ANÁLISIS DE CONCENTRACIONES DE MERCURIO, CROMO HEXAVALENTE EN AGUA DEL RIO MAGDALENA, COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO PARA CONSUMO HUMANO DE GIRARDOT- RICAURTE (CUNDINAMARCA) 2021

ISABELLA LARROTTA PAZ

JUAN JOSÉ AVILA TRIVIÑO

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2021

ANÁLISIS DE CONCENTRACIONES DE MERCURIO, CROMO HEXAVALENTE EN AGUA DEL RIO MAGDALENA, COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO PARA CONSUMO HUMANO DE GIRARDOT- RICAURTE (CUNDINAMARCA) 2021

ISABELLA LARROTTA PAZ

JUAN JOSÉ AVILA TRIVIÑO

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Oscar Efrén Ospina Zuñiga

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2021

Dedicatoria

Esta investigación esta dedicada a todas aquellas personas que la utilicen para futuras investigaciones, a cada estudiante que desee leerla para resolver dudas o usarla como antecedente para cualquier tipo de proyecto. De igual forma deseamos dedicar este documento a nuestros profesores y papas que nos apoyaron durante todo el proceso investigativo en nuestra carrera. Principalmente dedicamos este trabajo de grado a Dios quien nos dio la sabiduría para realizarlo.

Agradecimientos

Agradecemos inmensamente a Dios por permitirnos culminar esta etapa de nuestra vida, sin Dios no hubiésemos podido terminar nuestra carrera. Posteriormente agradecemos a nuestro tutor Oscar Efrén Ospina Zuñiga quien nos guio y explico como debíamos de realizar esta investigación, también agradecemos a nuestros profesores que nos apoyaron y estuvieron presentes en toda nuestra carrera, junto con los demás entes directivos como coordinación académica y decanatura.

Resumen

Este trabajo presenta los resultados del estudio realizado por la Universidad Piloto Seccional Alto Magdalena, en el 2020 y 2021, sobre el análisis de concentraciones de mercurio y cromo hexavalente en agua cruda y tratada del rio Magdalena, como fuente de abastecimiento para consumo humano de Girardot- Ricaurte (Cundinamarca), recolectando muestras en el punto de captación de la planta de tratamiento de agua potable PTAP, los muestreos se realizaron en temporada de lluvias y en temporada seca. Los resultados de cada muestreo se compararon con normativas ambientales nacionales e internacionales. Debido a que en investigaciones realizadas aguas arriba en municipios como Purificación, Tolima, en donde se demuestra que existen niveles por encima de la normativa ambiental de mercurio y cromo hexavalente en los sedimentos, se decide evaluar en Girardot y Ricaurte con fin de evaluar la remoción de estos sedimentos aguas arriba del municipio de Girardot y la región.

Tabla de contenidos

Introducción 6
Planteamiento Problema 8
Pregunta Problema 8
Justificación 9
Objetivo General 10
Antecedentes 11
Marco conceptual 17
Marco teórico 22
Marco Legal 33
Marco Geográfico 42
Metodología 49
Desarrollo de la Propuesta 50
Análisis de resultados 55
Bibliografía 62

Introducción

La presente investigación plantea la determinación de niveles de metales pesados como lo son el mercurio y cromo hexavalente en el agua cruda y tratada del rio Magdalena, Analizando su concentración y el cumplimento de la resolución 2115 de 2007, junto con el decreto 1575 de 2007, en donde se dictan los parámetros relacionados al consumo de agua potable y sus cuestiones sanitarias al consumo humano.

Según (Jessica Leal, 2018) el desarrollo de la sociedad reclama cada vez más agua, pero agua potable de buena calidad en los puntos donde se encuentra y capta, desgraciadamente se ha ido deteriorando día a día con el propio desarrollo, esto obliga a un tratamiento cada vez amplio y complejo técnicamente. Es derecho fundamental y un deber del estado, garantizar el acceso de agua potable como implemento fundamental del desarrollo del ser humano, para la supervivencia del individuo, de su familia y por sobre todo la niñez.

Con el fin de tener un ambiente en desarrollo sostenible, en donde se mitiguen impactos ambientales, esta investigación desea contribuir con el objetivo número 6 de la agenda 2030 de las ONU, denominado Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, que establece “El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. Hay suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño” (ONU, 2015)

Las localidades urbanas de Girardot y Ricaurte, se abastecen del río Magdalena, considerado como el principal afluente del país, caracterizado por estar expuesto en su cuenca alta por actividades antropogénicas mediante cultivos que usan agroquímicos para su mejoramiento, cuyos residuales pueden incorporase a esta fuente hídrica por efecto principalmente de escorrentía del agua de lluvia; tratándose de sustancias contaminantes como lo pueden ser el Mercurio y Cromo Hexavalente, que su consumo en concentraciones altas y durante un tiempo prolongado, puede incidir en la salud humana.

> La contaminación por metales pesados es una de las formas más peligrosas de contaminación del medio ambiente, ya que no son biodegradables (química o biológicamente), contrariamente a la gran mayoría de los contaminantes de tipo orgánico; además pueden ser acumulados en forma iónica o de compuestos orgánicos. (Campos C., 1990, pág. 21).

La razón por la cual los metales pesados llegan a las fuentes hídricas, por lo general es debido a interacción antropológica con los ríos o cuencas.

> Los metales pesados son usados en una amplia variedad de actividades antrópicas como los procesos industriales y la agricultura, generalmente, estos metales llegan al río y su sistema por medio de descarga directa, escorrentía o

> sus afluentes, una vez allí estos metales tienen la capacidad de transportarse gracias a sus características; unos se fijan al sedimento del río, otros se disuelven en sus aguas y terminan adheridos al suelo o absorbidos por plantas en los procesos de riego. (Saad, 2019)

Para su remoción del agua y por tratarse de sustancias disueltas, se requiere además del tratamiento convencional, utilizar procesos específicos no convencionales que pueden incidir en la aplicación de la tecnología y los costos en la estructura tarifaria de los usuarios. Es por eso por lo que es importante y también valioso realizar esta investigación.

Planteamiento Problema

La prestación de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado es necesaria para el abastecimiento de una comunidad o población, según lo establece la ley 142 del 11 de julio de 1994 que trata sobre los Servicios Públicos.

El río Magdalena dado su recorrido a lo largo del departamento del Huila y buena parte del Tolima, antes de abastecer el sistema de acueducto de Girardot-Ricaurte, recibiendo contaminantes de origen antrópico y natural que varían dependiendo de la época del año, de condiciones climáticas, de la implantación de nuevos proyectos agropecuarios, entre otros. Las temporadas secas caracterizadas por producir pérdida de pluviosidad y su consecuente disminución de caudal de fuentes superficiales, genera impacto en las condiciones de calidad de agua que en determinados casos implica el aumento de concentración de algunos contaminantes, como pueden ser algunos elementos disueltos como Mercurio y Cromo Hexavalente; caracterizadas por superar el proceso de tratamiento convencional del agua. En la reciente literatura científica se está asociando el efecto en la salud humana por consumo de agua con concentraciones elevadas de Mercurio y Cromo Hexavalente.

Pregunta Problema

¿Cuáles son los resultados del estudio de caracterización de las trazas de los metales como Mercurio y Cromo Hexavalente en el río Magdalena como abastecimiento para Girardot y Ricaurte?

Justificación

De acuerdo con la resolución 0330-2017 por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico R.A.S., así como la Resolución 2115 de 2007 y Decreto 1575 de 2007, se requiere la verificación de la calidad del agua usada para consumo humano, que para la presente investigación se refiere a Mercurio y Cromo Hexavalente, que en elevadas concentraciones pueden ser perjudiciales para la salud.

En la presente investigación se desarrollará sobre el contenido de Mercurio y Cromo Hexavalente en el agua del rio Magdalena, sitio de captación del sistema de abastecimiento de Girardot-Ricaurte (Cundinamarca).

Las condiciones de contaminación del río Magdalena como fuente de abastecimiento, pueden verse afectadas por temporadas secas cuyo efecto se manifiesta con disminución de caudal, modificando la concentración de algunos contaminantes y especialmente algunas sales disueltas, Mercurio y Cromo Hexavalente, que requieren ser analizados para evaluar su comportamiento con la normativa vigente, su trazabilidad, su potencial remoción en la planta de tratamiento e incidencia en la salud humana de la población. “Todo ello considerando que el agua para consumo debe cumplir con las condiciones físicas, organolépticas, químicas y microbiológicas establecidas por la Resolución 2115 de 2007” (Labrado, Sánchez, & Vidales, 2017); donde la única barrera para su remoción correspondiente “a una planta de tratamiento convencional: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección; cuya eficiencia puede ser menguada para este tipo de sustancias.” (Zuñiga, Murillo, & Toro, 2018)

Objetivo General

Analizar las concentraciones de Mercurio y Cromo Hexavalente, en el agua del rio Magdalena, como fuente de abastecimiento para los municipios de Girardot y Ricaurte.

Objetivos específicos

- Analizar registros históricos de caracterización de Mercurio y Cromo Hexavalente, del agua cruda del río Magdalena, aguas arriba del sitio de captación del acueducto de los municipios de Girardot y Ricaurte (Cundinamarca).
- Evaluar la condición presente de Mercurio y Cromo Hexavalente mediante muestreos de calidad de agua del río Magdalena, durante temporada seca y de lluvia.
- Plantear el tren de tratamiento más adecuado según la normativa vigente, para mitigar en caso de presencia este tipo de contaminantes.

Antecedentes

El agua al ser un recurso hídrico necesario para los seres humanos debe de estar en óptimas condiciones para no perjudicar la salud de las personas que lo consumen. Partiendo del principio que el agua no se puede encontrar 100% pura, debido a la capacidad que tiene de poder disolverse en cualquier sustancia, así que es muy fácil que el agua se contamine al tocar cualquier superficie. Cuando el agua entra en contacto con cualquier superficie o elemento que se encuentre en su ambiente, lo más probable es que arrastre diferentes componentes como lo pueden ser microorganismos, los cuales pueden ser protozoos, bacterias, o cualquier tipo de parasito que se encuentre en el ambiente, esta clase de microorganismos pueden afectar la salud humana; también el agua puede entrar en contacto con elementos solidos tales como metales, y entre otros elementos químicos.

Debido a que el agua no es 100% pura, debe de tener tratamiento previo para poder ser consumida por los seres humanos, este tipo de tratamiento elimina la mayor cantidad de contaminantes que puede llevar el agua, este proceso de potabilización se presenta por lo general en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), estas plantas de tratamiento son las encargadas de suministrar el agua a diferentes centros poblados, a través del acueducto de la comunidad o municipio.

Con base a investigaciones enfocadas en la calidad del agua en rio Magdalena se plantea lo siguiente:

> A partir de la información obtenida de agua cruda tanto de registros existentes como los realizados en la investigación, se evaluó el río Magdalena como fuente de abastecimiento para el sistema e acueducto urbano e Girardot-Ricaurte, bajo la consideración de su potabilización mediante las tecnologías convencionales existentes en la PTAP a cargo de la empresa ACUGYR E.S.P. Atendiendo la normativa internacional, según las características de calidad de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, establecidas en Directiva 75/440 (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2000), la categorización del río Magdalena como fuente de abastecimiento para consumo humano varío dependiendo de la concentración de Coliformes totales (C.T.) y fecales (C.F.). En el sitio de captación del acueducto d Girardot-Ricaurte, el río Magdalena corresponde a una fuente hídrica con calidad A3 que corresponde a una fuente requiere tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección, lo cual se puede lograr mediante los procesos de coagulación – floculación, sedimentación, filtración, afino con carbón activado y desinfección. (Rodríguez Dominguez & Herrera Ortiz, 2016)

El enfoque que tiene esta investigación es acerca de dos metales pesados los cuales son el Mercurio (Hg) y el Cromo Hexavalente (Cr6) que son muy nocivos para el cuerpo humano y la salud de las personas. Un metal pesado “según la tabla

periódica, es un elemento químico con alta densidad (mayor a 4 g/cm3), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas." (Londoño , Londoño, & Muñoz, 2016) La investigación se enfoca en los siguientes metales pesados tales como mercurio (Hg) y Cromo Hexavalente (Cr6).

Existen investigaciones a nivel mundial relacionadas con los daños que pueden ocasionar los metales pesados al ser consumidos, como la siguiente investigación realizada por Altahona y Movilla.

> El acontecimiento con mayor incidencia, ocurrió en 1956 en Minamata – Japón donde fue reconocida oficialmente la "enfermedad de Minamata" producida por el consumo de productos marinos contaminados con MeHg+, el cual era producido por actividades industriales de la ciudad de Minamata siendo efluente directo al medio acuático, los principales síntomas de la enfermedad incluían trastornos sensoriales, ataxia, contracción concéntrica del campo visual, desordenes auditivos y un mayor daño a mujeres embarazadas (Hatoyama, 2013)

> Entre 1986 Y 1999 evaluaciones del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y adecuación de Tierras HIMAT y el instituto colombiano de Geologia y Minería INGEOMINAS, encontraron en las aguas del río Magdalena (Tramo 1: Tarquí, Puente Santander, Puente Santander, Purificación, Nariño; Tramo 2: Puerto Salgar, Puerto Berrío, Peñas Blancas, Maldonado, San Pablo, Regidor; Tramo 3: Magangué, Calamar, Colpuertos), que metales como Pb (0,2-5,4 ppb), Hg (0,06-0,12 ppb), Cd (0,07-16ppb), Fe (30-133 ppb) Y Zn (9-23 ppb) se hallan en algunas áreas con concentraciones muy altas con respecto a los valores en aguas naturales y los permisibles internacionalmente. (Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006)

En cuanto a investigaciones relacionadas con el análisis de metales pesados en el rio Magdalena, se encuentra la siguiente investigación realizada por Lesly Tatiana Ortiz-Romero, Julia Graciela Delgado Tascón, Daniel Andrés Pardo Rodríguez, Elizabeth Murillo Perea y Antonio José Guio Duque; titulada "Determinación de Metales Pesados e Índices de Calidad en Aguas y Sedimentos del rio Magdalena – Tramo Tolima, Colombia" realizada en diciembre de 2015 y publicada en la revista científica Tumbaga. En donde se concluyó lo siguiente:

> Una consideración de importancia que debe tenerse presente es que la distribución de metales pesados en los sedimentos es afectada por la mineralogía y por la composición del material suspendido, por la actividad antrópica y por los procesos in situ, tales como la deposición, la absorción y el enriquecimiento por acción de los microorganismos. (Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo, & Guio, Revista Tumbaga, 2015)

Alejandra Fontalvo Cañas y José L. Marrugo Negrete realizaron una investigación denominada, metales pesados en sedimentos de la cuenca baja del río Magdalena en Colombia, realizada en el 2017 en donde dedujeron lo siguiente:

> Los sedimentos de la cuenca baja del río Magdalena constituyen un reservorio de metales pesados, el As, Cd y Cu sobrepasan los LMP de la CEQG. Se encontró

> una fuerte correlación entre metales y variables fisicoquímicas, indicando un origen común. Las fuentes de contaminación son de origen antrópico(FC >1), el IGEO indica que para algunos metales (Cr, Zn, Ni y Mn) los sedimentos se encuentran de fuerte a moderadamente contaminados por lo que se hace necesario monitorear estos puntos e implementar planes de mitigación ya que esta área es un ecosistema estratégico que sirve de reservorio de numerosas especies de fauna y flora, y permite el asentamiento de núcleos poblacionales que derivan sus actividades económicas de los recursos proporcionados por la cuenca del río. (Fontalvo & Marrugo, 2017)

De igual manera se encuentra un reporte periodístico realizado por el “El Tiempo” en donde se resalta lo siguiente:

> La investigación se emprendió con el propósito principal de conocer los contenidos y comportamientos de los llamados metales trazas o pesados en su estado soluble y como sedimentos en el río Magdalena.
>
> Aunque una de las características de los metales encontrados en el río consiste en que se encuentran en concentraciones muy bajas en la naturaleza y que no son peligrosos desde el punto de la toxicidad, sí presentan el problema de que son bioacumulativos. (Garcia, 1991)
>
> En Colombia se han realizado varios estudios desde la década de los 70. Se inició con una tendencia en conocer el estado de las concentraciones de metales pesados en aguas y sedimentos, posteriormente en peces y más recientemente en vegetación acuática y en mineros que aprovechan el oro de aluvión y de veta, así como en pescadores que aprovechan el recurso pesquero en las aguas de los diferentes ríos. Estudios pioneros fueron realizados por investigadores **del** desaparecido Instituto de Investigaciones Tecnológicas IIT, con el auspicio de Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas COLCIENCIAS y el apoyo de la industria nacional. Vale la pena citar los aportes de las investigaciones: Evaluación de la contaminación industrial (Cardeñosa et al., 1973), Investigación sobre el contenido de mercurio (Galiano-Sedano, 1976, 1977), Estudios sobre la contaminación de residuos industriales (Galiano-Sedano, 1979), en aguas de los ríos colombianos. (Saenz, 2016)
>
> El estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia fue realizado por la Universidad Nacional, sede Medellín (Mancera & Álvarez, 2006) donde especifican que las concentraciones de metales pesados conocidas se encuentran en la cuenca del río Magdalena, especialmente en la región de la Mojana y en las ciénagas del sur del departamento de Bolívar donde se han estudiado los niveles de contaminación por mercurio. (Hatoyama, 2013)
>
> La organización mundial de la salud en 1958 estableció que para agua potable el nivel de cromo hexavalente debía de ser de 0,05 mg/l, se realizaron diversos estudios para cambiar esta medida de referencia, pero no se aprobaron, por lo que

> aún sigue pendiente el tema de poner un nuevo valor para el Cr+6 debido a su capacidad de generar cáncer (Sanchez, 2016)
>
> El cromo hexavalente puede causar daño hepático, problemas reproductivos y problemas de desarrollo. En el 2008, una investigación del Programa Nacional de Toxicología y otros organismos llevó a la Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud Ambiental de California a la conclusión que causa cáncer en humanos. (Fluence News Team, 2020)
>
> Investigadores del CREAL, centro de investigación de la alianza ISGlobal, acaban de publicar, en la revista International Journal of Environmental Research and Public Health, un estudio que concluye que la exposición a cromo a través del agua potable, calculada a partir de los niveles en agua y la ingestión individual obtenida por cuestionarios, se asociaba con los niveles de cromo en sangre y pelo, y también con ciertos parámetros hematológicos y bioquímicos. (Instituto De Salud Global de Barcelona, 2014)

En el departamento del Tolima en el año 2015, se realizó una investigación enfocada en la calidad de agua del rio Magdalena en donde realizaron los siguientes muestreos:

> Se trabajó con 4 “muestras integradas”, las cuales resultaron de la mezcla de varias muestras individuales recogidas simultáneamente en cada uno de los municipios de Purificación (N:3º46’3.7’’ W:74º55’21.8’’), Flandes (N:4º16’37.3’’ W:74º49’49.5’’), Ambalema (N:4º46’37.4’’ W:74º46’2.7’’) y Honda (N:5º12’34.9’’ W:74º44’3.4’’), principales puertos pesqueros y agrícolas del Tolima sobre el río Magdalena , en un punto medio de la corriente principal y en donde la velocidad fuera máxima (50-100 cm de profundidad). Se empleó una draga tipo Van Veen Grab para muestrear en forma integrada los sedimentos, los cuales se colocaron en bolsas herméticamente cerradas. Muestras de agua y sedimento se rotularon, almacenaron y refrigeraron (4°C) para su traslado al laboratorio. Los muestreos se centraron en la temporada de aguas altas (período de lluvias - mes de enero) y en la temporada de aguas bajas (período de sequía - mes de junio) (Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo, & Guio, 2015)

La investigación realizada en Tolima sirve como precepto e iniciativa para la realización de la presente investigación. En esa investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

Estación	Matriz	Temporada Aguas Altas				Temporada Aguas Bajas			
		Cd	**Cr**	**Pb**	**Hg**	**Cd**	**Cr**	**Pb**	**Hg**
Purificación	Agua	<0,01	<0,01	0,19±0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,13±0,05	<0,01
	Sedimento	0,05±0,05	0,04±0,05	36,0±0,05	0,016±0,05	0,11±0,05	<0,01	3,00±0,05	0,04±0,05
Flandes	Agua	<0,01	<0,01	0,16±0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,11±0,05	<0,01
	Sedimento	0,04±0,05	0,05±0,05	19,0±0,05	0,014±0,05	0,11±0,05	0,019±0,05	29,0±0,05	<0,01

Tabla 1 Concentraciones de metales pesados (mg/Kg) en muestras de agua y sedimento del río Magdalena-Tramo Tolima
Fuente: Revista Tumbaga 2015 |10| Vol. 2; 43-60

En cuanto a lo relacionado con metales pesados, la investigación concluyo lo siguiente:

> Cabe anotar que la normatividad ambiental colombiana (Min.Salud, 1998; Min. Protección social, 2007) fija criterios de calidad admisibles en la destinación del recurso hídrico y establece valores máximos permisibles para las características organolépticas, físicas, químicas y para los diferentes metales pesados (Cr, Cd, Pb y Hg), entre otros. Sobre esta base se pudo establecer que las muestras de aguas analizadas reportan concentraciones dentro de los valores permisibles. (Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo, & Guio, 2015)
>
> Pocos trabajos han sido reportados relacionados con la presencia de metales pesados en las aguas del río Magdalena-tramo Tolima. Unas pocas investigaciones se han preocupado por estudiar el efecto de estos contaminantes en los peces que habitan en este río en su paso por el Tolima. (Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo, & Guio, 2015)

La presencia de metales pesados como lo son el cromo hexavalente y el mercurio no es tan significativa al llegar a Girardot, según estudios mencionados anteriormente realizados en tramos aguas arriba de la desembocadura del río Bogotá, cuando el río Bogotá desemboca en el río Magdalena es donde empieza a ver presencia de múltiples contaminantes entre ellos los metales pesados. Esto se evidencia en los peces que habitan aguas debajo de la desembocadura de río Bogotá.

> Aunque la concentración más alta encontrada de mercurio en Pimelodus clarias no alcance los límites aceptados internacionalmente de 0,5 µg/g para considerarlos como peces no aptos para el consumo humano, se debe disminuir la pesca en esta zona y el consumo de alimentos contaminados con mercurio ya que puede bioacumularse en ciertos órganos del cuerpo humano generando con el tiempo, graves problemas de salud. (Mahecha Bernate, Bernal Castro, & Ramírez Calderón, 2020)

A pesar de no mostrar niveles altos de mercurio y cromo hexavalente en las aguas del rio Magdalena, existen investigaciones que muestran niveles altos de estos metales tóxicos en los peces del rio Magdalena, La presencia de metales pesados como el mercurio en peces, se debe a la bioacumulación, esto debido al constante consumo de cantidades mínimas pero que con el paso del tiempo se acumulan en el organismo del animal, como lo es la siguiente investigación en se evalúo diferentes especies de peces en la cuencas alta, media y baja del rio.

> Para el total de las especies ícticas colectadas, las concentraciones de mercurio en la muestra de tejido muscular tuvieron un valor promedio de 0,338 ± 0,517 ppm con un valor mínimo de 0,034 ppm correspondiente a Triportheus magdalenae y un máximo de 4,580 ppm perteneciente Roeboides dayi. Los valores más altos de mercurio se encontraron en especies carnívoras caso contrario para las herbívoras y omnívoras. Las concentraciones de Hg en algunas especies son altas, de los 129 individuos 54 exhibieron valores altos de mercurio 38 pertenecen a hábitos carnívoros y 16 entre omnívoros y herbívoros, sin embargo, las concentraciones promedio de mercurio la presentó las especies R. dayi y A. pardalis 1,759 y 1,416 ppm respectivamente, en tanto, las otras especies exhibieron concentraciones promedio inferiores a 0,436 ppm de Hg, con lo anterior se establece que se presentaron valores por encima del límite permisible. (Lancheros, 2014)

Existe otra investigación realizada por la universidad Cundinamarca en donde evalúan la presencia de mercurio en la desembocadura del rio Bogotá al rio Magdalena, en los sedimentos y en la especie Pimelodus clarias.

> Los análisis de mercurio se realizaron mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica y se utilizó el programa Past para las interpretaciones estadísticas. Los resultados muestran una concentración media de mercurio en 25 muestras de peces analizadas de 0,042 ± 0,044 mg/Kg, con un valor mínimo de < 0,001 mg/Kg y un valor máximo de 0,165 mg/kg, la relación que tiene la concentración de Hg vs Talla es (r: -0.20) (p: 0.32) y la de Hg vs peso es (r: -0.16) (p: 0.44). En los sedimentos se encontraron bajas concentraciones de mercurio, por otra parte, se establece que son viables para cultivos debido a una alta CICE de 34,69 cmol (+)/Kg. En conclusión, aunque la concentración más alta encontrada de mercurio en Pimelodus clarias no alcance los límites aceptados internacionalmente de 0,5 µg/g para considerarlos como peces no aptos para el consumo humano, se debe disminuir la pesca en esta zona y el consumo de alimentos contaminados con mercurio. Además, se considera que lo más importante de este estudio no son las concentraciones, sino haber determinado la presencia de este metal altamente toxico para el ser humano lo que puede llegar a convertirse en un problema salud pública en la región. (Mahecha, Bernal, & Ramírez, 2017)

Marco conceptual

El ciclo del Agua:

> La radiación solar es la fuente de energía del ciclo del agua. El calentamiento de los océanos, mares, cuerpos de aguas interiores y del suelo por la energía solar genera la evaporación del agua. El vapor asciende a las capas superiores de la atmosfera y, al encontrarse con núcleos de condensación, cambia de estado físico y forma las nubes, las cuales eventualmente se precipitan en forma de lluvia sobre los océanos y el medio terrestre. En este medio el agua tiene diferentes destinos: una parte escurre hacia los ríos, los cuales pueden desembocar al mar o en cuerpos interiores, otra parte es aprovechada por las plantas y las diversas formas de vida, otra más se infiltra para formar el agua subterránea que puede o no llegar al océano (Fernando, Rosa, & Roberto, 2008)

Agua cruda: "Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas". (Cordero & Ullauri, 2011)

Agua potable: "Es el conjunto de tratamientos que permiten que el agua sea apta para el consumo humano y pueda beberse con garantía de calidad." (Arroyo Sancho & Pablo Aranda, 2010)

Calidad del agua: "Puede estar definida no sólo en términos de las características y requerimientos del sistema hídrico que suministra el agua, sino también de acuerdo con los requisitos exigidos a los efluentes que se descargan en el cuerpo receptor." (Chang Gómez, 2009)

Metales pesados: "son tóxicos ambientales muy peligrosos. Sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, todo lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil." (Rodríguez Heredia, 2017)

> Los metales son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicamente. Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características fisicoquímicas (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)

"Debido a su origen natural y a su uso milenario como materias primas, los metales pesados no fueron considerados contaminantes peligrosos sino hasta la segunda mitad del siglo XX." (Fernando, Rosa, & Roberto, 2008)

Mercurio:

Tiene un origen magmático, emanando como un producto de desgasificación a lo largo de fallas profundas, proceso que continua en la actualidad. De este modo, el mercurio inicia su ciclo geoquímico pasando a la corteza terrestre y de esta al aire, al agua y suelos, para pasar posteriormente a las plantas y a los animales y, por último, al hombre. Posteriormente el mercurio y sus compuestos reinician el ciclo en sentido inverso, en formas: sólidas, disueltas, absorbidas, gaseosa. Esto último se explica porque este metal posee algunas propiedades únicas que le permiten tener una gran y fácil movilidad en diferentes medios físicos y químicos. El mercurio se encuentra principalmente en la Naturaleza como cinabrio rojo (HgS) y también como metacinabrio negro (sulfuro mixto). Estos dos sulfuros de mercurio pueden encontrarse en cantidades apreciables en yacimientos de otros sulfuros como piritas (sulfuro de hierro), rejalgar (sulfuro de arsénico), estibina (sulfuro de antimonio) y otros sulfuros de zinc, cobre y plomo. (Montenegro & Arturo, 2001)

Metilmercurio (CH_3Hg)

En ambientes acuáticos, el Hg inorgánico se transforma principalmente a través de microorganismos en un compuesto orgánico lipofílico (CH3 Hg), gracias al enlace C-Hg presente en las moléculas de CH3 Hg que se forman, esta característica lo hace más propenso a la biomagnificación en las cadenas alimenticias (Vargas & Marrugo, 2019)

Planta de tratamiento de agua potable:

"Es el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable." (Alcaldía de Medellin, 1998)

Se construyen en acero, mampostería o concreto, cerca de los yacimientos de agua para purificarla y ofrecerla para el consumo de comunidades o campamentos obreros que no tienen acceso a una fuente municipal de agua como las que hay en las ciudades o municipios pequeños y medianos. Las normas ISO certifican que este tipo de planta de tratamiento de agua potable estén diseñadas para un óptimo manejo, mantenimiento, envío e instalación. (Acutecnica S.A.S, 2016)

Para el desarrollo de una planta de tratamiento de agua potable es necesario tener en cuenta estudios y diseños de los componentes de un sistema de potabilización de agua, dirigido ya sea a la construcción de obras nuevas, ampliaciones y/u optimización de las ya existentes: prefiltros, microtamices, trampa de grasas, aireadores, unidades de mezcla rápida, floculadores, sedimentadores, flotación, filtración, desinfección, estabilización, ablandamiento, adsorción sobre carbón activado, desferrización, desmagnetización, manejo de lodos, tanque de contacto del desinfectante, dispositivos de control de las unidades de la planta e instrumentación, laboratorios, salas de dosificación, almacenamiento de los productos, igualmente se deben referenciar los productos químicos que pueden ser empleados en el tratamiento de agua potable. (Javier & Augusto, 2017)

Cromo:

Pertenece a los metales de transición, también llamados elementos de transición. En este grupo de elementos químicos, se encuentran aquellos situados en la parte central de la tabla periódica, concretamente en el bloque d. Entre las características que tiene el Cromo, así como las del resto de metales de transición se encuentra la de incluir en su configuración electrónica el orbital d, parcialmente lleno de electrones. Así mismo tienen como su elevada dureza, el tener puntos de ebullición y fusión elevados y ser buenos conductores de la electricidad y el calor. (Concha & Garcia, 2017)

Cromo Hexavalente:

se refiere a compuestos químicos que contienen el elemento cromo en el estado de oxidación 6. Prácticamente todo el mineral de cromo se procesa a través de cromo hexavalente, específicamente la sal de dicromato de sodio. Otros compuestos de cromo hexavalente son trióxido de cromo y diversas sales de cromato y dicromato. El cromo hexavalente se utiliza para la producción de acero inoxidable, colorantes textiles, conservación de la madera, de cuero curtido, y como recubrimientos anticorrosión y conversión, así como una variedad de usos de nicho. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2010)

La contaminación del agua:

Es 'la introducción de una o varias sustancias ajenas al agua que se han ido acumulando directa o indirectamente hasta el punto de generar un desequilibrio en la vida de los seres vivos'. Esto último genera cierta preocupación ya que sin agua el planeta no puede sobrevivir, por ello os voy a mostrar cuales son algunas de las causas y consecuencias de la contaminación de este recurso. (Asociación Geoinnova, 2019)

Agua potable:

Es normalmente garantizada por las autoridades, y su existencia es absolutamente esencial para asegurar la presencia de población en un lugar determinado. Existen normativas de calidad que se deben cumplir para el agua potable en todos los países y ésta no puede provenir de cualquier fuente. La definición legal de agua potable consiste en proporcionar una lista de compuestos y asociarlos con un nivel tolerable. Desde el punto de vista práctico, la cantidad de sustancias seleccionadas debe ser limitada. En las legislaciones de los diferentes países se consideran entre 80 y 130, a pesar de que se sabe que el número de compuestos sintéticos que el hombre maneja es mayor que 70.000, y para muchos de ellos se desconoce el grado de toxicidad. De esta manera, aun cuando un agua pueda cumplir con las normas de potabilización no se puede asegurar que no exista algún otro contaminante. Cabe mencionar, que los criterios de calidad para agua potable han sido desarrollados tomando en cuenta el empleo de agua de primer uso o sin contaminación por tóxicos sintéticos. (Fernández, 2012)

Contaminación por aguas residuales:

Se debe en gran parte, a que el país ha priorizado las inversiones en infraestructura y abastecimiento de agua potable sobre las inversiones en alcantarillado sanitario, en adición a lo antes mencionado, el rezago de las inversiones en el campo del alcantarillado sanitario ha ocasionado un serio deterioro ambiental, sobre todo en el Área Metropolitana producto del crecimiento demográfico y la conformación de grandes conglomerados urbanos, siendo visible los efectos negativos en los cauces de los ríos, quebradas o lagos. (Solano Arce, 2011)

Contaminación en el medio ambiente:

La contaminación ambiental es una alteración indeseable en las características física, químicas o bilógicas del aire, el suelo y el agua que pueden o no afectar adversamente la vida humana en cuanto a su salud, amenazar sus actividades de supervivencia, modificar sus recursos culturales y afectar la supervivencia de otras especies deseables. (Latorre Estrada, 1994)

El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto es silencioso, no se ve, y cuando nos damos cuenta del daño que producen, ya es tarde y sobre todo que son peligrosos para la salud. Felizmente se están tomando medidas, aunque ha costado mucho que algunos países industrializados apliquen estas. (EROSTEGUI, 2009)

Contaminación por industrias mineras:

La contaminación por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, el oro, la plata y el zinc, contenidos en las rocas excavadas o expuestos en vetas en una mina subterránea, entran en contacto con el agua. Los metales son extraídos y llevados río abajo, mientras el agua lava la superficie rocosa. Aunque los metales pueden ser movidos en condiciones de pH neutral, la lixiviación es particularmente acelerada en condiciones de pH bajo, tales como las creadas por el drenaje ácido de la minería. (Revilla, 2018)

Metacinabrio:

Es un polimorfo poco común del cinabrio mineral, que se forma en un sistema de cristal diferente, además de sus formas de cristal, el metacinabrio también difiere visualmente del cinabrio, que tiene un brillo metálico, color gris y falta de transparencia y este se usa como un mineral menor de mercurio en los depósitos de mercurio. (Mineriaenlinea, 2019)

Biomagnificación:

La biomagnificación de ciertos contaminantes químicos a través de las cadenas tróficas implica un riesgo para la conservación de las especies afectadas y problemas de seguridad alimentaria y salud pública, este

consiste en el aumento sucesivo de los niveles de contaminantes químicos persistentes según se sube de nivel trófico. (Estival, 2019)

Bioacumulación: “Es el proceso por el cual los químicos entran a los organismos desde el agua, a través de las branquias o tejido epitelial y son acumulados” (Hopkins, Tatara, Brant, & Jagoe, 2003)

Análisis físico – químico del agua: “Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.” (Aguilera Bulla, 2013)

Calidad del agua: “Puede estar definida no sólo en términos de las características y requerimientos del sistema hídrico que suministra el agua, sino también de acuerdo con los requisitos exigidos a los efluentes que se descargan en el cuerpo receptor.” (Chang Gómez, 2009)

Sedimentos:

Los sedimentos ribereños están constituidos principalmente por la fracción sedimentable, orgánica y mineral de los sólidos suspendidos y por los desechos celulares de la actividad bacteriana, producidos en la oxidación de compuestos orgánicos biodegradables que ingresan al cauce por aporte de aguas domésticas y escorrentía superficial (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, & Borbón, 2012)

Marco teórico

El agua, siendo un suplemento vital para el desarrollo y sostenibilidad de la humanidad, se hace necesaria contar con ella para el surgimiento de la vida en una población determinada.

“Un estudio realizado por la Revista Portafolio determinó que solamente el 60% de los colombianos cuentan con un servicio digno de agua potable en sus viviendas en el año 2014” (Corte constitucional republica de Colombia, 2014).

> Esta cifra demuestra como el Estado no ha logrado dar calidad de vida a todos los habitantes del país, ya que alguna parte de ella no cuenta con servicio de acueducto y alcantarillado adecuado. De esta problemática recaen otros trastornos como la proliferación de mosquitos, de enfermedades, de malos olores, entre otros, los cuales imposibilitan y vulneran el bienestar de los habitantes. (Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo, & Guio, 2015)

> Actualmente, los problemas relacionados con la cantidad y la calidad del agua del planeta se agravan dramáticamente, pues, a pesar de contar con una gran cantidad de agua, la mayor parte de ella es salada y, por lo tanto, su uso es limitado. (Fernando, Rosa, & Roberto, 2008)

Las localidades urbanas de Girardot y Ricaurte, se abastecen del río Magdalena, considerado como el principal afluente del país, caracterizado por estar expuesto en su cuenca alta por actividades antropogénicas mediante cultivos que usan agroquímicos para su mejoramiento, cuyos residuales pueden incorporase a esta fuente hídrica por efecto principalmente de escorrentía del agua de lluvia; tratándose de sustancias disueltas: Mercurio y Cromo Hexavalente, que su consumo en concentraciones altas y durante un tiempo prolongado, puede incidir en la salud humana.

Para su remoción del agua y por tratarse de sustancias disueltas, se requiere además del tratamiento convencional, utilizar procesos específicos no convencionales que pueden incidir en la aplicación de la tecnología y los costos en la estructura tarifaria de los usuarios.

> Un contaminante es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente, y generalmente, se genera como consecuencia de la actividad humana. (MINAM, 2016)

El rio Magdalena a lo largo de la historia ha sido preponderante en el comercio y el intercambio de bienes: transporte, trueque, importaciones, exportaciones, y pesca.

En su mayor parte la población se ha localizado a la orilla del rio magdalena, además en

> El aumento del desarrollo de las actividades antropogénicas se producen residuos sólidos, líquidos y gaseosos que se vierten a las aguas del rio, la mayor parte de los contaminantes del agua de este rio proviene de la actividad industrial, minera, agrícola, y domestica de la ciudad de Girardot, Flandes y también proviene de la ciudad de Bogotá, ya que esta ciudad tiene sus vertimientos en el rio Bogotá y este desemboca en el rio Magdalena. (Labrado, Sánchez, & Vidales, 2017)

El rio Magdalena es la fuente importante para el desarrollo de la capital, con el transcurrir del tiempo se ha ido desaprovechando más el beneficio de sus aguas, está la zona industrial del atlántico, forja de contaminantes al medio que sustenta al sector, destruyendo así la imagen, el abastecimiento y un lugar que prospera algo. “El rio Magdalena es, sin duda, el gran río de Colombia surca la nación de sur a norte a lo largo de 1.600 kilómetros” (Ordónez, 2015). “En su paso por los municipios de Purificación, Flandes, Ambalema y Honda, el río recibe una fuerte contribución al deterioro de su calidad hídrica como una consecuencia de las labores agrícolas y de pesca en ellos desarrolladas.” (Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo, & Guio, Revista Tumbaga, 2015)

> Al menos nueve de cada diez de estos municipios le arrojan directamente, los desechos de los mataderos locales, altamente contaminantes. Y a pesar de que el Magdalena es uno de los ejes del negocio de hidrocarburos en el país (especialmente en la zona de Barrancabermeja), ningún ente gubernamental y/o ambiental tiene en cuenta los derrames que se han presentado sobre las aguas del rio. (Labrado, Sánchez, & Vidales, 2017)

Entre los objetivos del convenio corporación Cormagdalena y el IDEAM, se constituye en su elemento orientador y motivacional, el de aportar elementos que permitan apoyar los procesos de ordenamiento ambiental, hídrico y territorial de los municipios, regiones, cuencas y departamentos, con énfasis en áreas críticas de competencia de Cormagdalena, así mismo se busca que el trabajo determine, mediante indicadores áreas, desde la perspectiva ambiental, social y económica en la cuenca y que, por supuesto, conformen las zonas prioritarias para la acción.

La presente investigación se realiza con el fin de determinar la presencia de metales pesados en las aguas del rio Magdalena en el municipio de Girardot,

> nace en el extremo suroccidental del país, a 3.685 metros de elevación, en la laguna de la Magdalena, localizada a los 01º 55’ 40” de latitud norte y 76º 35’ 08” de longitud oeste, ubicada en una pequeña planicie del Páramo de las Papas, correspondiente al Macizo colombiano, en el Departamento del Huila. Su longitud, según la fuente, varía de 1.528 a 1.600 km, de los cuales 886 son navegables. En el Estrecho, el lugar donde el río es más angosto mide 2.20 metros de ancho y en el municipio de Plato, Magdalena, tiene una anchura de 1.073 metros. Vierte sus aguas en el mar Caribe, en el sitio conocido como Bocas de Ceniza, a los 11º 06’ de latitud norte y 74º 51’ de longitud oeste. (Bernal Duffo, 2013)

Para esta investigación se realiza una consulta de algunos temas de contaminación por metales pesados, los cuales son Mercurio y Cromo Hexavalente en el agua.

> El incremento de concentración en las aguas de estos compuestos se debe principalmente a la contaminación puntual de origen industrial y minero, los vertederos de las aguas residuales pueden ser asimismo una fuente de contaminación, hay que señalar también que en algunos casos existen aguas que sufren en un proceso de enriquecimiento natural en metales pesados al atravesar acuíferos formados por rocas que contienen su composición. (Labrado, Sánchez, & Vidales, 2017)

Con el pasar del tiempo y la llegada de más industrias al país, a la región y al pueblo, de la misma forma se ve el aumento de la contaminación de los ríos y mares e incluso las quebradas de donde muchas personas se abastecen para riegos de campo y muchas veces para el consumo humano e hidratación de animales sin saber que muchas de estas aguas están siendo o son contaminadas por minerales pesados arrojado son muchos casos por algunas plantas de producción de insumos o incluso por minerías que en muchos casos son ilegales y que su sistema de vertimiento de aguas es precario, generando una contaminación adicional a los ríos y quebradas a que en muchos sitios donde no se tiene una PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales), generando una contaminación adicional, pues en muchos casos este tipo de aguas de igual forma sueltan sustancias químicas o minerales. Si estas aguas contaminadas llegan a consumirse pueden llegar a generar una gran afectación en la salud del ser humano, que lo podrían llevar incluso a la muerte.

En la actualidad se han realizado varios estudios a aguas contaminadas por metales, pero su descontaminación requiere un proceso químico el cual en muchos casos no se tiene a la mano y puede llegar hacer muy costoso, se tomó como segunda opción las plantas macrofitas, pero muchas de estas plantas no absorben lo siguiente para generar una descontaminación parcial que puede llegar a una descontaminación total de sus aguas.

“Los metales pesados son, en general, tóxicos para los seres humanos, y además su característica de ser bioacumúlatelos (no pueden ser eliminados por el cuerpo) provoca que las concentraciones permitidas en el agua de consumo humano sean muy pequeñas.” (Labrado, Sánchez, & Vidales, 2017)

“Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio.” (Izquierdo & Verástegui, 2017)

“La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años.” (Ortega, 2015)

> Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia: los médicos griegos y romanos ya diagnosticaban síntomas de envenenamientos agudos por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en ciencia. (Revista Consumer, 2008)

> La concentración de metales en sedimento generalmente es de tres a cinco veces mayor a los niveles presentes en agua, estando su concentración en función de su composición química y mineralógica. Los sedimentos contienen sustancias, tales como arcilla, ácido húmico, materia orgánica y óxidos de hierro y manganeso, entre otros, que forman complejos con los iones metálicos, siendo la formación de complejos de metal materia orgánica y la adsorción de metales a granos finos mecanismos importantes para el transporte y dispersión de los metales en el ambiente acuático. (Ávila , y otros, 2014)

Mercurio

La gran mayoría de personas están expuestas a cierta cantidad de mercurio, aunque no en dosis muy altas, por ende, no es tan notorio en su organismo o no afecta la salud de las personas. Cuando se excede este límite accesible por el cuerpo humano de mercurio, se presentan distintas enfermedades en el cuerpo humano.

Existen diversas maneras por las cuales el ser humano puede inducir o consumir el mercurio, mediante la inhalación, en donde se afecta el sistema nervioso central y el periférico, de igual forma afecta al sistema digestivo; por otro lado, las sales de mercurio inorgánicas son corrosivas para los ojos, el tracto respiratorio y la piel, provocan molesticas e incluso pueden llegar a producir cáncer en el estómago.

> Se ha creído que los efectos nocivos de la exposición a largo plazo al Mercurio elemental son causados por inhalación. Sin embargo, el mercurio líquido y el vapor de mercurio son absorbidos a través de la piel en pequeñas cantidades y esta ruta de exposición puede contribuir a la exposición general. Los efectos que siguen a la absorción por medio de la piel son similares a los reportados por inhalación a largo plazo. (Zambrano Cárdenas, 2014)

“Durante seis años, científicos del Himat y de INGEOMINAS, financiados por Colciencias, estudiaron el comportamiento del río y llegaron a la conclusión de que el mercurio tiene hasta 70 días de vida media en los cuerpos.” (Patiño, 2014)

El metilmercurio o mercurio puede no solo aparecer en los cuerpos de agua gracias a las intervenciones antropogénicas en el ecosistema, este metal también puede ser hallado en cuencas debido a las diferentes condiciones climáticas o ambientales. El suelo aledaño a la cuenca puede contener altos niveles de minerales y metales, debido a las temporadas de lluvia estos sedimentos son arrastrados el crecimiento del cauce, provocando un alta concentraciones de minerales y metales en el agua del cuerpo de agua.

> Debido al comportamiento aleatorio de este metal, algunas veces no es claro si las altas concentraciones de mercurio, encontradas en un determinado ecosistema, son por causas naturales o por factores antropogénicos. Este fenómeno ha sido analizado en Brasil, tal como fue documentado en algunos lugares de la Amazonía brasileña, donde se encontraron elevadas concentraciones de mercurio en sitios apartados y ajenos a cualquier tipo de influencia humana (7,8). En efecto, otras fuentes generadoras de mercurio en el ambiente son las emisiones volcánicas, los incendios forestales, las deposiciones atmosféricas, la deforestación, la erosión de suelos naturalmente enriquecidos con mercurio y la quema de biomasa (9-16) (Días - Arriaga, 2014)

El mercurio se genera de manera natural en el medio ambiente y se da en una gran variedad de formas, al igual que el plomo y el cadmio, este es un elemento es constitutivo de la tierra, un metal pesado, en su forma pura se le conoce como mercurio ya sea elemental o metálico, este metal rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido, es más común en compuestos y sales inorgánicas.

> El mercurio es un elemento metálico presente de manera natural en la corteza terrestre, y puede ser transportado en el ambiente por el aire y el agua. Se libera a la atmósfera en forma de vapor en fenómenos naturales como la actividad volcánica, los incendios forestales, el movimiento de masas de agua, la erosión de rocas y procesos biológicos. El mercurio elemental puede combinarse con otros elementos para formar compuestos inorgánicos de mercurio (como acetato mercúrico, cloruro mercúrico, cloruro mercurioso, nitrato mercúrico, óxido o sulfuro mercúricos). En su ciclo ambiental, el mercurio se deposita en las masas de agua, donde microorganismos acuáticos lo biotransforman en metilmercurio. Otras especies orgánicas de mercurio son el etilmercurio y el fenilmercurio. (Gibb & Poulin, 2008)

> Una vez que el mercurio es liberado al medio sufre diversas transformaciones que dan como resultado una alta variedad de compuestos. Primero pasa al aire de forma natural por medio de las emisiones volcánicas, termalicas o por emisiones industriales donde puede permanecer días o años, lo que le permite ser transportado miles de kilómetros, luego pasa al suelo por lluvias o precipitaciones secas y sufre una fuerte adsorción por la materia orgánica y las arcillas, y a pesar de que en este medio su movilidad es muy limitada, puede llegar a acuíferos, lagos y al mar a causa de la erosión de los suelos contaminados, o en su defecto vuelve al aire, asociado a partículas o por simple volatilización. (Altahona & Movilla, 2016)

El mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente, que normalmente se utiliza y en algunos interruptores eléctricos, a temperatura ambiente y si no está encapsulado este se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio.

Este elemento es natural que se encuentra en la roca de la corteza terrestres, como en los depósitos de carbón, este elemento o metal pesado en la tabla periódica tiene el símbolo “Hg” y el numero atómico es de 80, existen diversas formas las cuales son:

> El metilmercurio y otros compuestos de mercurio orgánico se forman cuando el mercurio se combina con el carbón. Los organismos microscópicos convierten el mercurio en metilmercurio, que es el compuesto de mercurio orgánico más común del medio ambiente.
>
> El mercurio elemental o metálico es un metal plateado brillante y líquido a temperatura ambiente. Se utiliza en los termómetros viejos, bombillas de luz fluorescente y algunos interruptores eléctricos. Cuando se cae, el mercurio elemental se divide en gotas más pequeñas que pueden filtrarse en grietas o adherirse fuertemente a ciertos materiales. A temperatura ambiente, el mercurio elemental expuesto puede evaporarse hasta convertirse en un vapor tóxico invisible e inodoro. Si se calienta, es un gas incoloro e inodoro.
>
> El mercurio elemental es un elemento que no ha reaccionado con otra sustancia. Cuando el mercurio reacciona con otra sustancia, forma un compuesto.
>
> Los compuestos de mercurio inorgánico toman la forma de sales de mercurio y, por lo general, son cristales o un polvo color blanco, con la excepción del sulfuro de mercurio (cinabrio), que es color rojo. La mayoría de los usos de los compuestos inorgánicos fueron suspendidos. (EPA, 2021)
>
> A lo largo de la historia, los yacimientos de cinabrio han sido la fuente mineral para la extracción comercial de mercurio metálico, la forma metálica de este elemento se refina a partir del mineral de sulfuro de mercurio calentando el mineral a temperatura superior a 540ºC, esta será la forma donde se vaporiza el mercurio contenido en el mineral y este luego se captan y enfrían los vapores para formar el mercurio metálico líquido. (Ferreira, Durán, & Pallares, 2005)

Este elemento está presente de forma natural en el aire, el agua y los suelos, la exposición al mercurio puede causar graves problemas de salud y es peligrosa para el desarrollo intrauterino y en las primeras etapas de vida.

El nivel excesivo de mercurio en el agua, especialmente su variante de metilmercurio puede ocasionar problemas de salud como daño en los pulmones, daño en los tejidos mucosos del cuerpo, lesiones en la piel, aunque las personas pueden verse expuestas a cualquier de las formas de mercurio en diversas circunstancias, las principales vías de exposición son el consumo de pescado y marisco contaminado con metilmercurio y la inhalación, por ciertos trabajadores de vapores de mercurio elemental desprendidos en procesos.

Para saber si el agua está contaminada con mercurio el método consiste en introducir en el agua durante cinco minutos una fina lamina creada por los investigadores, si se torna roja es señal de que hay mercurio.

El agua que consumen las personas diariamente puede contener ciertos elementos químicos, sin embargo, no generan daños a la salud, pero si estos elementos se salen de los estándares aceptables, si pueden ser altamente nocivos.

Lo grave ocurre cuando los niveles de mercurio aumentan y sobrepasan lo aceptable para el consumo humano o cuando este sufre alteraciones, en este caso las personas que consumen agua que contenga mercurio quedan expuestas a sufrir severos riesgos de intoxicación.

Las principales fuentes de agua potable son los lagos, lagunas y embalses desde donde el producto pasa a plantas de tratamientos, sin embargo el agua que se encuentra en esos lugares esos lugares ha desembocado allí gracias al curso de ríos y arroyos, a pesar que en el nacimiento de los ríos y arroyos el agua se encuentra en un estado puro y natura, es probable que en su trayectoria haya entrado en contacto con el mercurio y gracias a esto se genera la contaminación del agua, aquí es donde entra en juego la actividad humana, especialmente es relacionada con industrias que se caracteriza por su alta emisión de residuos que afectan seriamente el aire, el agua e incluso los suelos, estas son algunas de ellas:

- Minería
- Agroindustria
- Termoeléctrica
- Actividad domestica (Aguapura, 2021)

Cuando el mercurio llega al agua “es absorbido en gran medida por los peces, Ramos et al. (2000) encontraron que el 40% del mercurio contenido en peces se bioacumula en forma de metilmercurio quedando disponible hasta llegar al hombre por medio de la cadena trófica.” (Saenz, 2016) Cuando las personas ingieren pescado, entran en contacto directo con una vía para el ingreso de mercurio en el organismo. Los trabajadores de las plantas termoeléctricas también se exponen al mercurio por inhalación y las personas que habitan cerca están expuestas, en conclusión, el mercurio en el agua potable siempre estará presente, lo importante y lo que debemos tener presente es mantener sus niveles bajo estricto control y es acá donde entra en juego el papel de las autoridades sanitarias e hidrológicas.

Esto nos dice (ecologistas en acción, 2013) El mercurio es un contaminante tóxico muy conocido y peligroso que contamina los peces en todo el mundo. Se ha producido un aumento de 3 veces en el mercurio desde la época preindustrial y un estudio reciente indica que la acumulación de mercurio en los océanos se correlaciona con la marea creciente de la contaminación por mercurio.

Según (Gonzalez, 2018) El mercurio, además de un planeta del Sistema Solar, el más cercano al Sol, es también un metal líquido que ha tenido infinidad de usos a lo largo de la historia humana. Sin embargo, las investigaciones demuestran que es bastante tóxico, motivo por el que se dejó de usar en campos como la estética y la belleza, Antaño, era considerado como plata líquida, y recibió otros nombres como hidrargiro o azogue, de ascendencia árabe. Todavía hoy hay quien lo considera así, aunque está aceptado en todo el mundo como mercurio.

Hablamos de un elemento químico que se representa en la tabla periódica con el símbolo de Hg y que posee el número atómico 80. Con aspecto plateado, es un metal pesado situado en el bloque D y es el único metálico que en condiciones estándar de laboratorio se distingue por su estado líquido, ya que el bromo, también líquido, está considerado como un no metal. No obstante, otros metales funden a temperaturas no muy superiores, como el rubidio, el galio o el cesio.

También se refiere (Gonzalez, 2018) a un metal pesado que es constitutivo de la Tierra, por lo que rara vez se encuentra en estado puro, es decir, líquido. Lo más común es que se localice junto con sales inorgánicas o compuestos diversos.

El mercurio se enlaza como otros compuestos, como el mercurio divalente o monovalente, formando tanto compuestos orgánicos como inorgánicos.

Este también se utiliza en medicina, pero su alta toxicidad hace que cada día este menos presente, por lo que se está destituyendo por otros que son menos peligrosos, pero son más caro como lo es la aleación galinstano, este famoso elemento químico que tanto usa los meteorólogos para hablar de las subidas y bajas de la temperatura, pero que tiene más usos.

Cromo Hexavalente

Es un metal pesado, que dentro de sus principales usos esta la aleación anticorrosiva de gran dureza, la resistencia al calor y como recubrimiento para materiales galvanizados como las tuberías y entre otros. Está catalogado el cromo hexavalente, como el cromo toxico del metal, “la contaminación por cromo hexavalente de las aguas superficiales es una problemática que se presenta en diferentes partes de Colombia y del mundo.” (Camacho, 2019)

“El cromo forma parte de curtientes, pigmentos y conservantes textiles, aleaciones, pinturas, antiincrustantes, catalizadores, agentes anticorrosivos, lodos de perforación, baterías de alta temperatura, fungicidas, conservantes de madera, recubrimientos metálicos y electrogalvanizados.” (Pájaro & Díaz, 2012)

> El cromo es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en varias formas diferentes. Dependiendo de la forma que toma, puede encontrarse en forma de líquido, sólido o gas, Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor u olor especial. (Guzmán & Guzmán, 2016)

> El cromo se puede encontrar en el aire, el suelo y el agua luego de ser liberado durante su manufactura o la manufactura, uso o disposición de productos de cromo, este generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua. El cromo puede transformarse fácilmente de una forma a otra en el agua y el suelo, dependiendo de las condiciones presentes y los peces no acumulan en el cuerpo mucho cromo del agua. (Guzmán & Guzmán, 2016)

El cromo VI es un contamínate muy estable y que se bioacumula en el organismo de los seres vivos, en el ambiente contribuye con los procesos de nitrificación con lo que se aumenta la materia orgánica, esto es gracias a su densidad, y por esto mismo es teratogénico y cancerígeno, el medio de ingreso al cuerpo se pueda dar por medio de la vía cutánea o de las respiratorias y oral, se permea en la membrana celular, en pulmones, medula ósea, ganglios, entre otros. y se puede eliminar en un 60% por vía urinaria, los síntomas son inflamación de neumocitos, alteración en el ADN y en los cromosomas, entre otros. Los límites máximos permitidos son 10µg/L y en población en riesgo 20 µg/L. (Camacho, 2019)

El Cr6 es usado principalmente para:

- Galvanoplastia: es la aplicación de un metal a otro mediante electricidad, por medio de una solución de sales metálicas.
- Fabricación y soldadura de acero inoxidable
- Pigmentos y colorantes
- Industria Curtiembre (OEHHA Science for a Healthy California, 2016)

Está comprobado que, en dosis mínimas, durante periodos largos de tiempo, el cromo puede causar en el organismo cáncer de estómago y daños en los órganos reproductivos.

El vertido incontrolado de cromo al medio ambiente se genera, principalmente, porque la mayor parte de los sistemas colectores de aguas residuales no posibilitan la separación de efluentes urbanos e industriales, de modo que las aguas residuales de las zonas urbanas con polígonos industriales son siempre de tipo mixto. (M. Arauzo, M. Rivera, M. Valladolid, C. Noreña, & O. Cedenilla, 2003)

La toxicidad del Cromo hexavalente puede causar daños en el hígado, problemas reproductivos y de desarrollo, y también cáncer. Su presencia en el agua potable demostró ser causante de cáncer en ratas y ratones de laboratorio, según un estudio realizado en el año 2008 en el marco del Programa Nacional de Toxicología (Concha & Garcia, 2017)

OEHHA ha calculado un riesgo de cáncer asociado con la exposición a Cr6 si esa exposición continúa durante toda una vida. La exposición continua a 0.045 nanogramos por metro cúbico (ng/m3) de Cr6 de todas las fuentes combinadas durante 30 años podría aumentar el riesgo de cáncer a 25 en un millón. La exposición durante períodos más cortos de tiempo se asociaría con riesgos de cáncer mucho más bajos. (OEHHA Science for a Healthy California, 2016)

“problemas de salud que son causado por el Cromo (VI) son;

- Erupciones cutáneas
- Malestar de estómago y úlceras
- Problemas respiratorios

- Debilitamiento del sistema inmune
- Daño en los riñones e hígado
- Alteración del material genético
- Cáncer de pulmón
- Muerte” (Lenntech, 2015)

> El cromo hexavalente es un compuesto tóxico que se puede encontrar en el agua. Sin olor y sin sabor, puede estar presente en el medio de manera natural, ya que es una forma del metal cromo en estado de oxidación. Precisamente en función de su grado de oxidación, este compuesto puede ser más o menos nocivo. (Ramirez, 2017)

> La gran cantidad de emisión de cromo, que por consiguiente es transformado en cromo hexavalente, es debido a las zonas industriales del país. En la zona de estudio de este proyecto se encuentra el rio Magdalena, la captación de agua potable para Girardot y sus alrededores es obtenida por medio de esta cuenca, el punto de captación está localizado aguas arriba de la desembocadura del rio Bogotá. Al tener en cuenta que, la gran cantidad de contaminación industrial que recibe el rio Bogotá es debido las curtiembres localizadas en Bogotá y sus alrededores, que proporcionan en gran manera cromo hexavalente y demás metales al rio Bogotá. Uno de los municipios más notorios es Villa pinzón, se vierten aguas residuales domésticas e industriales, del matadero Municipal y las curtiembres. (Quiroz Londoño, 2019)

Es probable que un gran porcentaje de contaminación industrial no sea notorio debido a que el punto de suministro de agua potable no se mezcla con el rio Bogotá, mas, sin embargo, muchos municipios tienen que afrontar la contaminación industrial y de curtiembre que arroja el rio Bogotá al Magdalena.

> Actualmente, algunas industrias de tratamientos metálicos superficiales, textiles, así como industrias del curtido utilizan disoluciones de cromo o compuestos órganos metálicos de cromo en alguna de sus etapas de fabricación. Las aguas residuales procedentes de estos procesos están contaminadas con este metal, con el gran componente de riesgo medioambiental y para la salud humana que conlleva. El proceso de curtido mediante la utilización de compuestos de cromo es uno de los métodos más comunes utilizados en el procesamiento de pieles y la contaminación ambiental es uno de los problemas más difíciles a los que se enfrenta la industria mundial del cuero en la actualidad. (Rama, 2011)

> Entre otras aplicaciones industriales de compuestos de cromo hexavalente incluyen pigmentos de cromato en los tintes, pinturas, tintas y plásticos; cromatos añadidos como agentes anticorrosivos a pinturas, imprimaciones, y otros recubrimientos superficiales, y ácido crómico galvanizados en piezas

de metal para proporcionar un recubrimiento decorativo o protector. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2010)

Marco Legal

El siguiente proyecto está fundamentado bajo las siguientes normas, decretadas por el ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial como es el caso de la resolución 2115 de 2007 y el decreto 1575 de 2007.

Como normativa internacional se considera el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de 1976 en el artículo 11

> Los Estados Partes en el presente Pacto reconocen el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado para sí y su familia, incluso alimentación, vestido y vivienda adecuados, y a una mejora continua de las condiciones de existencia. Los Estados Partes tomarán medidas apropiadas para asegurar la efectividad de este derecho, reconociendo a este efecto la importancia esencial de la cooperación internacional fundada en el libre consentimiento (ONU, 1976)

En primera instancia, se tiene la constitución política de Colombia, en donde se establece a Colombia como un estado social de derecho, la cual fue fundada en el respeto de la dignidad humana, en el trabajo y a la solidaridad de las personas que la integran y en la prevalencia del interés general. De igual manera se encuentra en la constitución política de Colombia en el capítulo 3, articulo 79 en donde afirma que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, lo cual implica e incluye tener agua potable libre de contaminantes, que sea de agrado para el cuerpo humano, y no ser perjudicial para la salud tanto a largo, como a corto plazo.

La ley 142 de 1994 planteada anteriormente en los artículos 2 y 4 dictamina lo siguiente:

Artículo 2:

> El Estado intervendrá en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia de que trata esta Ley. Garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios. Ampliación permanente de la cobertura mediante sistemas que compensen la insuficiencia de la capacidad de pago de los usuarios. Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico. (Congreso de Colombia, 1994)

Artículo 4: “Servicios Públicos Esenciales. Para los efectos de la correcta aplicación del inciso primero del artículo 56 de la Constitución Política de Colombia, todos los servicios públicos, de que trata la presente Ley, se considerarán servicios públicos esenciales”. (Congreso de Colombia, 1994)

Se encuentra también en el capítulo 5 denominado “De la finalidad social del Estado y de los servicios públicos”, en el artículo 365 aclara que los servicios públicos son inherentes a la finalidad del estado. Es decir, que el estado debe de velar por el bienestar de sus habitantes, así como brindar un buen servicio público de agua potable. Este artículo se fundamenta con el 366 en donde las finalidades sociales del estado es garantizar el bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población, también en el artículo 367 estipula que la ley fijara las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación.

En relación con el derecho fundamental del agua se tiene en cuenta la sentencia T242/2013:

> El estudio del derecho fundamental al agua debe hacerse a la luz de lo preceptuado en nuestro ordenamiento jurídico, los lineamientos establecidos por la jurisprudencia constitucional, en conjunto con las garantías contenidas en el Pacto Internacional de Derechos Económicos Sociales y Culturales, así como las interpretaciones y recomendaciones que de éste realiza el Comité de Derechos Económicos Sociales y Culturales, que están encaminadas a lograr que todas las personas y en especial aquellos sujetos que han sido tradicionalmente excluidos tales como las mujeres, los ancianos, los niños, las personas con discapacidades físicas o mentales entre otros, gocen de un mínimo de agua apta para el consumo, con el cual puedan satisfacer sus necesidades básicas domiciliarias, y además se prevengan problemas de salud y en general sanitarios. (Corte Constitucional de la Republica de Colombia, 2013)

En temas de salud humana se tiene presente la ley 9 de 1979, la cual tiene como objetivo:

> ARTICULO 1o. Para la protección del Medio Ambiente la presente Ley establece:
> a) Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar u mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana;
> b) Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. (Congreso de Colombia, 1979)

En la ley 9 de 1979 se tiene en cuenta el título II, en donde establece el suministro de agua.

> Objeto.

ARTICULO 51. Para eliminar y evitar la contaminación del agua para el consumo humano la presente Ley establece:

a) Regulaciones sobre la toma de aguas y las condiciones de los lugares cercanos al sitio donde se efectúa esta actividad;

b) Regulaciones sobre canales o tuberías que dan paso al agua desde la fuente de abastecimiento hasta la planta de potabilización o, en defecto de ésta, hasta el tanque de almacenamiento;

c) Regulaciones sobre las estaciones de bombeo y los equipos destinados a elevar el agua de la fuente de abastecimiento o de cualquier otra parte del sistema de suministro;

d) Regulaciones sobre almacenamiento del agua y su transporte hasta el usuario, con excepción de los aspectos correspondientes a la fontanería o instalación interior;

e) Regulaciones para el cumplimiento de los requisitos establecidos en este Título. (Congreso de Colombia, 1979)

La Organización Mundial de la Salud dictamina los estándares admisibles para mercurio y cromo hexavalente como lo muestran las siguientes tablas:

Valor de referencia	0,006 mg/l para el mercurio inorgánico
Presencia	El mercurio inorgánico está presente en aguas superficiales y subterráneas, en concentraciones generalmente menores que 0,5 µg/l, aunque pueden darse concentraciones mayores en aguas subterráneas por la presencia en la zona de yacimientos de menas de mercurio.
IDT	2 µg/kg de peso corporal para el mercurio inorgánico, basada en una DSEAO de 0,23 mg/kg de peso corporal al día correspondiente a efectos renales en un estudio de 26 semanas en ratas y aplicando un factor de incertidumbre de 100 (para la variación inter e intraespecífica) después del ajuste por la administración durante 5 días por semana
Límite de detección	0,05 µg/l mediante AAS de vapor frío; 0,6 µg/l mediante ICP; 5 µg/l mediante FAAS
Concentración alcanzable mediante tratamiento	La concentración debería poderse reducir hasta menos de 1 µg/l mediante el tratamiento con CAP o utilizando métodos como la coagulación-sedimentación-filtración o el intercambio iónico de aguas que no estén muy contaminadas con mercurio.
Cálculo del valor de referencia • asignación al agua • peso • consumo	 10% de la IDT adulto de 60 kg 2 litros al día
Observaciones adicionales	• Puede obtenerse una IDT similar a partir de la DMEAO de 1,9 mg/kg de peso corporal al día correspondiente a efectos renales en un estudio del programa nacional de toxicología (NTP, *National Toxicology Program*) de los EE. UU. de 2 años en ratas, aplicando un factor de incertidumbre de 1000 (un factor de incertidumbre adicional de 10 para el ajuste de una DMEAO a una DSEAO). • El nuevo valor de referencia se refiere al mercurio inorgánico, que es la forma que se encuentra en el agua de consumo, mientras que el valor de referencia anterior se refería al mercurio total (inorgánico y orgánico).

Tabla 2 Valor de Mercurio Admisible según OMS Fuente: OMS

Valor de referencia provisional	0,05 mg/l para el cromo total El valor de referencia se designa como provisional debido a incertidumbres en la base de datos toxicológica.
Presencia	Las concentraciones totales de cromo en el agua de consumo suelen ser inferiores a 2 µg/l, aunque se han descrito concentraciones de hasta 120 µg/l.
Método de cálculo del valor de referencia	No hay estudios de toxicidad adecuados disponibles que permitan determinar una DSEAO. En 1958 se propuso el primer valor de referencia para el cromo hexavalente debido a sus posibles efectos perjudiciales para la salud, pero más tarde se modificó a un valor de referencia para el cromo total por la dificultad de analizar únicamente la forma hexavalente.
Límite de detección	0,05-0,2 µg/l para el cromo total mediante AAS
Concentración alcanzable mediante tratamiento	La concentración debería poderse reducir hasta 0,015 mg/l mediante coagulación.

Tabla 3 Valor de Cromo Hexavalente Admisible según OMS Fuente: OMS

La resolución 2115 de 2007, capitulo 2, en el artículo 2, especifica las características físicas del agua, en donde el agua que se dará para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas. En el artículo 3 de esta resolución se explica que el valor máximo aceptable de conductividad puede ser hasta 1000 micro siemens/cm. Y en el artículo 4, se

habla acerca del pH del agua, el cual debe de estar entre 6.5 y 9.0. En el artículo 6, se nombran todas las características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana, acá se da un recorrido por todos los agentes químicos solubles en el agua que afectan de manera drástica la salud y bienestar del cuerpo humano. Básicamente el capítulo 2 de esta resolución nombra y establece los diferentes parámetros para tener en cuenta a la hora de potabilizar el agua, especifica los diferentes estándares necesarios para poder potabilizar el agua, de igual forma aclara los índices tales como el cloro, el cual deberá estar entre 0.3 y 2.0 mg/L.

En el capítulo 3 de la resolución 2115 de 2007, se nombran todas las características microbiológicas y las diferentes técnicas para poder realizar el análisis microbiológico del agua, en el artículo 10 muestra que para la Escherichia Coli y coliformes totales, se debe de realizar una filtración por membrana, sustrato definido, enzima sustrato y presencia – ausencia.

En el capítulo 4 de la resolución 2115 de 2007 se titula “Instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano” se nombra el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para consumo humano, este índice se evalúa de 0 a 100, en donde 0 es óptimo para el consumo humano y los valores arrojados por los análisis de laboratorio afirman que las características físicas, químicas y microbiológicas están con forme a lo estipulado en la norma; y 100, cuando estos valores son de alto riesgo y pueden llegar a perjudicar el bienestar de las personar a la hora de consumir dicha agua.

Se encuentra una tabla en el artículo 5° en donde se establecen los parámetros máximos químicos que tiene afectación en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN^-	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Tabla 4 Valores máximos químicos aceptables (Fuente: Resolución 2115 de 2007)

Se destacan los siguientes elementos químicos (metales) como el arsénico y mercurio, siendo estos metales que entran a ser analizados en el rio magdalena en el agua crida y tratada. Depende de los resultados obtenidos en el análisis de agua cruda y tratada, se podrá establecer si el tratamiento que se realiza en PTAR remueve estos metales dejándolos en valores máximos permitidos según la Resolución 2115 de 2007.

El artículo 7° establece químicos (metales) que a diferencia de los nombrados en el artículo 5°, realizan una afectación bastante grave a la salud humana.

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	$CaCO_3$	200
Cloruros	Cl^-	250
Aluminio	Al^{3+}	0,2
Dureza Total	$CaCO_3$	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO_4^{2-}	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO_4^{3-}	0,5

Tabla 5 Valores máximos aceptables de químicos perjudiciales para la salud (Fuente: Resolución 2115 de 2007)

En el decreto 475 de 1998 se destaca del capítulo 3 en el artículo 8 la siguiente tabla

CARACTERISTICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR ADMISIBLE mg/L
Aluminio	Al	0.2
Antimonio	Sb	0.005
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.5
Boro	B	0.3
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN^-	0.05
Cianuro total	CN^-	0.1
Cloroformo	$CHCl_3$	0.03
Cobre	Cu	1
Cromo Hexavalente	Cr^{+6}	0.01
Fenoles totales	Fenol	0.001
Mercurio	Hg	0.001
Molibdeno	Mo	0.07
Níquel	Ni	0.02
Nitritos	NO^2	0.1
Nitratos	NO^3	10
Plata	Ag	0.01
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Sustancias activas al azul de metileno	ABS	0.5
Grasas y aceites	-	Ausentes
Trihalometanos Totales	THMs	0.1

Tabla 6 Valores máximos aceptables (Fuente: Decreto 475 de 1998)

El cromo hexavalente es uno de los metales para tener en cuenta para esta investigación, y se encuentra su valor máximo permitido o admisible, el cual se utilizará para comparar los resultados de laboratorio de las muestras de agua cruda y tratada. El cianuro se encuentra también como metal pesado perjudicial para la salud según este decreto, y se establece su valor máximo admisible, se utilizará este parámetro como valor de comparación con los resultados de laboratorio del agua cruda y tratada.

Existe de igual manera el decreto 1594 de 1984 que estipula los siguientes parámetros admisibles de metales pesados en el agua para consumo humano, como lo muestra la siguiente tabla:

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Amoníaco	N	1
Arsénico	As	0,05
Bario	Ba	1
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN-	0,2
Cinc	Zn	15
Cloruros	Cl-	250
Cobre	Cu	1
Color	Color real	75 unidades, escala platino-cobalto
Compuestos fenólicos	Fenol	0,002
Cromo	Cr+6	0,05
Difenil Policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0,002
Nitratos	N	10
pH	Unidades	5,0 - 9,0 unidades
Plata	Ag	0,05
Plomo	Pb	0,05
Selenio	Se	0,01
Sulfatos	S0=4	400
Tensoactivos	Sustancias activas al Azul de metileno	0,5
Coliformes totales	NMP	20,000 microorganismos / 100ml
Coliformes fecales	NMP	2,000 microorganismos / 100 ml

Tabla 7 Valores máximos admisibles a las referencias indicadas en el decreto 1594 de 1984 Fuente: decreto 1594 de 1984

En el decreto 1575 de 2007 se titula “Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano” En donde el capítulo 2 nombra

> las características y criterios de la calidad del agua para consumo humano” y dice lo siguiente: Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano, serán determinados por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Córtes & Mora, 2015)

En el capítulo 3

> Responsables del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano” en el artículo 10, “la responsabilidad de los usuarios” se establece lo siguiente: “Todo usuario es responsable de mantener en condiciones sanitarias adecuadas las instalaciones de distribución y almacenamiento de agua para consumo humano. (Córtes & Mora, 2015)

En la resolución 4716 del 2010 se establece toda la normativa relacionada con las obligaciones que deben tener las autoridades ambientales y entidades prestadoras de servicios públicos. Como lo dice su objetivo:

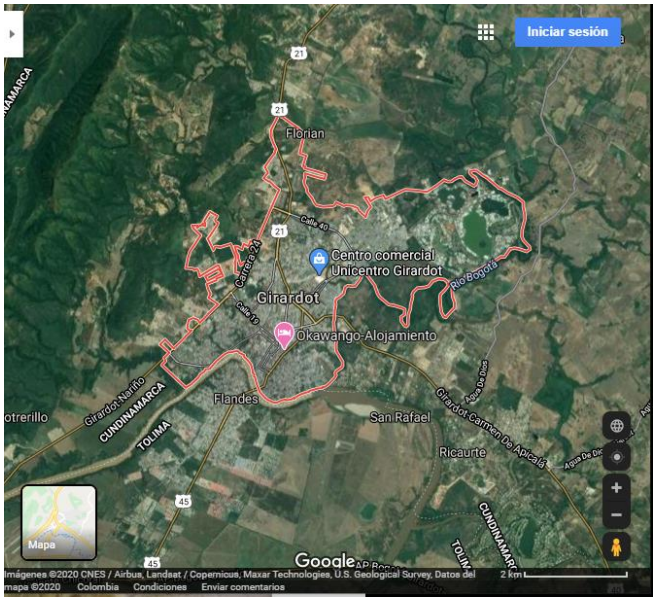
> tiene por objeto establecer las condiciones recursos y obligaciones mínimas que deben cumplir las autoridades sanitaria departamental, distrital y municipal categoría especial, 1, 2 y 3 y ambiental competente, para elaborar los Mapas de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010)

En la cuanto, a la acreditación de laboratorios, se encuentra la resolución 0630 del 2016, en donde se especifica la normativa y parámetros que deben de llevar los laboratorios para obtener su respectiva certificación, esta resolución fue dictaminada u otorgada por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)

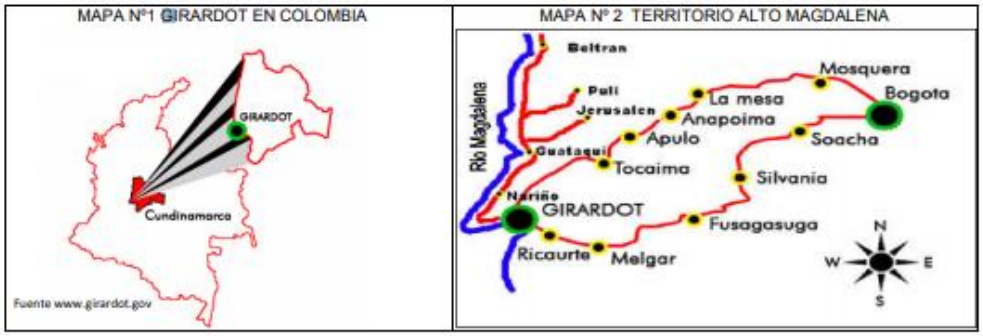
Marco Geográfico

Ubicación Geográfica

Municipio de Girardot se encuentra ubicado al suroccidente del Departamento de Cundinamarca en la Región del Alto Magdalena, en un valle intercordillerano estrecho entre la Cordillera Oriental y Central, cuya máxima anchura no sobrepasa los 40 kilómetros. En su extremo sur en su parte baja Girardot está a 289 m.s.n.m. pero puede llegar hasta las 600 a 800 m. sobre el nivel en las partes más altas que corresponden a las cuchillas de la Culebra y el Espino en la Cordillera Alonso Vera. El municipio posee una extensión de 138km2, con 2046 hectáreas que corresponden al área urbana, esta se encuentra dividida en cinco comunas, el área rural cuenta con una extensión de 10.779 hectáreas. (Carrillo Pinilla & Martinez Torres, 2017), como se muestra en el Mapa 1.



Mapa 1 Girardot Fuente: Google Maps



Mapa 2 Girardot ubicado en Colombia Fuente: Alcaldía de Girardot

En la tabla 4 se muestra datos relacionados con la altitud, temperatura promedio y los municipios con los que limita en sus alrededores

Altitud	Temperatura	Régimen pluviométrico	LIMITES
326 Metros sobre el nivel del mar.	30° C.	Bimodal 1.167 mm. Promedio anual.	**Oriente:** Municipio de Ricaurte Cundinamarca. **Occidente:** Municipio de Nariño Cundinamarca. **Norte:** Municipio de Tocaima Cundinamarca. **Sur:** Municipio de Flandes Tolima

Tabla 8 Meteorología de Girardot Fuente: DANE

Población del municipio

Según proyecciones del DANE, para el año 2016 el municipio de Girardot cuenta con una población total de 105.701 habitantes, de los cuales 102.225 son de la zona urbana y 3.476 de la zona rural, como se muestra en la tabla 5.

En la tabla 6 muestra específicamente, en mucho más detalle los porcentajes de hombres y mujeres en rango de edades en los años 2015 y 2016

PROYECCION DE POBLACION DE GIRARDOT 2012 - 2015			
AÑO	POBLACIÓN TOTAL	HOMBRES	MUJERES
2016	105.701	49.920	55.781
2017	106.283	50.182	56.101
2018	106.818	50.413	56.405
2019	107.324	50.624	56.700
2020	107.796	50.816	56.980

Tabla 9 Proyección de Población Girardot Fuente: DANE

Población Discriminada por Etareos y Género del Municipio de Girardot.

	2015						2016			
Grupos de edad	TOTAL H-M	Hombres	%	Mujeres	%	TOTAL H-M	Hombres	%	Mujeres	%
0-4	7.764	3.921	50,50%	3.843	49,50%	7.755	3.918	50,52%	3.837	49,48%
5-9	7.886	3.900	49,45%	3.986	50,55%	7.835	3.871	49,40%	3.964	50,60%
10-14	8.067	3.933	48,75%	4.134	51,25%	8.017	3.887	48,48%	4.130	51,52%
15-19	8.260	3.984	48,23%	4.276	51,77%	8.095	3.898	48,15%	4.197	51,85%

20-24	9.040	4.351	48,13%	4.689	51,87%	8.904	4.275	48,01%	4.629	51,99%
25-29	8.927	4.407	49,37%	4.520	50,63%	9.119	4.526	49,63%	4.593	50,37%
30-34	7.153	3.296	46,08%	3.857	53,92%	7.446	3.462	46,49%	3.984	53,51%
35-39	6.585	3.198	48,56%	3.387	51,44%	6.650	3.210	48,27%	3.440	51,73%
40-44	6.301	2.943	46,71%	3.358	53,29%	6.258	2.946	47%	3.312	53%
45-49	6.999	3.274	46,78%	3.725	53,22%	6.840	3.194	46,70%	3.646	53,30%
50-54	7.037	3.305	46,97%	3.732	53,03%	7.081	3.327	47%	3.754	53%
55-59	5.802	2.634	45,40%	3.168	54,60%	6.019	2.747	45,64%	3.272	54,36%
60-64	4.651	2.076	44,64%	2.575	55,36%	4.790	2.131	44,48%	2.659	55,52%
65-69	3.698	1.649	44,59%	2.049	55,41%	3.815	1.692	44,35%	2.123	55,65%
70-74	2.676	1.134	42,38%	1.542	57,62%	2.764	1.175	42,51%	1.589	57,49%
75-79	2.117	839	39,63%	1.278	60,37%	2.138	844	39,48%	1.294	60,52%
80 Y MÁS	2.122	805	37,94%	1.317	62,06%	2.175	817	37,57%	1.358	62,43%
TOTAL	**105.085**	**49.649**	**47,25%**	**55.436**	**52,75%**	**105.701**	**49.920**	**47,2%**	**55.781**	**52,8%**

Tabla 10 Porcentajes de Hombres y Mujeres en el 2015 y 2016 Fuente: DANE

Girardot, es el tercer municipio con mayor número de habitantes en el departamento de Cundinamarca y de acuerdo con el censo y los datos estadísticos reflejados por el DANE, es de subrayar la mayor proporción de Mujeres en comparación con la participación de los Hombres, en los dos años comparativos 2015-2016, se calcula un aumento en las mujeres del 6%, frente al total de los hombres.

En la siguientes, las tablas 7, 8, 9 muestran de manera más detallada la población de Girardot, tanto los géneros en porcentaje por las personas, junto con la población por áreas

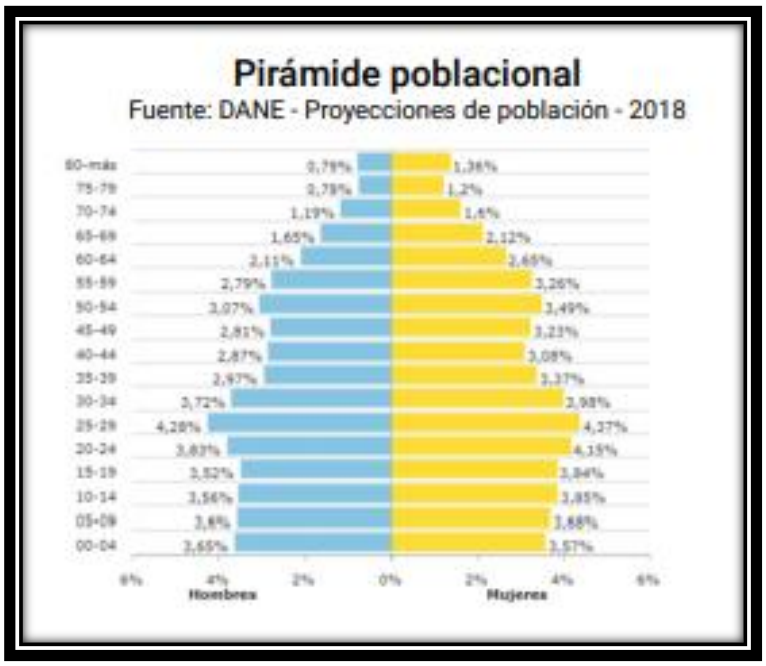


Tabla 11 Pirámide poblacional Fuente: DANE

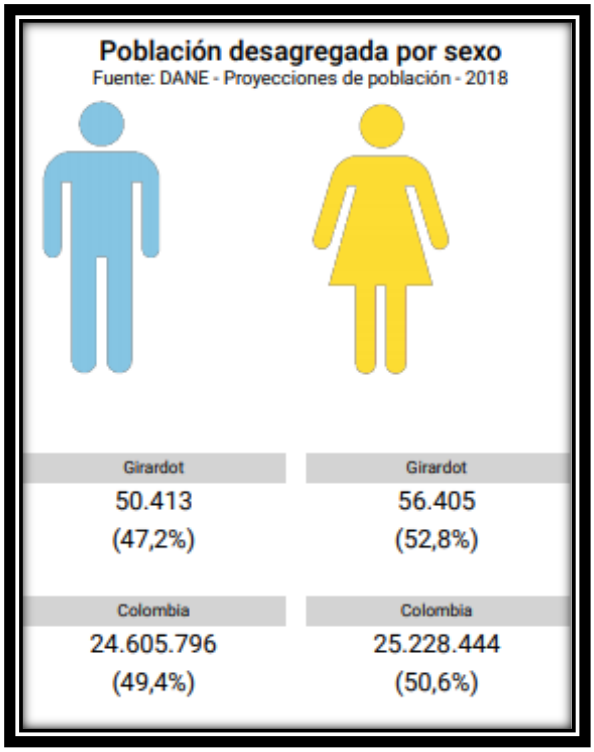


Tabla 12 Población desagregada por sexo Fuente: DANE

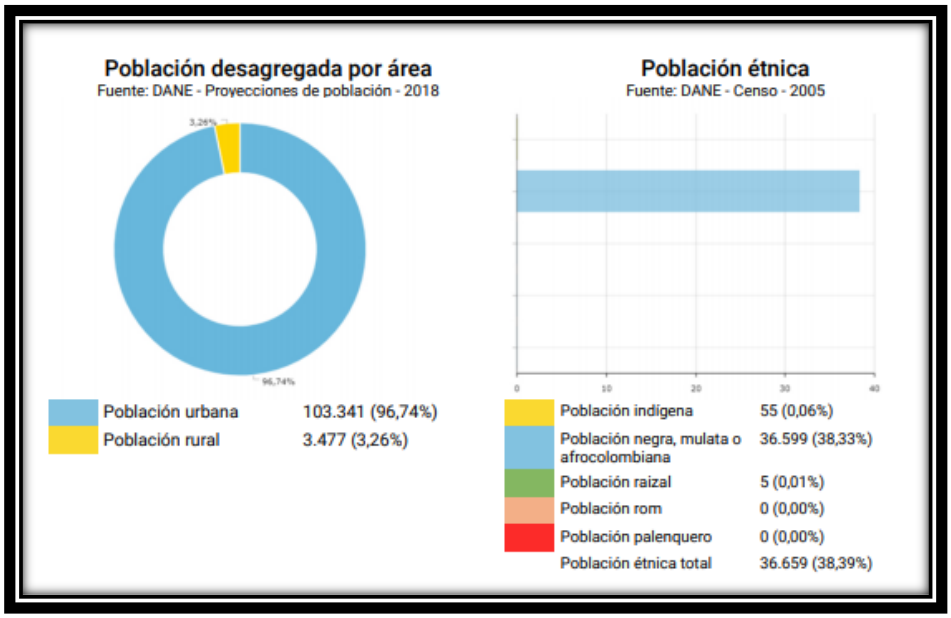


Tabla 13 Población desagregada por área Fuente: DANE

Ricaurte

"Ricaurte es un municipio colombiano del departamento de Cundinamarca ubicado en la provincia del Alto Magdalena; se encuentra a orillas del río Magdalena, en la desembocadura de los ríos Bogotá y Sumapaz." (Lina Arevalo, 2019).

> Territorialmente Ricaurte se encuentra ubicado en la cordillera oriental, dista de Bogotá a 142 kilómetros, de territorios planos, semiondulados, con accidentes orográficos de poca elevación, destacándose la Serranía del Callejón y los cerros la Dormida y San Alberto, bañado por los ríos

Magdalena, Sumapaz, Bogotá y Pagüey; dentro de su área sorprende la variedad de recursos turísticos.

Límites Norte: Municipio de Agua de Dios Sur: Departamento del Tolima Sur oriente: Municipio de Girardot Occidente: Municipio de Nilo.

Elementos Físicos Extensión total: 128 km2 Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 284m.s.n.m. Temperatura media: 27°Cº C Distancia de referencia: 128 Kilómetros. (Lina Arevalo, 2019).

En la tabla 10 se muestra la poblacion de Ricaurte junto con al densidad población

Población	7 990 Habitantes	88 / 721
Densidad de la población del municipio de Ricaurte	61,0 hab./km² (158,0 pop/sq mi)	

Tabla 14 Demografía del municipio de Ricaurte. Fuente: Municipio de Ricaurte

En la tabla 11 muestra el censo realizado por el DANE en el 2005 de Ricaurte, divido por género y el número de personas que habitan por hogar.

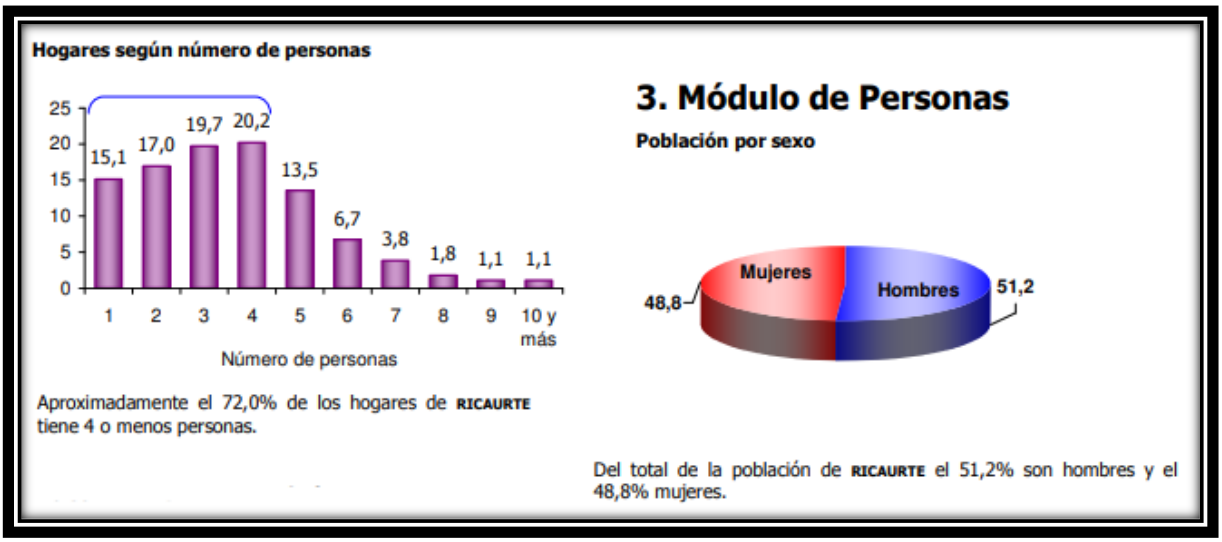


Tabla 15 Boletín Censo General 2005 Perfil Ricaurte Cundinamarca. Fuente: DANE

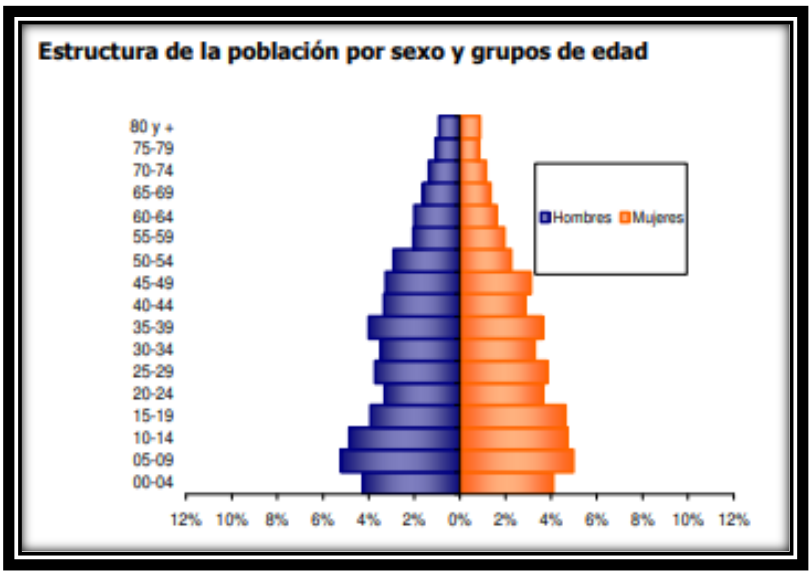


Tabla 16 Boletín Censo General 2005 Perfil Ricaurte Cundinamarca. Fuente: DANE

“Del total de la población de Ricaurte, el 51,2% son hombres y el 48,8% son mujeres”. (Lina Arevalo, 2019), como lo muestra en la tabla 12

Metodología

La metodología que se emplea es de tipo descriptivo y exploratorio ya que se evaluara el Mercurio y Cromo Hexavalente que presenta el rio Magdalena, siendo la zona de estudio próxima al sitio de captación del sistema de acueducto de Girardot-Ricaurte (Cundinamarca), realizando muestreo en época de lluvia y seca para evaluar la concentración de estos metales, comparativamente con la normativa vigente.

Se identificaron los registros históricos de calidad de agua cruda con respecto a las concentraciones de Mercurio y Cromo Hexavalente, dependiendo de esos resultados, si llegaran a ser los niveles de Mercurio y Cromo Hexavalente mayores los de la normativa, entonces se evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento actual y verificar que garantice la remoción a concentraciones seguras; en caso contrario, proponer un nuevo tren de tratamiento que permita cumplir lo requerido por la Resolución 2115 de 2007, Decreto 1575 de 2007 y como normativa internacional los parámetros establecidos por la OMS.

Se realizaron muestreos de agua cruda para su caracterización respecto a los metales en estudio, cumpliendo los requerimientos y protocolos establecidos en las normas técnicas colombianas como lo es la NTC ISO 5667 en donde tiene como objetivo, “directrices generales sobre las precauciones que se deben tomar para preservar y transportar muestras de agua, con excepción de las muestras microbiológicas” (ICONTEC, 2004). Las muestras se tomaron durante temporada seca y de lluvia para realizar su análisis en un ciclo hidrológico anual. La existencia de estos metales en concentraciones altas en el agua para consumo requiere de mejorías en el proceso de tratamiento del agua para su control como protección de la salud de la población.

Desarrollo de la Propuesta

Análisis de agua cruda en temporada de lluvias

Se realizó el muestreo de agua cruda en la bocatoma del acueducto que abastece a Girardot y Ricaurte, específicamente en las coordenadas 4°17'00.1"N 74°46'40.4"O, como se muestra en la ilustración 1.

Ilustración 1 Localización del muestreo de agua cruda Fuente: Google Maps

En cuanto a la manera de realizar el muestreo, se recolecto en botellas plásticas de un litro por cada metal a analizar, es decir dos botellas plásticas de 1000ml, posteriormente fueron depositadas en envases esterilizados tipo ámbar con hidróxido de sodio más buffer con pH menor o igual a 9, este químico es usado para la preservación de muestras. “Preservantes para muestras: Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), Ácido nítrico (HNO_3), Hidróxido de sodio (NaOH) 6N, Acetato

de Zinc 6N, Ácido clorhídrico concentrado (HCl) u otro cuando se requiera.” (IDEAM, 2007)

Ilustración 2 Muestreo Agua Cruda en Envase Plástico Fuente: Autores

Las muestras fueron llevadas el mismo día al laboratorio, es recomendable que las muestras sean examinadas en el menor tiempo posible, y preservadas a temperaturas entre 1°C a 5°C, como lo dice la NTC ISO 5667

En general, si las muestras se analizan en un lapso de 24 h, es suficiente la técnica de preservación con enfriamiento de 1 °C - 5 °C. Las muestras de agua de las plantas de alcantarillado municipales e industriales siempre se deberían preservar después del muestreo, debido a la actividad biológica en ellas. (ICONTEC, 2004)

Con el fin de encontrar registros históricos de caracterización de Mercurio y Cromo Hexavalente, “del agua cruda del río Magdalena, en el sitio de captación del acueducto de Girardot-Ricaurte (Cundinamarca)” (Labrado, Sánchez, & Vidales, 2017), se tienen investigaciones mencionadas en anteriormente en la sección de los antecedentes, de igual forma se resalta la investigación realizada por Oscar Efrén Ospina Zúñiga en donde se analiza si existe la presencia de Mercurio y Cromo Hexavalente en el rio Magdalena en el municipio de Purificación, (Ortiz Romero, 2015) esta investigación sirvió como iniciativa para la realización de este proyecto. De igual forma se tiene presente los estudios realizados por diversas entidades acerca de metales pesados en toda Colombia.

Tren de Tratamiento

Para ayudar a mitigar las trazas de mercurio y cromo hexavalente que pueden estar presentes en el agua de cruda del rio Magdalena, se planta una vinculación de carbón activado,

> El carbón activado (CA) es el adsorbente más usado en la industria. El CA tradicionalmente se obtiene a partir del carbón mineral, el cual es un recurso no renovable; esto conduce, además, a que se incremente el precio. Los materiales lignocelulósicos (residuos agrícolas) son una fuente renovable, abundante y económica para la preparación de carbones activados. Bajo este contexto, en este trabajo se ha utilizado la semilla de aguaje (fruto típico de la Amazonía) como material precursor del carbón activado. Para la preparación del CA se siguió una metodología probada en trabajos previos3-4 en donde se encontró que los CA que presentaron una mayor capacidad de adsorción de metales pesados en solución acuosa, fueron obtenidos a una temperatura de activación de 600°C. El objetivo de este trabajo es estudiar la capacidad de adsorción de los iones Pb^{2+}, Cr total, Cd^{2+} a diferentes pH empleando CA preparados a partir de la semilla de aguaje, con diferentes razones de impregnación y activados a la temperatura de 600°C. (Sun-Kuo, Obregón, Pinedo, Paredes, & Aylas, 2014)

Existen diversos métodos de implementar el carbón activado, uno de ellos a partir de aguaje,

> Estudios previos han demostrado que el carbón activado preparado a partir de semillas de aguaje (Mauritia flexuosa) tiene una alta capacidad de remoción de metales pesados. La modificación del carbón activado con nitrato de manganeso mediante una impregnación húmeda para adsorber cobre y plomo revela que la adsorción se incrementó hasta en un 30 %, en el caso del plomo la capacidad de adsorción se incrementó de 2,94 a 3,31 mg/g y para el cobre de 0,68 a 0,91 mg/g (Obregón, Ilse, & Rosario, 2020)

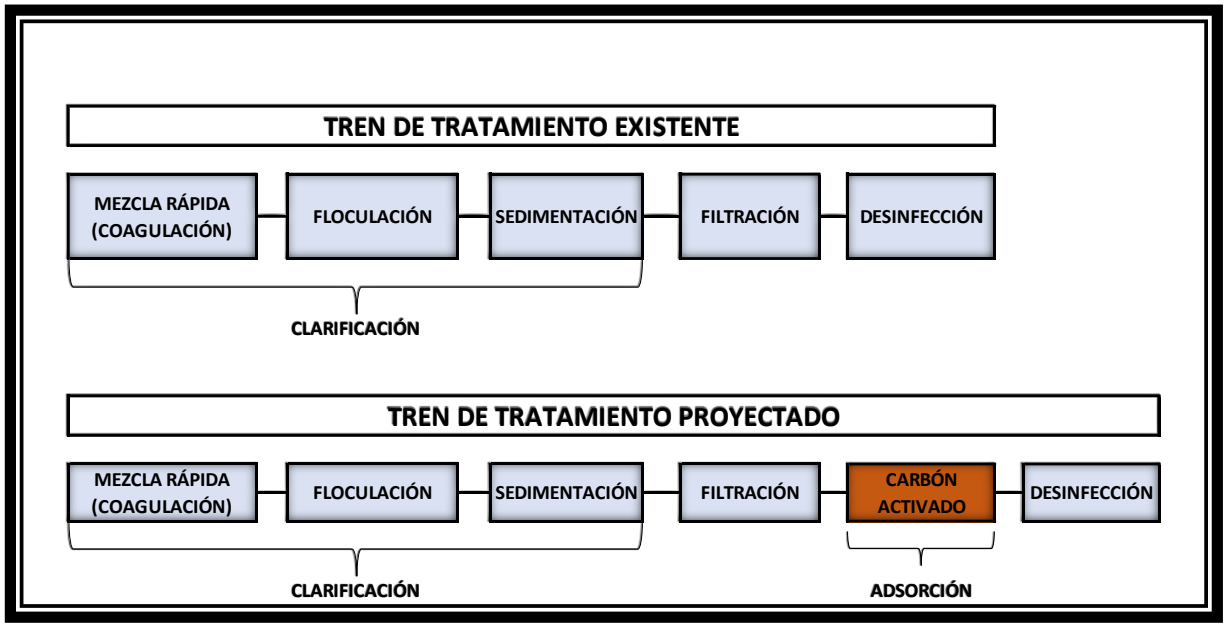
También hay investigaciones en donde utilizan el carbón activado preparado mediante las astillas de eucalipto para la remoción del cromo (VI), como se muestra a continuación,

> Los carbones activados pueden ser preparados a partir de materiales ricos en carbono como los materiales lignocelulósicos, tales como cáscara de coco, pepas de aceituna, bagazo de caña de azúcar, etc.; muchos de estos materiales, en la actualidad, son considerados desechos agrícolas. Con el fin de reducir los costos de producción, mayormente se buscan materiales económicos y disponibles en la región. Teniendo en cuenta lo anterior, para este trabajo se seleccionó como materia prima el Eucaliptus globulus Labill, que es una especie de eucalipto abundante en el Perú, especialmente en el valle del Mantaro. El presente estudio tuvo por objetivos la preparación y caracterización de carbones activados a partir de astillas de eucalipto, mediante activación química con H PO y KOH, y su aplicación como material adsorbente en la retención de Cr (VI) presente en soluciones acuosas. (Lavado, María del Rosario, & Recuey, 2012)

El carbón activado modificado mediante peróxido de hidrogeno es otra alternativa que se plantea para la remoción de metales pesados,

> El modelo usado describió la parte inicial de la curva de ruptura y los parámetros obtenidos permitieron diseñar y optimizar el funcionamiento de sistemas de adsorción en lecho fijo para la remoción de iones Hg2+ de efluentes acuosos. El carbón activado es un material carbonáceo y amorfo, compuesto básicamente de carbono que presenta una alta porosidad y extensa área superficial interna (Droguett, 1983; Castro et al., 1988; Arpa y otros, 2000; Primera et al., 2011). Estas características le confieren propiedades adsorbentes excepcionales que son explotadas en diferentes campos. La porosidad de los carbones activados es una de sus características principales y la adsorción en estos tiene lugar sobre la pared de los poros distribuidos dentro del material. (Colpas, Tarón, & Fon, 2016)
>
> Los carbones activados también son aplicados a la adsorción de contaminantes como gases e iones metálicos de mercurio, plomo (Li et al., 2010), cadmio y otros metales pesados (Garoma et al., 2010; Kim et al., 2011; Colpas et al., 2015). Otras propiedades del carbón activado son la densidad aparente, resistencia a la abrasión, el tamaño de partícula, superficie química y efectos de difusión y la 6distribución del tamaño del poro; esta última es obtenida utilizando isotermas de adsorción, principalmente por el método BET. La superficie química también juega un papel importante en la adsorción en el carbón activado ya que los heteroátomos y los grupos funcionales oxigenados de la superficie pueden actuar como sitios activos. (Colpas, Tarón, & Fon, 2016)

A continuación, se muestra gráficamente en que trayecto de la planta de tratamiento de agua potable de Girardot y Ricaurte, se implementara el tratamiento por medio d carbón activado.

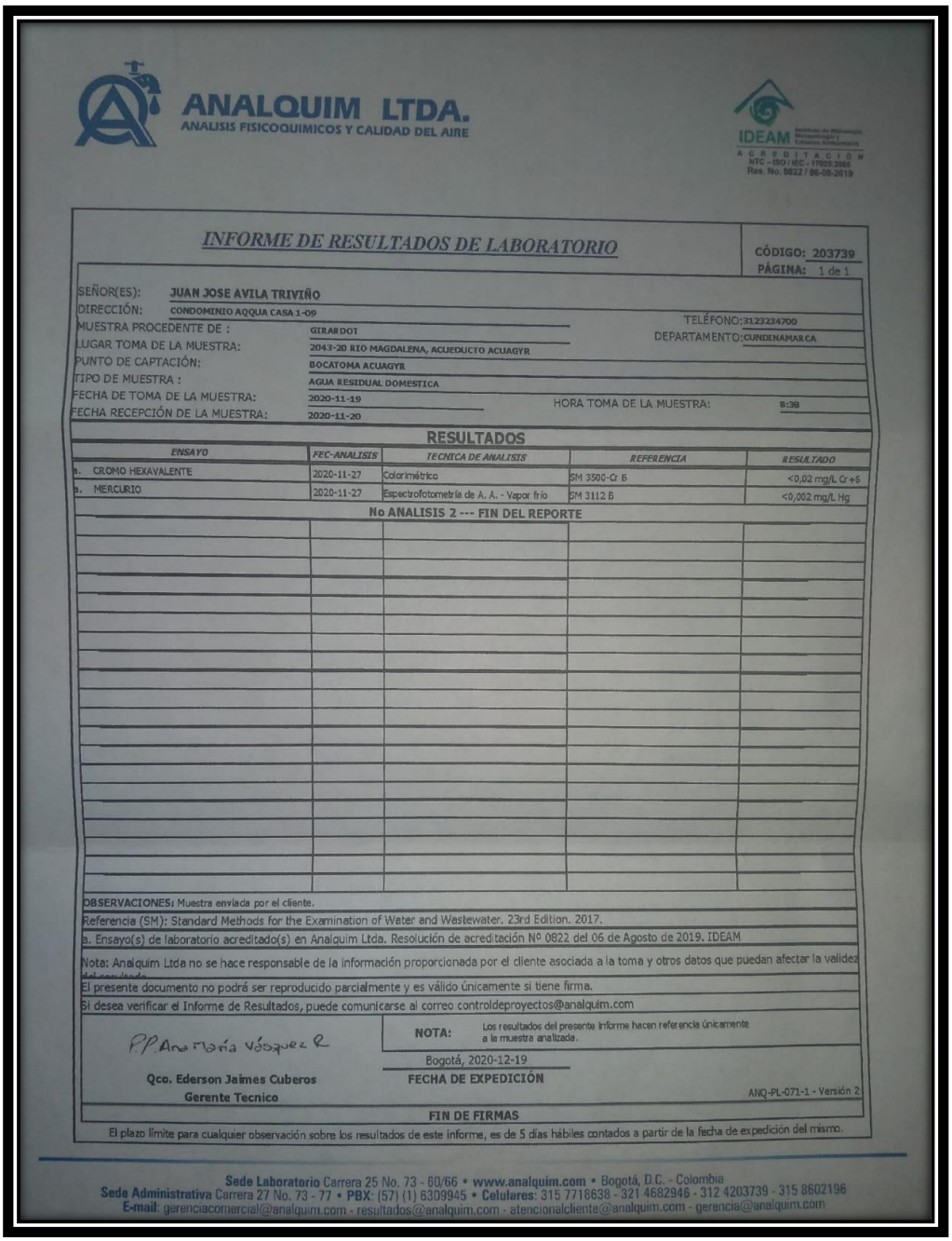


Grafica 1 Tren de Tratamiento Fuente: Los Autores

Análisis de resultados

Muestra en Temporada de Lluvias

Este muestreo se realizó el 19 de noviembre de 2020 a las 8:35am, en la ubicación mostrada en la ilustración 1. Según la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgos de Desastres “la segunda temporada lluvias 2020, que de acuerdo con los históricos se presenta de forma aproximada entre el período 16 de septiembre y 15 de diciembre, acorde al comportamiento climatológico del país” (Unidad Nacional para la Gestion del Riesgos de Desastres, 2020)



ANALQUIM LTDA.
ANALISIS FISICOQUIMICOS Y CALIDAD DEL AIRE

IDEAM
ACREDITACION
NTC – ISO / IEC - 17025:2005
Res. No. 0822 / 06-08-2019

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

CÓDIGO: 203739
PÁGINA: 1 de 1

SEÑOR(ES): JUAN JOSE AVILA TRIVIÑO
DIRECCIÓN: CONDOMINIO AQQUA CASA 1-09
TELÉFONO: 3123234700
MUESTRA PROCEDENTE DE : GIRARDOT
DEPARTAMENTO: CUNDINAMARCA
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA: 2043-20 RIO MAGDALENA, ACUEDUCTO ACUAGYR
PUNTO DE CAPTACIÓN: BOCATOMA ACUAGYR
TIPO DE MUESTRA : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA: 2020-11-19
HORA TOMA DE LA MUESTRA: 8:30
FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 2020-11-20

RESULTADOS

ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO
a. CROMO HEXAVALENTE	2020-11-27	Colorimétrico	SM 3500-Cr B	<0,02 mg/L Cr+6
a. MERCURIO	2020-11-27	Espectrofotometría de A. A. - Vapor frío	SM 3112 B	<0,002 mg/L Hg

No ANALISIS 2 --- FIN DEL REPORTE

OBSERVACIONES: Muestra enviada por el cliente.
Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition. 2017.
a. Ensayo(s) de laboratorio acreditado(s) en Analquim Ltda. Resolución de acreditación Nº 0822 del 06 de Agosto de 2019. IDEAM
Nota: Analquim Ltda no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente asociada a la toma y otros datos que puedan afectar la validez del resultado.
El presente documento no podrá ser reproducido parcialmente y es válido únicamente si tiene firma.
Si desea verificar el Informe de Resultados, puede comunicarse al correo controldeproyectos@analquim.com

NOTA: Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

PP Ana María Vásquez R
Qco. Ederson Jaimes Cuberos
Gerente Tecnico

Bogotá, 2020-12-19
FECHA DE EXPEDICIÓN

ANQ-PL-071-1 - Versión 2

FIN DE FIRMAS

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.

Sede Laboratorio Carrera 25 No. 73 - 60/66 • www.analquim.com • Bogotá, D.C. - Colombia
Sede Administrativa Carrera 27 No. 73 - 77 • PBX: (57) (1) 6309945 • Celulares: 315 7718638 - 321 4682946 - 312 4203739 - 315 8602196
E-mail: gerenciacomercial@analquim.com - resultados@analquim.com - atencionalcliente@analquim.com - gerencia@analquim.com

Resultado 1 Análisis Temporada de Lluvias Fuente: ANALQUIM LTDA (11 de Nov de 2021).

Al comparar los resultados del muestreo de temporada de lluvias con la normativa expuesta en el marco legal, se determina que el agua captada en temporada de

lluvias no contiene índices de mercurio y cromo hexavalente, superiores a los permitidos por la norma.

Muestra en Temporada Seca:

Este muestreo se realizó el 18 de agosto de 2021 a las 8:55am, en la ubicación mostrada en la ilustración 1. Según el IDEAM la temporada de lluvias se extenderá hasta mediados de septiembre del 2021, por ende, el muestreo de temporada seca se realizó en los tiempos establecidos “por el IDEAM, De acuerdo con el IDEAM, la temporada seca de mitad de año se extenderá hasta mediados de septiembre” (Radio Santa Fé , 2021)

ANALQUIM LTDA.
ANALISIS FISICOQUIMICOS Y CALIDAD DEL AIRE

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

CÓDIGO: 216144
PÁGINA: 1 de 1

SEÑOR(ES): JUAN JOSE AVILA TRIVIÑO
DIRECCIÓN:
TELÉFONO: 3162337844
DEPARTAMENTO: CUNDINAMARCA
MUESTRA PROCEDENTE DE : GIRARDOT
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA: 2299-2021 PLANTA TTO ACUAGYR - RICAURTE CUND.
PUNTO DE CAPTACIÓN: BOCATOMA RIO MAGDALENA
TIPO DE MUESTRA : AGUA TRATADA (POTABLE)
FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA: 2021-08-18
HORA TOMA DE LA MUESTRA: 08:10 H
FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 2021-08-19

RESULTADOS

ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO
z. CROMO HEXAVALENTE	2021-08-25	Colorimétrico	SM 3500-Cr B	<0,02 mg Cr+6/L
z. MERCURIO TOTAL	2021-08-24	Espectrometría de Absorción Atómica - Vapor frío	SM 3112 B (Modificado)	<0,001 mg Hg/L

No ANALISIS 2 --- FIN DEL REPORTE

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente.
Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition. 2017.
z. Parámetros no acreditados realizados en Analquim LTDA.
Nota: Analquim Ltda no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente asociada a la toma y otros datos que puedan afectar la validez del resultado.
El presente documento no podrá ser reproducido parcialmente y es válido únicamente si tiene firma.
Si desea verificar el Informe de Resultados, puede comunicarse al correo controldeproyectos@analquim.com

NOTA: Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, 2021-09-3
FECHA DE EXPEDICIÓN

Qca. Liza Bibiana Rodríguez
DIRECTORA DE LABORATORIO

ANQ-PL-071-1 - Versión 2

FIN DE FIRMAS

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.

Sede Laboratorio Carrera 25 No. 73 - 60/66 • **www.analquim.com** • Bogotá, D.C. - Colombia
Sede Administrativa Carrera 27 No. 73 - 77 • **PBX**: (57) (1) 6309945 • **Celulares**: 315 7718638 - 321 4682946 - 312 4203739 - 315 8602196
E-mail: gerenciacomercial@analquim.com - resultados@analquim.com - atencionalcliente@analquim.com - gerencia@analquim.com

Resultado 2 Análisis Temporada Seca Fuente: ANALQUIM LTDA(8 de Agostos de 2021).

Al comparar los resultados del muestreo de temporada de lluvias con la normativa expuesta en el marco legal, se determina que el agua captada en temporada de lluvias no contiene índices de mercurio y cromo hexavalente, superiores a los permitidos por la norma.

Conclusiones

- El muestreo de agua del río Magdalena se realizó en el punto de captación del sistema de acueducto, en la temporada de lluvia en noviembre del 2020 y seca en agosto del 2021, con el fin de evaluar la concentración de metales tóxicos en un ciclo hidrológico anual. Se realizó un solo muestreo por temporada, siendo recomendable para futuras investigaciones, ampliar el número de muestras para determinar con mayor precisión sobre los niveles de concentración de los metales tóxicos en estudio.

- Los registro histórico e investigaciones realizadas en el rio Magdalena, demuestran que los niveles de mercurio y Cromo Hexavalente en el agua no sobrepasan los parámetros admisibles establecidos en la normativa vigente para consumo humano (Resolución 2115 de 2007), pero hay evidencia de mayor concentración en los sedimentos que puedan conllevar a su incorporación al cuerpo de agua tiempo después, ellos constituyen un buen indicador del grado de contaminación para un área determinada; además, el sistema acuoso regula las tasas de adsorción-absorción en el sistema agua-sedimento, la adsorción remueve el metal de la columna de agua y luego este puede ser incorporado nuevamente; el pH y el potencial redox (Eh) regulan estos procesos. (Cogua, Campos, & Duque, 2012)

- Los análisis del laboratorio tomados en la captación del sistema de acueducto durante la temporada de lluvia tomada en noviembre del 2020 y para la temporada seca en agosto del 2021, demostraron que están por debajo de la norma, ya que es permisible hasta 0.05mg/l de Cromo Hexavalente (Cr6) y 0.006mg/l de Mercurio (Hg) y en la investigación los analices arrojaron que 0.02mg/l de Cromo Hexavalente (Cr6) y 0.002mg/l de Mercurio (Hg) de la temporada de lluvias; para la temporada seca se obtuvo 0.02mg/l de Cromo hexavalente (Cr6) y 0.001 de Mercurio (Hg).

- Debido a que no se encontraron niveles altos de los dos metales pesados que se investigaron los cuales son Mercurio (Hg) y Cromo Hexavalente (Cr6), se entiende que a la planta de tratamiento de agua potable no ingresan estos elementos contaminantes, el tren de tratamiento de la PTAP brinda una fuente de abastecimiento libre de estos metales.

- La preocupación por el riesgo de presencia de mercurio en cuerpos de agua en Colombia es alta, debido a su elevado uso en actividades mineras y especialmente en explotación artesanal de oro, ocupando el país el segundo lugar a nivel mundial de mercurio, a pesar de que en el ranking de su producción se ocupa el puesto 19. (Díaz, 2014)

Bibliografía

Acutecnica S.A.S. (29 de Abril de 2016). *Acuatecnica S.A.S*. Obtenido de ¿Que es una planta de tratamiento de agua potable?: https://acuatecnica.com/una-planta-tratamiento-agua-potable/

Aguapura. (26 de Julio de 2021). *AQUAMAQ PUREZA 24/7*. Obtenido de ¿QUE CAUSA LA PRESENCIA DE MERCURIO EN EL AGUA POTABLE?: https://www.aguapura.com.py/contaminacion-del-agua/mercurio-en-el-agua-potable/

Aguilera Bulla, D. A. (15 de Febrero de 2013). *Universidad de los Llanos.* Obtenido de Procedimiento de Analsis Fisico - Quimico de Agua Potable: https://sig.unillanos.edu.co/phocadownloadpap/PD-GAA-73%20PROCEDIMIENTO%20DE%20ANALISIS%20FISICOQUIMICO%20DE%20AGUA%20POTABLE.pdf

Alcaldía de Medellin. (1998). *Decreto 475 de 1998.* Obtenido de https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiO1NDblZvrAhWhSt8KHehWBnMQFjABegQIARAB&url=https%3A%2F%2Fwww.medellin.gov.co%2Firj%2Fgo%2Fkm%2Fdocs%2FAdmonContenido%2FDocumentosManualContratacion%2FNormatividad%2FDecreto%25204

Altahona, E., & Movilla, K. (Mayo de 2016). *Universidad de la Costa.* Obtenido de ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN PECES IMPORTADOS EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD HUMANA: https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/298/TRABAJO%20FINAL%20AN%C3%81LISIS%20DE%20CONCENTRACIONES%20DE%20MERCURIO%20EN%20PEC.pdf?sequence=1&isAllowed=yArroyo

Arroyo Sancho, S., & Pablo Aranda, M. (Noviembre de 2010). *Revista Cientifica de Enfermería.* Obtenido de Calidad del Agua Potable en Huesca: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/44812/1/RECIEN_01_06.pdf

Asociación Geoinnova. (7 de Febrero de 2019). *Geoinnova*. Obtenido de Contaminación hídrica y pérdida de calidad del agua: https://geoinnova.org/blog-territorio/contaminacion-hidrica-y-perdida-de-calidad-del-agua/

Ávila , H., Quintero, E., Angulo, N., Cárdenas, C., Araujo, M., Morales, N., & Prieto, M. (22 de Marzo de 2014). *Revista Multiciencias*. Obtenido de

Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del Sistema Lago de Maracaibo, Venezuela: https://www.redalyc.org/pdf/904/90430816005.pdf

Bernal Duffo, E. (Julio de 2013). *Revista Credencial*. Obtenido de El río Magdalena: Escenrio Primordial de la Patria: https://www.revistacredencial.com/historia/temas/el-rio-magdalena-escenario-primordial-de-la-patria

Briceño, I. (9 de Julio de 2021). *Radio Santa Fe*. Obtenido de Inicia la segunda temporada seca del año en la Región Andina: https://www.radiosantafe.com/2021/07/09/inicia-la-segunda-temporada-seca-del-ano-en-la-region-andina/

Camacho Sanchez, J. (9 de Marzo de 2020). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.* Obtenido de Diagnóstico sobre los niveles de cromo hexavalente (cr+6) en el tramo iv del río Tunjuelito: https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36849/jcamachosanc.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Camacho, J. (2019). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.* Obtenido de Diagnóstico sobre los niveles de cromo hexavalente (cr+6) en el tramo iv del río Tunjuelito. : https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36849/jcamachosanc.pdf?sequence=3&isAllowed=yCampos

Campos C., N. H. (1990). *Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.* Obtenido de La contaminación por metales pesados en la cienaga grande de Santa Marta, caribe colombiano: http://www.bdigital.unal.edu.co/35277/1/35544-139822-1-PB.pdf

Carbotecnia. (6 de marzp de 2020). Obtenido de metales pesados en el agua : https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/metales-pesados-en-el-agua/

Carrillo Pinilla, J., & Martinez Torres, M. (2017). *Universidad del Tolima.* Obtenido de RECONOCIMIENTO Y PROPUESTA DE INTERVENCION PARA EL EDIFICIO PLAZA DE MERCADO Y SU ENTORNO EN EL MUNICIPIO DE GIRARDOT AÑO 2017: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi0u-ftnN_zAhViTTABHX_IDzAQFnoECBEQAQ&url=http%3A%2F%2Frepository.ut.edu.co%2Fbitstream%2F001%2F2201%2F1%2FAPROBADO%2520JH

OAN%2520DAVID%2520CARRILLO%2520PINILLA.pdf&usg=AOvVaw3MW4sPo

Chang Gómez, J. (2009). *Escula Superior Politecnica del Litoral.* Obtenido de Calidad de Agua : https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf

Cogua, P., Campos, N., & Duque, G. (Diciembre de 2012). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR.* Obtenido de Concentración de mercurio total y metilmercurio en sedimiento y seston de la bahía de Cartagena, Caribe Colombiano: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612012000200002#:~:text=CONCENTRACI%C3%93N%20DE%20MERCURIO%20TOTAL%20Y%20METILMERCURIO%20EN%20SEDIMENTO%20Y%20SESTON%20DE%20LA%20BAH%C3%8DA%20DE%20CARTAGENA%2C%20CARIBE%20COLOMBIANO

Colpas, F., Tarón, A., & Fon, W. (3 de Agosto de 2016). *Información tecnológica.* Obtenido de Adsorción de Mercurio Utilizando Carbones Activados Modificados con Peróxido de Hidrogeno y Calentamiento: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000500009&script=sci_abstract

Concha, C., & Garcia, T. (2017). *ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMOHEXAVALENTE (VI) CON RELACIÓN AL pH EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CIÉNAGA DE LAS QUINTAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS.* Obtenido de FUNDACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICO COMFENALCO: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwizxu6vs53zAhVKRzABHSCIDm4QFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FHenry_Lambis-Miranda%2Fproject%2FSpatial-analysis-about-structural-patterns-of-fate-of-heavy-

Congreso de Colombia. (7 de Julio de 1979). *Ministerio de Salud .* Obtenido de Ley 9 de 1979: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf

Congreso de Colombia. (11 de Julio de 1994). *Defensoría del Pueblo.* Obtenido de LEY 142 DE 1994:

https://www.defensoria.gov.co/public/Normograma%202013_html/Normas/Ley_142_1994.pdf

Cordero, m., & Ullauri, P. (2011). *Universidad de Cuenca.* Obtenido de Tratamiento de agua druda, y proceso de agua potable: https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/747/1/ti874.pdf

Corte Constitucional de la Republica de Colombia. (19 de Abril de 2013). *Corte Constitucional.* Obtenido de ACCION DE TUTELA PARA SOLICITAR PROTECCION DEL DERECHO AL AGUA: https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2013/T-242-13.htm

Corte constitucional republica de Colombia. (2014). *corte constitucional republica de colombia.* Obtenido de corte constitucional republica de colombia: http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2018/t-223-18.htm

Córtes, H., & Mora, L. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA COMPACTO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA GRANJA LA FORTALEZA UBICADA ENEL MUNICIPIO DE MELGAR-TOLIMA.* Obtenido de Universidad Libre: https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11285/INFORME%2021.101.023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Días - Arriaga, F. (30 de Septiembre de 2014). *Revista Salud Publica.* Obtenido de Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano: https://scielosp.org/pdf/rsap/2014.v16n6/947-957/es

Díaz, F. (Diciembre de 2014). *Revista de Salud Publica.* Obtenido de Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642014000600012&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ecologistas en acción. (13 de mayo de 2013). *Contaminación por mercurio, exposición y riesgo.* Obtenido de ecologistas en accion: https://www.ecologistasenaccion.org/25804/contaminacion-por-mercurio-exposicion-y-riesgo/

EPA. (8 de Marzo de 2021). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de Información Basica sobre el Mercurio: https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio

EROSTEGUI, C. P. (2009). *Scielo org.* Obtenido de Scielo org: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013

Estival, J. R. (01 de mayo de 2019). *¿Qué es la biomagnificación?* Obtenido de Divulgazeral: http://www.azeral.es/divulgazeral/que-es-la-biomagnificacion

FACSA. (23 de enero de 2017). Obtenido de Metales pesados : https://www.facsa.com/metales-pesados/

Fernández, A. (13 de Octubre de 2012). *Revista QuimicaViva.* Obtenido de El agua: un recurso esencial: https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf

Fernando, J., Rosa, R. A., & Roberto, R. (2008). *Universidad Autonoma de Aguascalientes.* Obtenido de Toxicoilogía Ambiental: https://elibro.net/es/ereader/unipiloto/40705?page=88

Ferreira, L., Durán, R., & Pallares, M. (2005). *Universidad de Vigo*. Obtenido de El Mercurio como Contaminante Ambiental y Agente Neurotóxico: http://pallares.webs.uvigo.es/articulos/libro%20para%20web%20web.pdf

Florenacia Zurita, O. C. (2011). *SciElo.* Obtenido de SciElo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000700011

Fluence News Team. (29 de Julio de 2020). *¿Que es el cromo hexavalente?* Obtenido de Fluence: https://www.fluencecorp.com/es/que-es-el-cromo-hexavalente/

FONDO PARA LA COMUNICACIÓN Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL, A.C. (08 de 11 de 2007). *Agua.org.mx.* Obtenido de Contaminación del agua por metales : https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-metales/

Fontalvo, A., & Marrugo, J. (2017). *Metales pesados ensedimentos de laCuenca Baja del río Magdalena, Colombia.* Obtenido de Seminario InternacionaldeCienciasAmbientalesSUE-Caribe: http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2017_16.pdf

Garcia, J. I. (22 de diciembre de 1991). *EL Tiempo*. Obtenido de Magdalena: Metales que Matan: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-213259

Gaviria C., A., & Meza S., L. (7 de Mayo de 2006). *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellin Antiquia.* Obtenido de ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DEGRADACION DEL CIANURO EN EFLUENTES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SEGOVIA,

ANTIOQUIA Y EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA MINEROS NACIONALES, MUNICIPIO DE MARMATO, CALDAS: http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v73n149/a03v73n149.pdf

Gibb, H., & Poulin, J. (2008). *World Health Organization.* Obtenido de Mercurio Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local: l mercurio es un elemento metálico presente de manera natural en la corteza terrestre,

Gonzalez, P. (9 de mayo de 2018). *Mercurio: ¿Cómo es este metal líquido?* Obtenido de ok diario: https://okdiario.com/ciencia/mercurio-como-este-metal-liquido-2243364

Guzmán, A., & Guzmán, S. (2016). *Universidad Piloto de Colombia.* Obtenido de EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE CÁSCARA DE BANANO COMO ALTERNATIVA EN LA DESCONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EL AGUA DEL CAUCE DEL RÍO BOGOTÁ ANTES DE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO MAGDALENA EN EL MUNICIPIO DE Girard: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5801/EVALUACION%20DE%20LA%20EFICIENCIA%20DE%20LA%20UTILIZACION%20DE%20RESIDUOS%20ORGANICOS%20DE%20CASCARA%20DE%20BANANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hatoyama, M. (2013). *Enseñanzas de la Enfermedad de Minimata y el manejo del Mercurio en Japon.* Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente de Japón: http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/es_full.pdf

Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbón, H. (1 de Octubre de 2012). *Universidad nacional de Costa Rica*. Obtenido de Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjk2Y6ZtPDyAhV8TTABHY2RBIcQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4835669.pdf&usg=AOvVaw2bR0R0o4ubl07uVOyk7-5Q

Hopkins, W., Tatara, C., Brant, H., & Jagoe, C. (2003). *National Library of Medicine*. Obtenido de Relationships between mercury body concentrations, standard metabolic rate, and body mass in eastern mosquitofish (Gambusia holbrooki) from three experimental populations : https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12627646/

ICONTEC. (3 de Noviembre de 2004). *Norma Tecnica Colombiana.* Obtenido de CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. PARTE 3: DIRECTRICES PARA LA PRESERVACIÓN Y MANEJO DE LAS MUESTRAS: http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000140-e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf

IDEAM. (9 de Octubre de 2007). *Toma de Muestras de Aguas Residulales.* Obtenido de Equipos y Materiales: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

Instituto De Salud Global de Barcelona. (Junio de Noviembre de 2014). *IsGlobal.* Obtenido de La exposición al cromo en agua potable se asocia con niveles de cromo en sangre y pelo: https://www.isglobal.org/-/the-chromium-exposure-in-drinking-water-is-associated-with-blood-and-hair-chromium-levels?inheritRedirect=true

Izquierdo, J., & Verástegui, S. (Junio de 2017). *Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.* Obtenido de CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (As, Cd, Cr, Hg y Pb) EN EL AGUA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE, EN RELACIÓN A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA - CATEGORÍA 3, CAJAMARCA - 2016. : http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/213/TESIS%20100%25%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Javier, H. E., & Augusto, C. C. (2017). *Diseño y Construcción de una Planta Modelo de Tratamiento para la Potabilización de Agua, se Dispondra en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Católica de Colombia*. Obtenido de Universidad Catolica de Colombia: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14556/1/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCION%20DE%20UNA%20PLANTA%20MODELO%20DE%20TRATAMIENTO%20PARA%20LA%20POTABILIZACION%20DE%20AGUA.pdf

Jessica Leal, Y. G. (2018). *Evaluacion de la contaminacion del agua para consumo humano por aluminio. provincia del alto magdalena, departamento de cundinamarca .* girardot : Universidad piloto de Colombia .

Labrado, E., Sánchez, H., & Vidales, K. (2017). *Universidad Piloto.* Obtenido de VIABILIDAD DEL RÍO MAGDALENA COMO FUENTE DE AGUA PARA

CONSUMO HUMANO - CASO APLICATIVO MUNICIPIO NARIÑO (CUNDINAMARCA), COLOMBIA: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5540/VIABILIDAD%20DEL%20RIO%20MAGDALENA%20COMO%20FUENTE%20DE%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20-%20NARI%c3%91O.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lancheros, L. (1 de Noviembre de 2014). *Universidad Militar.* Obtenido de Contenido de Mercurio en Músculos de algunas especies ícticas de interés comercial presentes en ocho sitios de muestreo de la cuenca (Baja, Media y Alta) del rio Magdalena: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10876/CONTENIDO%20DE%20MERCURIO%20EN%20M%c3%9aSCULO%20DE%20ALGUNAS%20ESPECIES%20%c3%8dCTICAS%20DE%20INTER%c3%89S%20COMERCIAL%20PRESENTES%20EN%20OCHO%20%20SITIOS%20DE%20MUESTREO%20DE%20LA%20CUENCA

Latorre Estrada, E. (1994). *Medio Ambiente y Municipio en Colombia.* Bogota D.C.: Presencia.

Lavado, C., María del Rosario, S., & Recuey, N. (13 de Febrero de 2012). *Revista de la Sociedad Química del Perú.* Obtenido de Remoción e Cromo (VI) empleando carbones preparados para activación química a partir de las astillas de eucaliptoRemoción e Cromo (VI) empleando carbones preparados para activación química a partir de las astillas de eucalipto: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000100003

Lenntech. (8 de Abril de 2015). *Lenntech*. Obtenido de Propiedades químicas del Cromo - Efectos del Cromo sobre la salud - Efectos ambientales del Cromo: https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm

Lina Arevalo, D. P. (2019). *CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA VEREDA SAN FRANCISCO DEL MUNICIPIO RICAURTE CUNDINAMARCA .* Obtenido de UNIVERSIDAD DE CUNDINARMARCA : https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2881/Proyecto%20de%20grado%20final%20DALI%20repositorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Londoño , L., Londoño, P., & Muñoz, F. (Julio - Diciembre de 2016). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* Obtenido de Los Riesgos de los

Metales Pesados en la Salud Humana y Animal: http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf

Losada, N. (12 de febrero de 2019). *Asociacion geoinnova.* Obtenido de contaminacion hidrica y perdida de calidad de agua : https://geoinnova.org/blog-territorio/contaminacion-hidrica-y-perdida-de-calidad-del-agua/?gclid=EAIaIQobChMI-uXh-OmE6QIVxICfCh1zFgZDEAAYASAAEgI75fD_BwE

M. Arauzo, M. Rivera, M. Valladolid, C. Noreña, & O. Cedenilla. (2003). *Concejo Superior de Investigaciones Científicas.* Obtenido de Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama: https://digital.csic.es/bitstream/10261/35521/1/Cromo%20en%20Jarama,%20Limnetica%202003%20(22)%2087-100.pdf

Mahecha Bernate, L., Bernal Castro, J., & Ramírez Calderón, J. (2020). *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.* Obtenido de Determinación de la presencia de mercurio en la especie Pimelodus clarias y en sedimentos procedentes de la zona de confluencia del río Bogotá con el río Grande de la Magdalena y su posible impacto social.: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjojsihrdzyAhWiSjABHdGIBMcQFnoECAYQAQ&url=http%3A%2F%2Frevistas.ucundinamarca.edu.co%2Findex.php%2FCiencias_agropecuarias%2Farticle%2Fdownload%2F223%2F129&usg=AOvVaw3_u3K8jzXkxLOvUEj

Mahecha, L., Bernal, J., & Ramírez, J. (2017). *Universidad de Cundinamarca.* Obtenido de Determinación de la presencia de mercurio en la especie Pimelodus clarias y en sedimentos procedentes de la zona de confluencia del río Bogotá con el río Grande de la Magdalena y su posible impacto social.: http://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias_agropecuarias/article/view/223

Mancera Rodríguez, N., & Álvarez León, R. (27 de Enero de 2006). *Universidad Nacional Facultad de Ciencias Agropecuarias.* Obtenido de Estado del Conocimiento de las oncentraciones de Merecurio y otros Metales Pesados en Peces Dulceacuícolas de Colombia: file:///E:/Semillero/27140-Texto%20del%20art%C3%ADculo-100723-1-10-20120320.pdf

MINAM. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio. Salud y Ambiente.* Obtenido de Lima. Peru: Ministerio del Ambiente. Modulo 1: https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/93/BIV01759.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mineriaenlinea. (21 de Febrero de 2019). *Metacinabrio .* Obtenido de mineriaenlinea : https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/metacinabrio/

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Gobierno de Guatemala.* Obtenido de Guías para el manejo de productos quimicos y desechos peligrosos: https://www.marn.gob.gt/Multimedios/1992.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . (18 de Noviembre de 2010). *Ministerio de Ambiente.* Obtenido de Resolución 4716 de 2010: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/76-Res_4716_2010.pdf

Ministerio de la proteccción social. (22 de Junio de 2007). *Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial*. Obtenido de Resolución número 2115: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5540/VIABILIDAD%20DEL%20RIO%20MAGDALENA%20COMO%20FUENTE%20DE%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20-%20NARI%C3%91O.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Montenegro, M., & Arturo, F. (Septiembre de 2001). *Evaluación de la Contamminación por Mercurio en Población de Mineros Artesanales de Oro de la Comunidad de Santa Filomena - Ayacucho - Perú.* Obtenido de Universidad Nacional de San Marcos: https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Tesis/Salud/Monteagudo_M_F/Generalidades.pdf

Obregón, D., Ilse, A., & Rosario, S. (9 de Marzo de 2020). *Revista de la sociedad Química del Perú.* Obtenido de Remoción de mercurio empleando carbón activadopreparado a partir de aguaje (Mauritia flexuosa): http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2020000100070&script=sci_arttext

OEHHA Science for a Healthy California. (9 de Noviembre de 2016). *Efectos del Cromo Hexavalente sobre la salud .* Obtenido de Oficina de Evaluación de Peligros de Salud Ambientales : https://oehha.ca.gov/media/downloads/faqs/sphexchromiumairfact111616.pdf

ONU. (3 de Enero de 1976). *Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales.* Obtenido de Articulo 11: https://www.hchr.org.co/documentoseinformes/documentos/html/pactos/pacto_internacional_derechos_economicos_sociales_culturales.html

ONU. (Septiembre de 2015). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Obtenido de Objetivo numero 6: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

Ordónez, J. (14 de Abril de 2015). *foro nacional ambiental.* Obtenido de El río Magdalena y su navegabilidad: https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/11632.pdf

Ortega, D. (2015). *Universidad Técnica de Machala "Calidad, Pertinencia y Calidez".* Obtenido de CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE METALES PESADOS (Pb, Hg) EN SEDIMENTOS EN TRES LOCALIDADES DEL ESTERO GRANDE, DE LA ZONA COSTERA DE LA PROVINCIA DE EL ORO 2014: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2841/2/CD000019-TRABAJO%20COMPLETO-pdf

Ortiz Romero, L. T. (Diciembre de 2015). Determinación de metales pesados e inidices de calidad en aguas y sedimentos del río magdalena - Tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga CIENCIAS - QUIMICAS*, 43-60. Obtenido de Determinación de metales pesados e inidices de calidad en aguas y sedimentos del río magdalena - Tramo Tolima, Colombia: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiChcuy6L_uAhUl11kKHdhFDFgQFjABegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5710210.pdf&usg=AOvVaw2_MBnTqngsC51-oUfpzVe7

Ortiz, L., Delgado, J., Pardo, D., Murillo, E., & Guio, A. (Diciembre de 2015). *Revista Tumbaga V. 2, N. 10, pp. 43-60.* Obtenido de Determinación de Metales Pesados e Indices de Calidad en Aguas y Sedimentos del Río Magdalena - Tramo Tolima, Colombia: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiF_aiMmdLyAhWARjABHYvxDqMQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5710210.pdf&usg=AOvVaw2_MBnTqngsC51-oUfpzVe7

Ortiz, L., Delgado, J., Pardo, D., Murillo, E., & Guio, J. (Diciembre de 2015). *Revista Tumbaga.* Obtenido de DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS E INDICES DE CALIDAD EN AGUAS Y SEDIMENTOS DEL RIO MAGDALENA - TRAMO TOLIMA COLOMBIA: https://www.researchgate.net/publication/316550946_DETERMINACION_DE_METALES_PESADOS_E_INDICES_DE_CALIDAD_EN_AGUAS_Y_SEDIMENTOS_DEL_RIO_MAGDALENA_-_TRAMO_TOLIMA_COLOMBIA_HEAVY_METALS_DETERMINATION_AND_QUALITY_INDEXES_IN_WATER_AND_SEDIMENTS_FROM_MAGDALE

Pájaro, Y., & Díaz, F. (16 de Julio de 2012). *Revista Colombiana de Química, Volumen 41.* Obtenido de Remoción de Cromo Hexavalente de Aguas Contaminadas usando Quitosano obtenido de Exoesqueleto de Camarón: https://www-proquest-com.unipiloto.basesdedatosezproxy.com/docview/1677177826/C3E462E154004920PQ/3?accountid=50440

Patiño, E. (31 de marzo de 2014). *Las aguas del río Magdalena, envenenadas por el mercurio.* Obtenido de El Espectador : https://blogs.elespectador.com/cultura/otro-mundo-es-posible/las-aguas-del-rio-magdalena-envenenadas-por-el-mercurio

Quiroz Londoño, C. (Noviembre de 2019). *Universidad Militar Nueva Granada.* Obtenido de CONTAMINACIÓN ANTRÓPICA CAUSADA A LOS PRINCIPALES AFLUENTES DEL PAÍS Y LA RESPONSABILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL DEL INGENIERO DE HOY: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32561/QuirozLondo%C3%B1oCarlosMario2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Radio Santa Fé . (9 de Julio de 2021). *Radio Santa Fé*. Obtenido de Inicia la segunda temporada seca del año en la Región Andina: https://www.radiosantafe.com/2021/07/09/inicia-la-segunda-temporada-seca-del-ano-en-la-region-andina/

Rama, A. m. (16 de marzo de 2011). *Depuración de Cromo III en aguas residuales que contienen alta carga proteica.* Obtenido de Universidad Pablo de Olavide de Sevilla : https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/49657-Depuracion-de-Cromo-III-en-aguas-residuales-que-contienen-alta-carga-proteica.html

Ramirez, X. D. (3 de Noviembre de 2017). *17 años después de Erin Brockovich, la contaminación de las aguas subterráneas persiste.* Obtenido de iagua: https://www.iagua.es/blogs/xavi-duran-ramirez/17-anos-despues-erin-brockovich-contaminacion-aguas-subterraneas-persiste

Redacción el Tiempo. (20 de Octubre de 2013). *El Tiempo.* Obtenido de Sin freno, contaminación en las aguas del río Magdalena: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13136440

Revilla, C. (3 de Abril de 2018). *iagua*. Obtenido de Preocupados: contaminación del agua a causa de la minería: https://www.iagua.es/blogs/carlos-revilla-calcina/preocupados

Revista Consumer. (2008). *Consumer EROSKI.* Obtenido de Metales pesados Toda una amenza: https://revista.consumer.es/portada/toda-una-amenaza.html

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (13 de Junio de 2016). *Contaminación por Metales Pesados: Impliacaciones en Salud, Ambeintal y Seguridad Alimentaria.* Obtenido de Universidad Pontificia Bolivariana : https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjziLL0rqzyAhX2TjABHd43B6UQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F6096110.pdf&usg=AOvVaw2ByI3nb2DPCpWkFlTO_zGM

Rodríguez Dominguez, Y., & Herrera Ortiz, D. (2016). *Evaluación de la carga contaminante del río Magdalena con incidencia en la calidad del Agua para consumo humano de la población de Girardot (Cundinamarca, Colombia).* Obtenido de Universidad Piloto: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5812/Evaluacion%20Carga%20Contaminante%20Rio%20Magdalena.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez Heredia, D. (2017). *Intoxicación ocupacional por metales pesados.* Obtenido de Scielo: http://scielo.sld.cu/pdf/san/v21n12/san122112.pdf

Saad, N. J. (Septiembre de 2019). *Universidad Militar Nueva Granada.* Obtenido de Tendencia en la investigación sobre los metales pesados (CD, CR, AS, HG, PB, ZN) y su afectación en el río Bogota: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32310/SAADGUTIERREZNESTORJOSE2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Saenz, L. (2016). *EVALUACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA REMOCIÓN DE MERCURIO Y PLOMO CON; Pseudomona aeruginosa INMOVILIZADA SOBRE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR EN TRES MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO MAGDALENA.* Obtenido de Universidad de Cundinamarca: https://xdoc.mx/documents/pseudomona-aeruginosa-inmovilizada-sobre-carbon-5e1ccfed79b26

Sanchez, J. C. (2016). *Diagnostico sobre los niveles de cromo hexavalente (cr+6) en el tramo iv del rio tunjuelito .* Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia : https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36849/jcamachosanc.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Scielo. (18 de Mayo de 2016). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* Obtenido de Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjiisz39b3yAhVeTjABHZtFBiIQFnoECDAQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fscielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DS1692-35612016000200017&usg=AOvVaw0ZdsOPW-muxTlJz4

Solano Arce, M. (Noviembre de 2011). *Universidad Nacional de Costa Rica.* Obtenido de Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media - alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo: https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf

Sun-Kuo, M., Obregón, D., Pinedo, Á., Paredes, A., & Aylas, J. (Diciembre de 2014). *Scielo*. Obtenido de Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000400002

Unidad Nacional para la Gestion del Riesgos de Desastres. (15 de Septiembre de 2020). *Segunda Temporada de Lluvias 2020.* Obtenido de Plan Nacional de Contingencia: http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Manejo/200921%20PNC-2T-lluvias-2020-VF%20(1).pdf

Vargas, S. P., & Marrugo, J. L. (9 de Enero de 2019). *Universidad Nacional de Colombia.* Obtenido de Mercurio, Meltimercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: Riesgo por ingesta.

VIGO, F. D. (2017). *FORA DE VIGO.* Obtenido de FORA DE VIGO: https://www.farodevigo.es/especiales/dia-mundial-agua-2017/2017/03/medir-reducir-presencia-metales-pesados-agua-n1248_2_36323.html

Zambrano Cárdenas, R. (Abril-Junio de 2014). *Universidad Autonoma de Nayarit.* Obtenido de El mercurio y sus consecuencias en la salud: http://dspace.uan.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/287/1/El%20mercurio%20y%20sus%20consecuencias%20en%20la%20salud.pdf

Zuñiga, O., Murillo, F., & Toro, M. (3 de Diciembre de 2018). *INCIDENCIA DEL RÍO BOGOTÁ EN LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA, MUNICIPIO DE FLANDES (TOLIMA).* Obtenido de Universidad de Caldas: https://www.redalyc.org/journal/3217/321764932007/html/