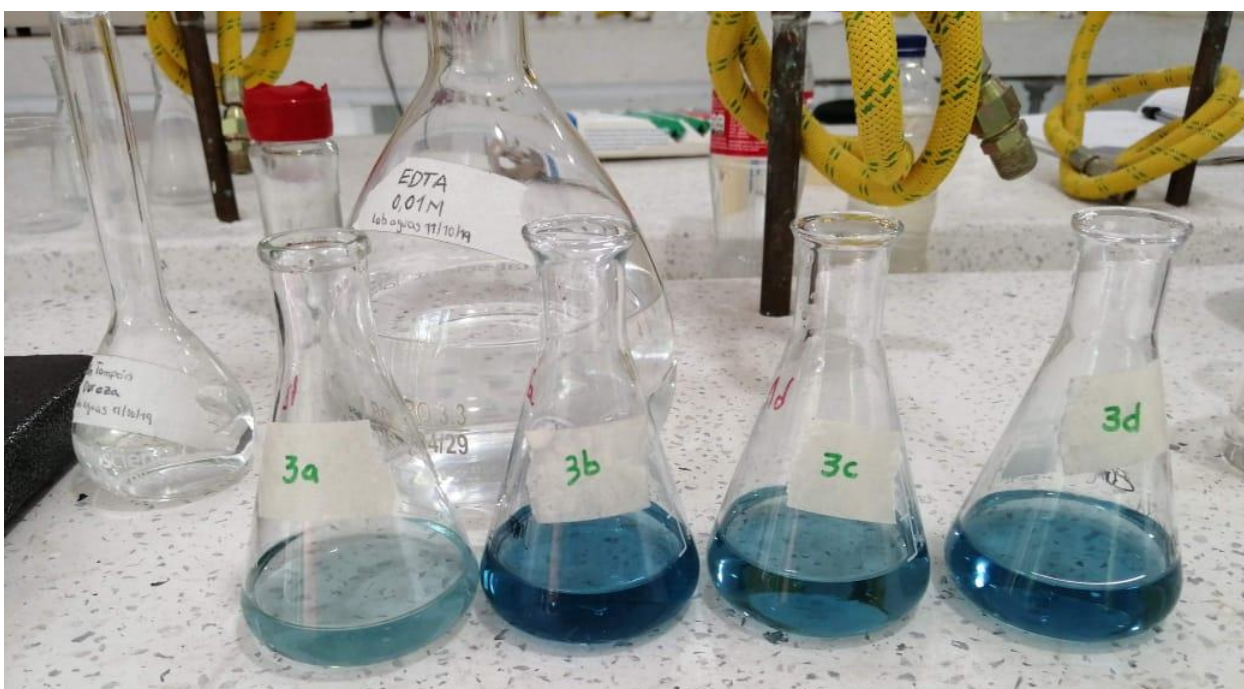
ANEXO B. Dispositivo económico.



ANEXO C. Titulación para cloruros.



ANEXO D. Titulación para Dureza.



ANEXO E. Titulación para Alcalinidad.



BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Girardot. (Noviembre de 2011). *Alcaldía de Girardot*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/girardotcundinamarcapotm2011.pdf>
- Alcaldía de Girardot. (2014). Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de <http://www.girardot-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Sistema%20de%20Gestion%20Ambienta%20Municipal%202016.pdf>
- Alcaldía de Girardot. (2014). *Alcaldía de Girardot*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de <http://www.girardot-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Sistema%20de%20Gestion%20Ambienta%20Municipal%202016.pdf>
- Anduaga Cota, Vicente. (1987). *Uso de la programación en el diseño práctico de columnas de intercambio iónico para tratamiento de aguas*. Universidad de Sonora - Escuela de Ciencias Químicas. Recuperado el 08 de 10 de 2019, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/992/Capitulo2.pdf>
- Aznar Jiménez, A., & Barba, Á. (28 de 09 de 2011). *Universidad Carlos III de Madrid*. Recuperado el 08 de 10 de 2019, de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Cormagdalena & IDEAM. (Noviembre de 2001). *IDEAM*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000051/EstudioAmbientaCMagd alena-Cauca.pdf>

CORMAGDALENA. (25 de Junio de 2013). Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de

http://dc02eja.cormagdalena.gov.co/recursos_user/PMA/Caracteriza%20R%C3%ADo%20Magdalena.pdf

El espectador. (29 de diciembre de 2009). *ABC para el ahorro de agua*. Obtenido de

<https://www.elespectador.com/articulo179606-abc-el-ahorro-de-agua>

García, F. A. (02 de Abril de 2009). *Cideteq*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de Cideteq:

https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/217/1/Combinaci%C3%B3n%20de%20electrodi%C3%A1lisis%20intercambio%20i%C3%B3nico%20y%20%20smosis%20inversa%20para%20desnitrificaci%C3%B3n%20de%20aguas%20potencialmente%20potables_rees.pdf

Generatoris S.A. de C.V. (s.f.). Conductividad. En *Manual de Operaciones y prácticas - equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala* (pág. 9). Recuperado el 15 de Agosto de 2019

Generatoris S.A. de C.V. (s.f.). Intercambio iónico. En *Manual de operaciones y prácticas - Equipo para estudio de resinas de intercambio iónico a pequeña escala* (pág. 3).

Recuperado el 08 de 10 de 2019

Gray, N. F. (1994). *Calidad del agua potable - Problemas y soluciones*. (I. E. López, Trad.)

Zaragoza, España: Acribia S.A. Recuperado el 04 de 11 de 2019

Guinea, J., Sancho, J., & Parés, R. (1979). *ánalisis microbiológico de aguas aspectos aplicados*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.

Instituto Nacional de Salud. (2011). Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de

<https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>

minvivienda. (2017). *Titulo C - Sistemas de potabilización*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de

<http://www.minvivienda.gov.co/Lists/ReglamentoAguaSaneamiento/AllItems.aspx>

MINVIVIENDA. (08 de 2018). Recuperado el 04 de 11 de 2019, de

<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/Plan%20Director.pdf>

Muñoz, D. (10 de 08 de 2015). *Academia.edu*. Recuperado el 10 de 10 de 2019, de

Academia.edu:

https://www.academia.edu/31032756/Obtención_y_análisis_de_agua_desionizada

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2015). *PNUD*. Recuperado el 14 de 09 de 2019, de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Universidad De Cundinamarca. (s.f.). Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de

<http://online.upaep.mx/LPC/online/apa/citasImp.pdf>

Zerquera, A., Pérez Ramos, G., Díaz Alfonso, I., Alba, S., & Leyva, R. (Diciembre de 2000).

RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA PROLONGAR. *SciELO*, 4. Recuperado el 06 de 11 de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152000000300007