

**POTABILIZACIÓN DEL AGUA CON REMOCIÓN DEL MERCURIO REMANENTE
EN LAS MINERÍAS DE ORO.**

autor

MANUEL JOSE FLOREZ MERIÑO

Director

JULIO ISAAC MALDONADO M

Ingeniero Civil

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, JUNIO 6 DE 2022

Agradecimientos

A Dios:

Por ser el guía diario de mi vida, por darme la salud y el bienestar suficiente para poder salir adelante, por ser esa persona que siempre me ha dado fuerzas en mis momentos más difíciles, por ser mi amigo y mi confidente, veedor de todos mis sacrificios y mis noches de desvelo, gracias a ti hoy me esto formando como profesional, estoy dando grandes pasos en mi vida profesional, y creciendo a nivel personal.

A mis Padres:

Por ser el apoyo más inmenso que pude tener en todos estos años de formación, por guiarme y enseñarme lo que en realidad vale, por darme ánimos y amarme de la manera más única que puede existir, por siempre apoyarme en mis decisiones y en cada una de las cosas que quería ser, hoy gracias a todo eso que me han dado me estoy formando como una gran persona, como un gran profesional, esto es por ustedes y para ustedes.

A mis Docentes:

Por ser una parte muy grande de mi vida, por enseñarme tantas cosas en todos estos años, tanto a nivel personal como profesional, por forjarme y darme lo mejor de ellos para que hoy llegara hasta aquí, donde me encuentro hoy, total gratitud para ustedes, que mi Dios me los bendiga siempre, para que sigan enseñando a los que vienen detrás de los que hoy nos sentimos orgullosos de ser futuros profesionales.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. GENERALIDADES	3
1.1. Planteamiento de la Justificación	3
1.2. Justificación de la Monografía	5
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo General	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.....	9
3.1. Origen de las Herramientas	9
3.2. Oro.....	11
3.3. Agua	12
3.3.1. <i>Propiedades del agua.</i>	12
3.3.2. <i>Contaminación del agua.</i>	13
3.3.3. <i>Otros contaminantes específicos</i>	14
CAPITULO IV METODOLOGÍA PARA LA REMOCION DE MERCURIO	17
3.4. Proceso de extracción del oro.....	17
3.4.1. <i>El bateo</i>	17
3.4.2. <i>Amalgamación con mercurio</i>	18
3.4.3. <i>La extracción con cianuro</i>	19
3.5. Impacto que se genera a partir de la extracción del oro.	19
3.5.1. <i>Impactos por amalgama con el mercurio</i>	20
3.5.2. <i>Impactos por cianuración</i>	20
3.5.3. <i>Impacto de la minería de oro y del mercurio en las fuentes hídricas para el consumo humano.</i>	20
3.6. <i>Concentraciones de mercurio en aguas superficiales.</i>	21
3.7. Tratamiento para aguas superficiales contaminadas	22
3.7.1. <i>Tratamiento físico-químico del agua</i>	23
CAPITULO V. EL MERCURIO EN LA MINERÍA DE ORO	30

5.1. Potabilización del agua.....	30
5.1.1. <i>Proceso de potabilización del agua</i>	30
5.1.2. <i>Tratamientos específicos</i>	33
CAPITULO VI. DEBATE.....	39
CAPITULO VII. CONCLUSIONES.....	40
6. Bibliografía.....	41

Lista de tablas

Tabla 1. Estimación de valor para la elaboración	6
Tabla 2. Elaboración del oro por departamentos en Colombia.....	6
Tabla 3. Mercurio concentrado por naturalidad.....	22
Tabla 4 . Concentraciones para el consumo humano según legislación colombiana	22

Lista de figuras

Figura 1. Principales regiones mineras	7
Figura 2. Imagen ilustrativa de chopper	9
Figura 3. Técnica levallois 1	10
Figura 4. Técnica levallois 2.....	10
Figura 5. Herramientas utilizadas en el paleolítico.....	11
Figura 6. Estructura del Cristal Violeta	15
Figura 7. Estructura azul de Metileno.....	15
Figura 8. Estructura azul de metileno	16
Figura 9. Extracción de bateo	18
Figura 10. Proceso de Mercurio.....	18
Figura 11. Proceso de Cianuración	19
Figura 12. Coagulación-Floculación.....	24
Figura 13. Planta de tratamiento Coagulación-Floculación.....	26
Figura 14. Esquema de un tratamiento biofísico de aguas residuales.....	27
Figura 15 . Monitoreo en línea del proceso del tratamiento físico-químico del agua	28
Figura 16. Potabilización convencional de aguas superficiales.....	32
Figura 17. Proceso de electrocoagulación	35
Figura 18. Remoción de metales por Membrana.....	38

POTABILIZACIÓN DEL AGUA CON REMOCIÓN DEL MERCURIO REMANENTE EN LAS MINERÍAS DE ORO

RESUMEN

La potabilización del agua es un proceso que permite la eliminación de diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos, bacterias o virus presentes que pueden afectar al ser humano en la salud, siendo el mercurio uno de los elementos existentes más tóxicos para el ser humano, en esta monografía se indica la manera de cómo se realiza la remoción de este metal pesado presente en las aguas de fuentes superficiales como consecuencia en una de las actividades más conocidas por su posicionamiento en la economía mundial como es la minería de oro, ya que el mercurio es un elemento que se utiliza para extraer este preciado metal en minería fluvial y los escapes de mercurio afectan de manera grave al agua contaminándola y haciendo que esta no pueda ser consumida por la población aguas abajo, razón por la cual se presentan aquí los diferentes procesos de tratamiento que permiten realizar la remoción de este tóxico y pueda ser entregado en valores admisibles, para que el agua pueda ser consumida tanto por las personas, como por los animales y las diferentes industrias en cada una de sus actividades de producción sin perjuicios y puedan satisfacer las necesidades del ser humano.

Palabras claves: Minería, oro, remoción, mercurio, potabilización, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, electrocoagulación, membrana.

ABSTRACT

The purification of water is a process that allows the elimination of different organic and inorganic contaminants, bacteria or viruses present that can affect the human being's health, being, mercury is one of the most toxic existing elements for the human being, in This monograph indicates the way in which the removal of this heavy metal present in water from surface sources is carried out as a consequence of one of the activities best known for its position in the world economy, such as gold mining, since mercury It is an element that is used to extract this precious metal in river mining and mercury leaks seriously affect the water, contaminating it and making it impossible for the population downstream to consume it, which is why the different processes are presented here. of treatment that allow the removal of this toxic and can be delivered in admissible values, so that the water can to be consumed both by people, as well as by animals and the different industries in each of their production activities without prejudice and can satisfy the needs of the human being.

Keywords: Mining, gold, removal, mercury, purification, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, electrocoagulation, membrane.

GLOSARIO

Potabilización: Eliminación de sustancia toxica para el ser humano, siendo esto el cromo, plomo y zinc, similarmente también lo son las algas, que se encuentran. Es eliminación por diferentes potenciales que sea de riesgo para la salud del ser humano.

Coagulación: Procedimiento difícil en el que participa las células sanguíneas expertas llamadas plaquetas.

Floculación: Procedimiento en el cual se adiciona una sustancia floculante, para la unión de una sustancia coloidal.

Sedimentación: Proceso en el que se deposita o precipita el material transportado, tomando diferentes representantes.

Filtración: Técnica la cual separa la partícula solida del líquido por medio de un filtro.

Remoción: Consiste en la eliminación de un objeto, por diferentes motivos, ya sea en caso de riesgo, para realizar una limpieza, entre otras cosas. (Definiciones y que , s.f.)

Mercurio: Elemento natural, que se puede encontrar en medio ambiente o en depósitos de carbón, al reaccionar este con otra sustancia forma un compuesto. (Español epa , s.f.)

Minería de oro: Actividad económica en la cual se extrae el oro del suelo. Existiendo varias maneras de extraerlo a lo largo del transcurso de la historia, generando procesos de manera económica, social e histórica en el mundo. (Casallas, 2015)

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento veraz, que toma una agrupación para el dominio, haciéndola única y más abundante sobre la tierra. Tiene gran significado dentro del ciclo de vida de un organismo, encontrándose en los estados líquido, sólido y gaseoso, existiendo en permanente equilibrio. Su estructuración molecular es una interacción no covalente entre dos moléculas polares, ya que su constante dieléctrica es alta, comparada con los diferentes tipos de líquido existente, disolviendo cualquier sustancia, en una cantidad pequeña, siendo considerado como el solvente universal, de esta manera el agua es químicamente pura, la cual lleva en disolución materias químicas inorgánicas, materia orgánica, metales, gases, sales entre otros.

Algunos procesos y métodos existentes se utilizan para el tratamiento del agua como la coagulación, la floculación, sedimentación o decantación, la filtración, el ablandamiento donde se evita la visualización de sal de calcio y de magnesio, y a su vez la desmineralización del agua, la cual evita que se encuentre un elevado contenido en sales disueltas, evitando la presencia de sílice, entre otros.

Por otra parte, tenemos que al momento de potabilizar el agua se trata para que pueda ser utilizada por el ser viviente, sin riesgo alguno para su salud, al beberla o al preparar los alimentos, siendo la principal función la eliminación de sustancias contaminantes y tóxicas. La remoción del mercurio es empleada como una barrera biológica en diferentes fuentes de humedad lo cual permite asociarse con tecnologías para así tener un avance.

En el presente trabajo se realiza con el fin de analizar la potabilización del agua con remoción del mercurio remanente de las minerías de oro, ya que es uno de los más grandes factores que existen hoy en día a nivel mundial por su explotación especialmente en minería fluvial y el amplio número de actividades afines, que mueven altos montos de inversión bastante representativos en la economía de un país. Las emisiones del mercurio son bastante preocupantes, porque es altamente tóxico y se propaga de gran manera en la acumulación de las aguas naturales, afectando a millones de seres vivientes del mundo, por eso desde hace mucho tiempo se quiere realizar un llamado para la suspensión de uso de este metal pesado, para evitar que se sigan colocando en riesgo muchas vidas y ecosistemas bióticos.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. Planteamiento de la Justificación

Mercurio, elemento metálico líquido el cual se encuentra a temperatura ambiente, este se conoce y es utilizado hace ya más de veinte siglos, realizando altos consumos del mismo hasta finales del siglo XV, siendo hoy día un elemento escaso y exclusivo.

El que se origina en la tierra de manera magnate, que se emana como producto de desgasificación que se presenta al fluir por las fallas geológicas, iniciando un ciclo natural, el cual pasa desde la corteza terrestre, tomando aire, llegando al agua y a los suelos, refugiándose en las plantas, ayudando los animales y de ultimo llega al hombre. Reiniciándose de forma sólida, disuelta, absorbida y gaseosa, explicación que hace que este metal posea ciertas propiedades que lo hacen único, permitiéndole moverse en los diferentes medios ya sea física o química. (Organization, 2007)

Uno de los mayores contribuyentes para que el mercurio se encuentre en el medio es el carácter natural, ya que se encarga de esparcirlo a través de emisiones volcánicas y evaporación de los cuerpos del agua, conviviendo la humanidad un medio ambiental siempre con alta contenido de mercurio, con concentraciones que han venido aumentando considerablemente, desde que se dio el inicio a la era industrial, ya que la actividad desarrollada por el ser viviente generaliza la exposición en el desecamiento minero, en los de suelos y arrosos de los productos industriales contaminados, registrándose emisiones pequeñas del mercurio, viéndose afectados por el debido transporte

continental y del mundo del mercurio. (Ambiente P. d., 2005), hasta zonas de alta minería fluviales o con procesos fuertemente industrializados.

Tomando en cuenta la parte toxicológica, existe diferentes lugares donde se puede encontrar el mercurio, el elemental, el inorgánico que se da por medio de las sales del mercurio y el óxido de mercurio, y el orgánico, los que poseen diferentes grados de toxicidad, teniendo la capacidad de los cambios en las neuronas de las personas. (S, Español, 2001)

La minería es la actividad económica más antiguas de la humanidad, clasificándose en épocas de prehistoria según el utilizado, como lo es la época de piedra, la época de bronce y la época de hierro, desarrollándose en el mundo con distintas variaciones.

Tras una crisis mundial en la economía del oro, se tuvo un impacto muy fuerte en el cambio climático, en los medios agrícolas y demás, hablándose de pequeña minería en donde se explotan yacimientos por individuos, grupos, familias o cooperativas que no minimizan la mecanización y operan de manera informal en el mercado, por lo anterior toda esa situación afecta los impactos ambientales que de manera directa tiene un impacto negativo para el ecosistema y sobre todo la salud humana, ya que al realizar técnicas rudimentarias empeoran más aún la situación por lo cual se puede ver afectada la salud por la exposición al polvo, mercurio entre otros, además de esto, el ruido la vibración generan riesgos los cuales son dañinas para el ecosistema. (Energetica, 2006)

El mercurio es utilizado para la extracción y la separación del oro en roca y piedra, en el cual se adhiere, tomando una amalgama que separa, posteriormente es calentada para que el mercurio sea evaporado, quedando el oro líquido y después sólido libre. En pequeña escala esta es una fuente de liberación intencional, consumiendo hasta 806 toneladas al mes.

Los lugares con los cuales se cuenta con más concentraciones de mercurio, son aquellos sistemas que se encuentran en el agua, contribuyendo y alcanzando a la fauna y flora que nos rodea y que consumimos . (Ambiente p. d., 2005). Es por esta razón que se requiere que estas aguas contaminadas sean potabilizadas, para evitar graves enfermedades en las personas y demás situaciones con daños neuronales que se presentan debido a su grado de toxicidad.

1.2. Justificación de la Monografía

El presente ensayo pretende brindar información importante que enfatiza la importancia de eliminar el uso de mercurio en la minería del oro, así como hacerle un llamado de atención al gobierno colombiano para que tome las acciones pertinentes con el fin de proteger a los ciudadanos y a las fuentes hídricas de este peligroso contaminante (Maurice Bourgion L. Q. J., 2000)

El país que más contamina al planeta es Colombia, por medio a la falta de uso de manera responsable del mercurio en sus minas de oro. Para el año 2010,

se registró que este se encuentra en segundo lugar con 75,0 Toneladas al año después de China con 444,5 Toneladas al año en la explotación del oro.

País	Mercurio importado ^a (Ton/año)	Mercurio utilizado en minería del oro ^b (Ton/año)	Ton. Oro producido en 2011 ^c	Ranking mundial en producción de oro (2011) ^c
China	0,583 (2011)	444,5	371	1
Colombia	101,3 (2012)	75	36,9	19
Perú	111,0 (2012)	70	188	6
Ecuador	4,49 (2012)	50	N.D.	N.D.
Brasil	36,15 (2013)	45	67,5	12
Venezuela	0,111 (2011)	15	N.D.	N.D.
Bolivia	15,8 (2012)	7,5	N.D.	N.D.
Suráfrica	32,3 (2013)	7,5	198	5
México	26,6 (2012)	7,5	86,6	10
Chile	2,23 (2013)	4,0	44,5	17
Argentina	N.D.	N.D.	59,3	14
EE-UU	155,0 (2008)	N.D.	233	3
Australia	33,7 (2012)	N.D.	258	2

Tabla 1. Estimación de valor para la elaboración

Fuente: (Energia R. i., s.f.)

Departamento	Kilogramos de oro producido (2009-2013)	%
Antioquia	113 533,7	43
Chocó	98 580,2	37
Bolívar	20 388,2	8
Cauca	11 192,4	4
Caldas	6 780,3	3
Nariño	6 458,7	2
Otros	8 179,2	3
Total	265 112,7	100

Tabla 2. Elaboración del oro por departamentos en Colombia

Fuente: (Simco, Sistema de informacion colombiano, s.f.)



Figura 1. Principales regiones mineras

Fuente: (Energia M. d., 2013)

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar la investigación documental de la potabilización del agua con remoción del mercurio remanente.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el origen y la formación del mercurio del agua.
- Establecer el impacto generado tras la contaminación del agua con mercurio provenientes en las mineras de oro.
- Recopilar información sobre técnicas de potabilización del agua con concentraciones de mercurio
- Investigar las alternativas de tratamiento utilizadas para la potabilización del agua contaminadas con mercurio.

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

3.1. Origen de las Herramientas

Se da por la necesidad del ser humano de utilizar materiales para la fabricación de utensilios y herramientas, que le permitan avanzar en el desarrollo de la civilización, siendo los primeros mineros existentes los que se encontraron en la edad del paleolítico.

- a) **Paleolítico Inferior:** Herramientas fabricadas a partir del tallado tosco de las rocas, para que se obtuviera un filo cortante por un lado o dos, denominados chopper. (Eadic, 2020).

Ejemplo: En la figura 2 se presentan imágenes de las rocas talladas en este período.

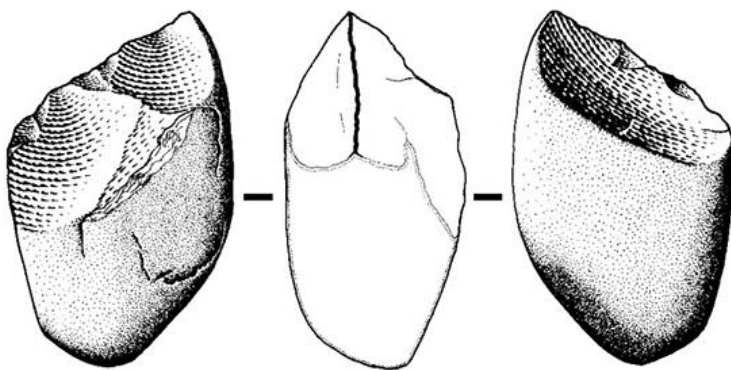


Figura 2. Imagen ilustrativa de chopper

Fuente: (Eadic, 2020)

- b) **Paleolítico medio:** Aparecen nuevas técnicas de talla como la denominada levallois, y la introducción de lo que es el percutor blando. (Eadic, 2020).

Ejemplo: En la figura 3 y 4 se presentan imágenes de las rocas talladas con nuevas técnicas.

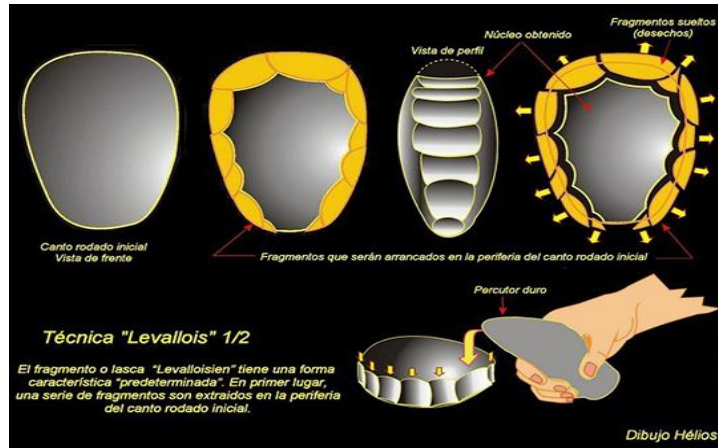


Figura 3. Técnica levallois 1

Fuente: (Eadic, 2020)

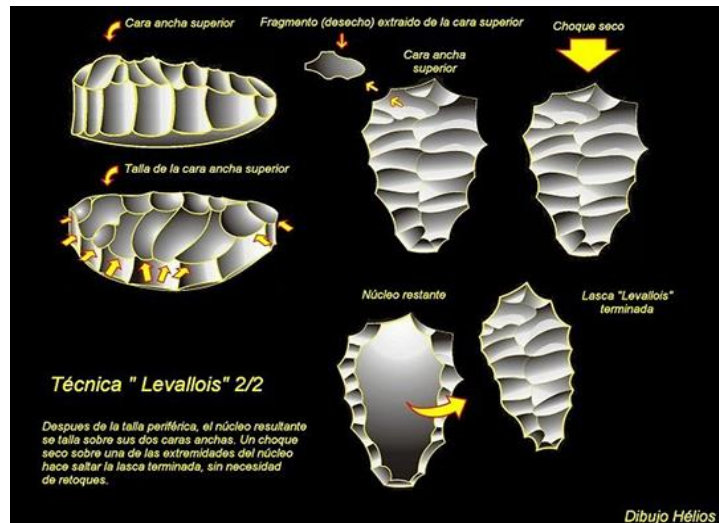


Figura 4. Técnica levallois 2

Fuente: (Eadic, 2020)

- c) **Paleolítico superior:** Elaboración de herramientas que son útiles para usos concretos, que se basan en técnicas de fabricación. (Eadic, 2020)

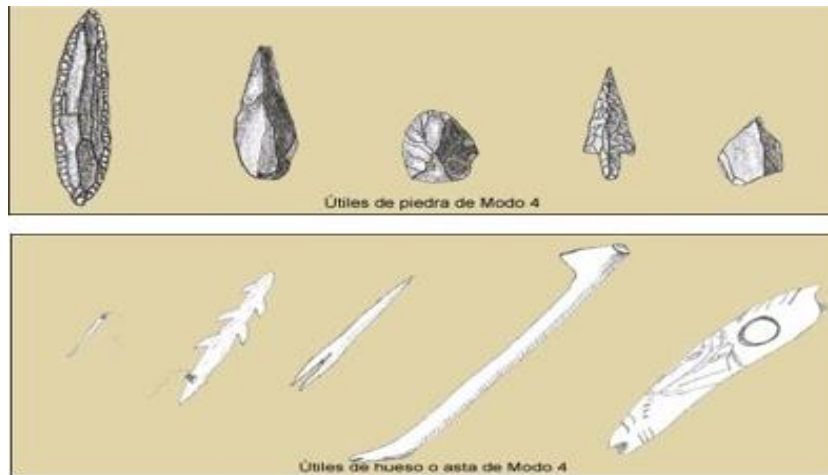


Figura 5. Herramientas utilizadas en el paleolítico

Fuente: (Eadic, 2020)

3.2. Oro

Es un mineral, el cual pertenece al grupo del cobre, descubierto en los tiempos prehistóricos. El oro es un elemento puro en más del 99%, con impurezas comunes como lo son hierro, cobre, plata y mercurio, formándose con una serie de aleaciones sólidas, como del oro con la plata que se mezcla en un tamaño parecido.

El oro encuentra ampliamente extendido por todo el mundo en pequeñas cantidades, y en rocas de diversos tipos. (Enciso, Fedesarrollo , 2021)

Algunos científicos creen que el oro se da por medio de la síntesis del núcleo por supernovas y la colisión de estrellas de neutrones. Presentándose en aquel polvo que formo el sistema solar, ya que la tierra se encontraba fundida cuando se formó. En donde se puede suponer que se encontraba fundido en la tierra primitiva, en el núcleo planetario. Siendo tan antiguo como la tierra, creándose a partir de la explosión de las estrellas, y la

introducción del polvo al campo que se encontraba de forma gravitacional en el sol.
(Baunat , 2021)

3.3. Agua

Líquido compuesto del hidrogeno y del oxígeno, el cual abunda en la naturaleza, de forma más o menos pura, formado lluvias, los ríos y los mares. (Valdivielso, s.f.).

3.3.1. Propiedades del agua.

El agua es un líquido, sin olor y sin sabor, el cual desarrolla un color azul, que se detecta a gran profundidad, su congela a 0°C y hierve a 100 °C al nivel del agua. La cual posee una capacidad máxima para la absorción del calor antes de que suba su nivel de ebullición.

Su fórmula química dada por H₂O, obteniendo una carga eléctrica positiva y una negativa de cada lado. Contiene un pH neutro de 7, significando que no es ácido ni básico. Su viscosidad puede llegar a ser a una temperatura ambiente de 1 centipoise y su peso molecular es equivalente a un 18,01528 gramo/mol.

Esta llega a alcanzar una densidad mayor a una calentura de 4°C y se expande cuando se congela y puede existir en estado sobre enfriado (congelado). Las propiedades físicas del agua se utilizan medios como la temperatura en escala para que esta pueda ser definida.

Es muy reconocida, ya que se pueden disolver diferentes factores en ella, siendo el universal disolvente, donde combina sales diferentes para sus reacciones y catalizadores para reacciones químicas. (Iagua , s.f.)

3.3.2. Contaminación del agua.

Para que se pueda afirmar que una fuente se encuentre contaminada, la formación original a debe estar alterada, por lo que no cumplirá con la calidad para ser consumida por los humanos, animales, plantas, ni usada en el sector de la industria, la agricultura y demás. La alteración proviene del vertimiento de basura, desecho por industrias, aguas sucias de casas y fábricas. (Salud)

Entre los principales contaminantes del agua se tiene:

Microorganismos patógenos: Son las bacterias (Coliformes Totales, Fecales, Escherichia Coli) y otros organismos como los virus, los protozoos (guardia, ameba, salmonella) que pertenecen a este grupo, causantes de las enfermedades en los seres humanos y llegan como contaminación, por medio de vertimientos líquidos municipales y desechos orgánicos que se encuentran infectados.

Desechos orgánicos: Son los residuos orgánicos que producen los humanos y los animales, contaminación que es función de la cantidad de oxígeno disuelto requerido para oxidarla, y se cuantifica en una prueba que se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), aclarando que cuando los residuos estando en exceso causan agotamiento del oxígeno.

Nutrientes vegetales inorgánicos: Son un compuesto, formado generalmente por nitrato y fosfato, sustancia soluble en el líquido.

Sedimento y material suspendido. Corresponde las partículas que vienen del suelo y son arrastradas por el agua, representado la mayor contaminación, pero a su vez es de fácil retiro por medio de tratamientos que se realicen con anterioridad o primarios de decantación simple o filtración

Sustancias químicas inorgánicas. Se componen por metales, ácidos y sales, que ocasionan graves daños al ser vivo y afectan el equipo usado para el trabajo con agua, causando generalmente una incrustación o corrosión.

Metales pesados: Elementos químicos, los cuales tienen una densidad elevada, generalmente son tóxicos para el ser humano, presentando se en el agua como el mercurio, el níquel, el cobre, el plomo y el cromo. (Facsa , 2017)

3.3.3. Otros contaminantes específicos

Son aquellos que se originan de naturaleza química, encontrándose presente en el ambiente, por cantidades que no son muy significativas, y pasan de manera desapercibida, pero implican efectos biológicos de manera continuada.

- ***Colorantes:*** Como lo es el cristal violeta, el cual también es llamado como violeta de metilo, se obtiene de manera sintética y son resistentes a los tratamientos por sistemas convencionales (Gabriel, 2018).

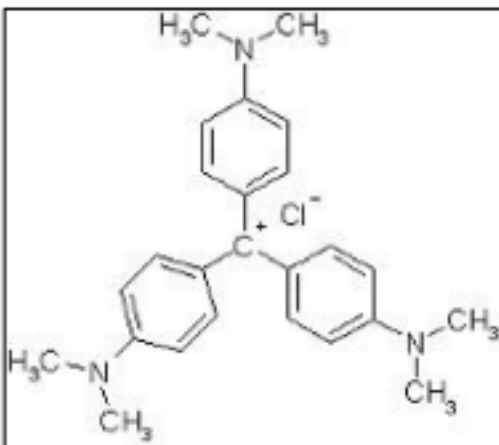


Figura 6. Estructura del Cristal Violeta

Fuente: (Winkler, 2018)

El azul de metileno, de frecuente uso en lo textil, formando parte del teñido y son resistente a los tratamientos convencionales.

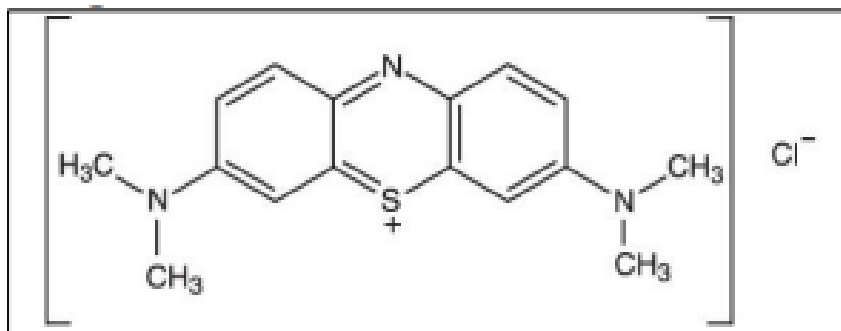


Figura 7. Estructura azul de Metileno

Fuente: (Inr Azul de metileno, 2018)

La fucsina básica, es un elemento el cual se utiliza en el diagnostico de tuberculosis, formando parte de tinción de gram y de la microscopia.

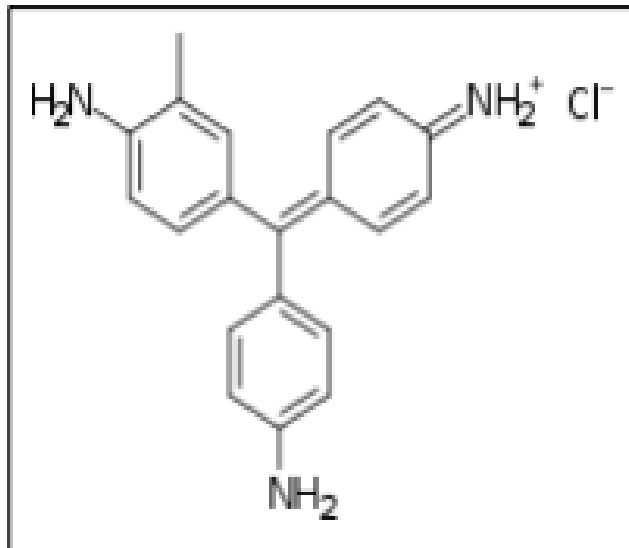


Figura 8. Estructura metilamina

Fuente: (Reactivos Meyer , s.f.)

Mercurio: Metal altamente tóxico, el cual es encontrado en la naturaleza y en la atmosfera, puede ser liberado de manera natural como lo es por medio de fuentes volcánicas, y la forma en la que se evapora el agua y la superficie terrestre. (Yartir R, 2004)

La mayor parte del mercurio liberado se da por medio de la industria, conforme se ha avanzado hoy en día.

El mercurio no se descompone ni se degrada en sustancias que no son ofensivas, lo que hace que sea altamente nocivo, tóxico y varia en sus consecuencias (Pnuma, Evaluacion mundial del mercurio , 2002)

CAPITULO IV METODOLOGÍA PARA LA REMOCION DE MERCURIO

3.4. Proceso de extracción del oro

Se considera de manera importante en Colombia, en donde se realiza en muchos casos para la subsistencia y se recurren muchas veces a técnicas de manera ancestral, que han generando un impacto ambiental muy negativo, de otra forma las actividades las cuales cuentan con la mayor producción de oro pueden estar o no vinculadas con cada una de las autorizaciones de manera respectiva con el estado Colombiano, en donde se le otorga el título a los mineros y a las licencias ambientales, para ello se utilizan métodos que les van a permitir remover en mayor cantidad el metal.

3.4.1. El bateo

Las características físicas y químicas que esta posee, el oro se encuentra como la mezcla heterogénea ,en donde el buscador del oro usa una herramienta la cual es llamada batea, herramienta que le permite mediante la realización de un movimiento circular, separa los materiales que tengan mayor peso, como lo es el oro, de la arena que se obtiene del agua del rio, mientras que otra se encuentra de manera superficial. (Casallas, 2015)



Figura 9. Extracción de bateo

Fuente: (Torres, 2012)

3.4.2. Amalgamación con mercurio

Es el aprovechamiento que se tiene de las propiedades químicas del oro, se realiza cuando la arena fina que es rica en oro, se mezcla con el mercurio, atrapando al metal precioso en una masa que sea de manera moldeable el cual se determina como amalgama, la posteriormente es sometida a una presión para retirar el exceso del mercurio, para finalmente calentar todo hasta llegar a su punto de ebullición. (Martinez, 2014).



Figura 10. Proceso de Mercurio

Fuente: (Velasquez, 2010)

3.4.3. La extracción con cianuro

Busca evitar la utilización del mercurio, alcanza a recuperar oro hasta las del 90%, logrando que el oro, entre en una fase acuosa, dejando a un lado materiales minerales, que se proceden a retirar de la mezcla para poder seguir con el trabajo, que se recupera a través de la precipitación química en el oro, donde se manejan los subproductos de forma adecuada. (Nacional, 2011)



Figura 11. Proceso de Cianuración

Fuente: (Velazques, 2010)

3.5. Impacto que se genera a partir de la extracción del oro.

Con la actividad minera se afecta la capa orgánica del suelo, alterando las propiedades físicas y químicas, perdiendo la estructura, generando inestabilidad y aumenta las erosiones del suelo. También esta hace que se aumente los causes de los ríos, generando inundaciones.

Se generan gases o vapores tóxicos, que afectan la calidad de los recursos, presentando problemas de salud para las personas que desempeñen allí su labor. (Casallas, 2015).

3.5.1. Impactos por amalgama con el mercurio

El mercurio es generador de afectaciones como la alteración de la matriz, ya que al momento de la evaporación el mercurio entra por la precipitación del agua, al nivel del suelo se generan un sistema que no es apropiado para la producción de sólidos y un se genera un más almacenamiento en la acidificación de cuerpos que se encuentren presenten en el agua con los sedimentos. (Martinez, 2014)

3.5.2. Impactos por cianuración

Se generan impactos como la producción de polvo, explosiones, temblores, lavados ácidos. Se filtra el cianuro en metales pesados, y demás, representando un alto riesgo, que significa un control en más de 20 años. (Martinez, 2014)

3.5.3. Impacto de la minería de oro y del mercurio en las fuentes hídricas para el consumo humano.

En regiones afectadas por la minería del oro, la respiración de vapores de mercurio junto con el consumo de peces contaminados, constituye la principal fuente de

contaminación, afectando a las personas. Y consumiendo líquido contaminado según la organización mundial de la salud.

En ciertos municipios de Colombia, se encuentran ciertas cantidades de mercurio de forma superficial acuática por un valor máximo de 3 ug/L y con un valor de 8 ug/L por otros lados, constituyendo un problema mínimo comparado con otros tipos de contaminación. (J Appleton, 1999)

Se resalta que otro problema que se puede sumar a este es la forma en que se consume el agua por la población en medio de las regiones que han sido afectadas por la minería de oro, localizándose en las bajas aguas y el impacto que esta tiene sobre el bienestar de las personas.

3.6. Concentraciones de mercurio en aguas superficiales.

Tras el comportamiento aleatorio del metal, la mayoría de ocasiones no se sabe si este nivel es alto, encontrándose en el sistema, es por causa natural o por factores ajenos. Otras fuentes que generan el mercurio en la naturaleza 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. (Roulet M, 1999)

Concentraciones de mercurio ambiental ($\mu\text{g/L}$)		Referencia
< 0,5	Ríos y aguas subterráneas	(24)
0,07	Ríos y lagos	(26)
0,0003 – 0,1	Ríos	(9)
0,001 – 0,01	Ríos y lagos prístinos	(30)
Otros valores de interés		
Concentraciones de mercurio ambiental ($\mu\text{g/L}$)		Referencia
< 0,1	Aguas Lluvias	(24)
< 0,1	Agua potable	(24)
< 0,05	Agua de mar	(9,26)
<0,24	Ríos Canadienses	(26)

Tabla 3. Mercurio concentrado por naturalidad

Fuente: (Rojas, s.f.)

Por la ley regida en Colombia se establecen normar para una fuente hídrica, colocando un valor menor a 2, para que este se pueda consumir.

Variable	Concentración admisible de mercurio en fuentes hídricas destinadas para:	Valor ($\mu\text{g/L}$)	Referencia
Colombia	Consumo humano y doméstico	2,0	Art. 38 y 39, Dec. 1594/84*
	Actividades pecuarias	10,0	
	Actividades agrícolas	-	
	Preservación de flora y fauna	10,0	
California (EE-UU)	Protección vida acuática	0,05	(31)
Canadá	Protección vida acuática	0,026 (Inorgánico)	(32)
		0,004 (Orgánico)	
Estados Unidos	Protección vida acuática (EPA)	1,4	(31)

Tabla 4 . Concentraciones para el consumo humano según legislación colombiana

Fuente: (Ideam, 1984)

3.7. Tratamiento para aguas superficiales contaminadas

El RAS 2000 establece que las fuentes superficiales se pueden contaminar con diferentes tipos de sustancias y de acuerdo a la clasificación de las fuentes se instruye en el tipo de tratamiento a realizar, para eliminar contaminantes típicos y algunos específicos

como el caso de fuentes muy deficientes contaminadas con mercurio, y donde nos conllevan a tratamientos convencionales de potabilización y algunos otros tratamientos específicos.

3.7.1. Tratamiento físico-químico del agua

El tipo de tratamiento del agua, se precisa inicialmente en la caracterización y determinación de la concentración de los contaminantes que contiene y se compara contra la norma de la calidad del agua (Resolución 2115 del 2007) y todo parámetro que sobrepase la norma debe reducirse hasta los valores admisibles normatizados y esto normalmente se logra mediante un proceso de tratamiento que generalmente es físico – químico.

Los parámetros físico-químicos son aquellos que identifican y muestran la calidad del agua y que tan contaminada se encuentra, facilitando la forma de interpretar datos de forma física, química biológica en los recursos hídricos, entre los parámetros más comunes son: el pH, el color, la turbiedad, el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos y sólidos totales y sedimentable, coliformes totales y fecales y otros de interés sanitario como los metales pesados.

Entonces, para el tratamiento se parte tomando en cuenta el tamaño que tienen las partículas, las cuales se disuelven en el agua de forma variada, en donde hay partículas de naturaleza coloidal, las cuales se suponen que son una parte demasiado importante de la contaminación del agua y se propone como objetivo la modificación de las propiedades

físicas de las partículas contaminantes, añadiendo productos químicos, siendo los coagulantes y floculantes, los que facilitan la formación de los flóculos para la posterior eliminación del agua. Utilizar productos químicos en este procedimiento es de gran avance tecnológico, para una correcta selección de cada uno de los procesos que se necesita para tratar el agua. (Tecnología, s.f.), como en la Coagulación – Floculación que se presenta en la figura 12.



Figura 12. Coagulación - Floculación

Fuente: (El Agua es Potable , 2004)

Así que un tratamiento se busca la eliminación en las agua superficiales de los contaminantes físicos como los sólidos y el color, los contaminantes químicos como el hierro, el calcio y el magnesio y los biológicos como las bacterias del grupo coliforme, además las precipitaciones de metales pesados que se encuentren disueltos, aplicando coagulantes o aprovechando una sustancia para obtener una forma química de menor toxicidad u solubilidad, y neutralización del pH son parte del proceso que se pretende para tener una agua apta para el consumo humano.

Las aguas residuales industriales también son sometidas a este tipo de tratamientos, previamente a que estas lleguen de forma descargada en las redes de alcantarillados, siendo el más común la coagulación-floculación, tomando de manera eficaz las operaciones para tratar de manera exitosa, logrando mayor sedimentación, al emplear productos los cuales son los coadyuvantes, y actúan sobre las interferencias y mejoran el proceso, dándose a favor de los flóculos de gran tamaño y densidad, desde luego teniendo un previo control de las variaciones del caudal, de la composición y composición de los contaminantes, para llegar al diseño de la planta, que sea flexible en la forma de adaptarse a las características del vertido. De esta forma la calidad valida en los efluentes.

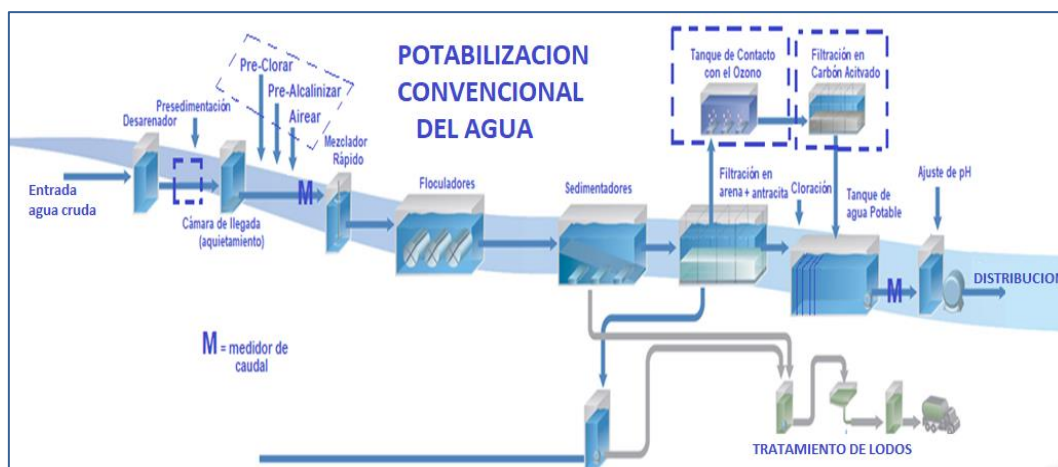


Figura 13. Planta de Potabilización Convencional

Fuente: (Bv eLearning Blogs , 2022)

En los últimos 20 años se ha venido realizando una profundización sobre el estudio de la coagulación-floculación y la forma en la que se emplea cada uno de los coagulantes y coadyuvantes, de forma orgánica y sólida, suspendiéndose totalmente en la depuración

de aguas residuales que vienen de forma urbana o de fuentes industriales (Aguilae, 2014), y redirigiendo el tratamiento a sistemas biofísicos, como el que se ilustra en la figura 13.



Figura 14. Planta de tratamiento biofísico

Fuente: (Bv eLearning Blogs , 2022)

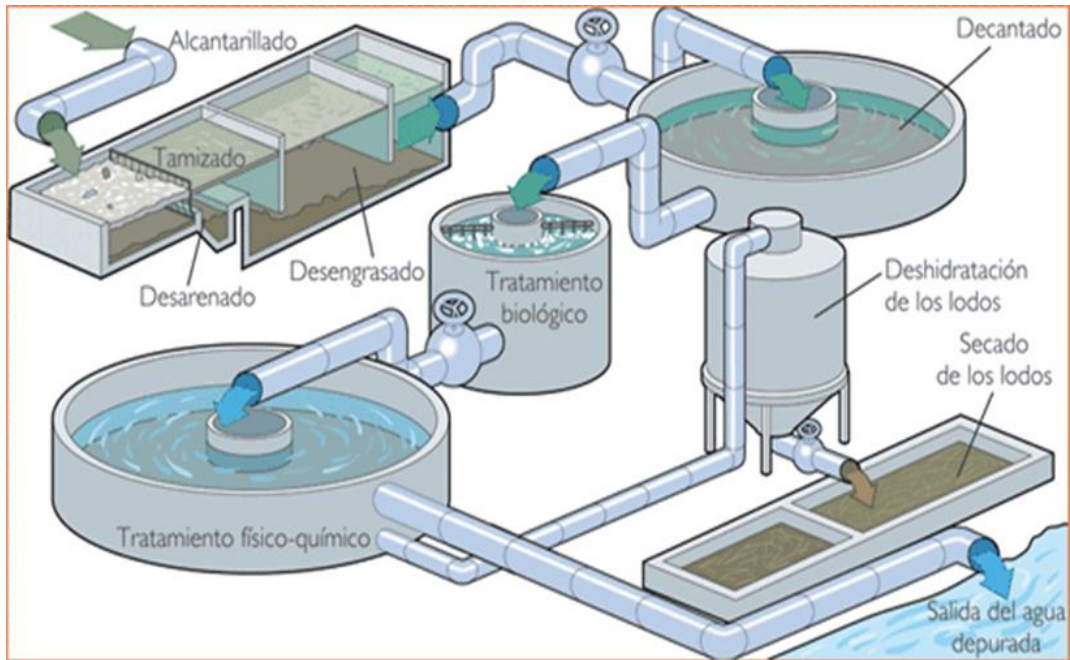


Figura 15. Esquema de un tratamiento biofísico de aguas residuales

Fuente: (Tech, Tratamiento de Agua Residual, 2022)

En los distintos tipos de agua se determina la calidad a partir de valores físicos, químicos y biológicos, lo que es una ventaja para que el análisis pueda ser más rápido y a la vez estar monitoreado en tiempo real y con gran intensidad; tal y como se ilustra la figura 15, donde se observan los equipos instalados en línea.

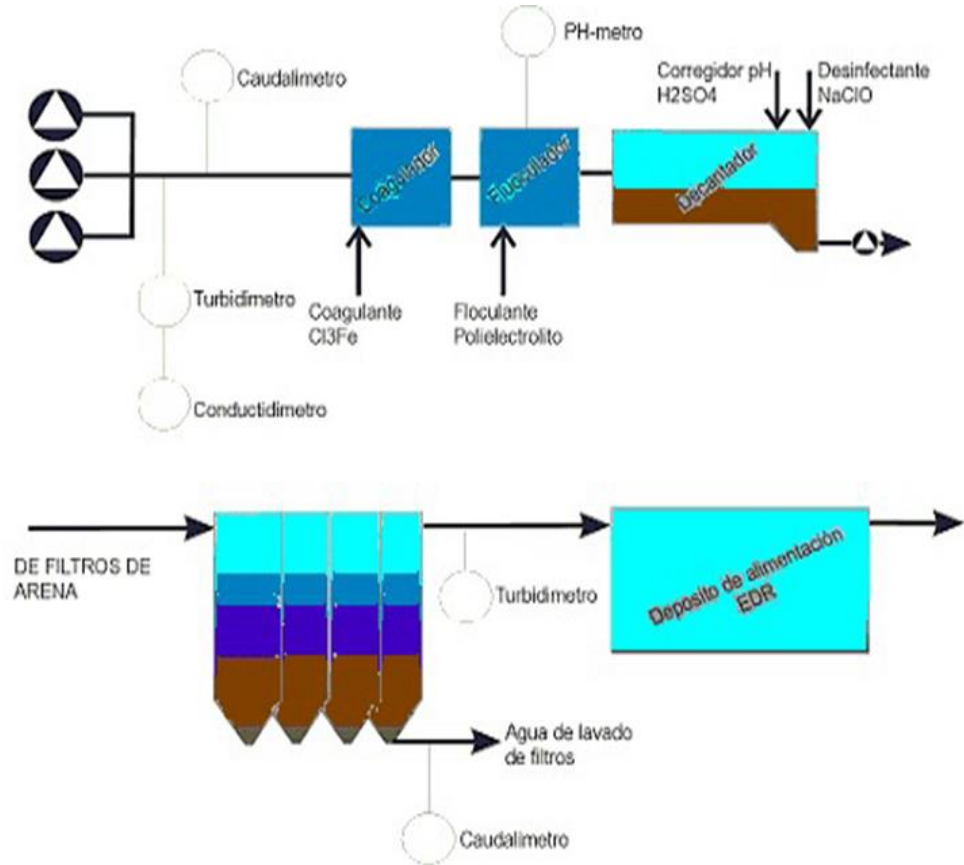


Figura 16 . Monitoreo en línea del proceso del tratamiento físico-químico del agua

Fuente: (Arroyo, 2018)

En el caso de los tratamientos biofísicos, el monitoreo en línea para un proceso biológico, para evaluar la metodología para hacer seguimiento y evaluar la calidad del mismo, observando el comportamiento de comunidades de seres que viven dentro del agua aunque se genera una gran cantidad de datos y se debe interpretar de manera integral es decir todo es un proceso delicado y dispendioso debe ser completa, para no perder información o datos que puedan modificar el concepto sobre la calidad obtenida, aspectos

que aún siguen siendo difíciles de realizar pero que a futuro los desarrollos tecnológicos lo permitirán de manera más robusta y amistosa tecnológicamente.

Según Fernández y Solano en el año 2005 indico que el monitoreo permite la resolución, de los diferentes conflictos existentes como lo es: la utilización del agua y la forma en que la ecología del sistema acuático es integral, involucrando aspectos socioeconómicos, tomando las variables para los programas de gestión hídrica. (Natlia Samboni, 2007)

Tras el desarrollo que se produce de residuos por parte de las personas y las industrias, consumidoras de agua en cada tarea diaria desarrollada, tiene una difícil actividad de reintegrar el agua en un menor y mejor estado de contaminación. Para tratar todo esto se debe distinguir objetivamente entre los procesos físicos, físico-químico y los biológicos.

En resumen, existen procedimientos para separar partículas por coagulación, floculación y sedimentación; para eliminar materia orgánica biodegradable de forma aeróbica o anaeróbica; eliminar también la materia orgánica que esta de manera disuelta por absorción, adsorción, filtrando con membrana, desorción con aire, entre otras; y se disponen técnicamente de procedimientos que separan contaminantes que sean inorgánicos del agua por precipitado químico, filtrado, intercambio iónico, pero todo esto también depende de que aguas se requieran tratar, ya sea aguas superficiales para potabilización, aguas residuales municipales o aguas industriales para verter reglamentariamente (Alemany J. , s.f.)

CAPITULO V. EL MERCURIO EN LA MINERÍA DE ORO

En Colombia el oro se usó por las diversas “culturas indígenas precolombinas”, realizando de manera la extracción, donde se aprovechaba lo diferente de la densidad y como se fusionaba del mismo a diferentes grados, permitiéndole realizar diferentes obras de arte que aún son conservadas, innovando, existen medios para extraer los cuales son utilizados como lo es la amalgamación con el mercurio y la cianuración. (Energias m. d., 2013)

5.1. Potabilización del agua.

El agua para consumo humano se logra después de un proceso del tratamiento que se le conoce como potabilización, proceso que comúnmente varía en función de las condiciones naturales de la fuente de agua en el territorio. (Acciona , s.f.)

5.1.1. *Proceso de potabilización del agua.*

El tratamiento de agua superficial consiste en el proceso típico de separación de ciertos componentes que trae el agua natural, seguido de la forma en que se precipitan las impurezas, la filtración y la desinfección con el cloro u ozono, los que se detallan a continuación.

1. **Pretratamiento:** Eliminan los sólidos de gran tamaño, colocando una reja para poder evitar que ingresen a la planta filtren ramas, sobre tamaños gravas y arenas. Se separa la arena del agua por decantación simple para evitar daños en las bombas e infraestructuras de la planta. Aquí se puede realizar una predesinfección para

- destruir algunas sustancias orgánicas. Aquí también se puede airear el agua y de ser necesario se ajusta el pH, mediante la adición de ácidos o bases.
2. **Coagulación-Floculación:** Se transporta el agua a gravedad o por medio de las bombas de baja presión, hasta la cámara de mezcla, para incorporar los componentes químicos agentes coagulantes que ayudan a potabilizar el agua.
 3. **Decantación o Sedimentación:** Es separado por la gravedad de las partículas, suspendidas (flocs) que se forman y que se depositan en el fondo de estas unidades, decantación que puede ser convencional o acelerada como generalmente se utiliza actualmente. Los sedimentos que son nocivos y densos son eliminándose mediante sistemas de purgas, para luego ser tratados como un residuo líquido industrial independiente donde se hacen más densos y se deshidratan para disponerse como residuos sólidos.
 4. **Filtración:** Consiste en pasar por un medio poroso el agua, para que se eliminen los sedimentos (flocs) más pequeños y menos densos, medios generalmente conformados por lechos rápidos y mixtos de arena y antracita o carbón activo, y trabajan con flujo descendentes siendo abiertos por la gravedad y cerrados a presión.
 5. **Desinfección del agua:** Se le añade generalmente y de manera masiva cloro al agua para que se elimine cualquier bacteria o virus u otro microorganismo que esta contenga. Eliminando agentes patógenos de las aguas subterráneas o de los

manantiales naturales, también puede ser obtenido a través de los rayos ultravioletas o con la aplicación de ozono.

6. **Ajuste de pH:** Se analiza el agua tratada para garantizar que el proceso de potabilización sea exitoso, ésta debe ser incolora, inodora y sin ningún tipo de sabor, para que se cumpla la reglamentación vigente de cada país y se le mide el potencial de hidrógeno y de ser necesario se ajusta adicionando ácido o bases para llevarlo al valor normado.

Se muestra el sistema general convencional de la potabilización del agua superficial, figura 17.

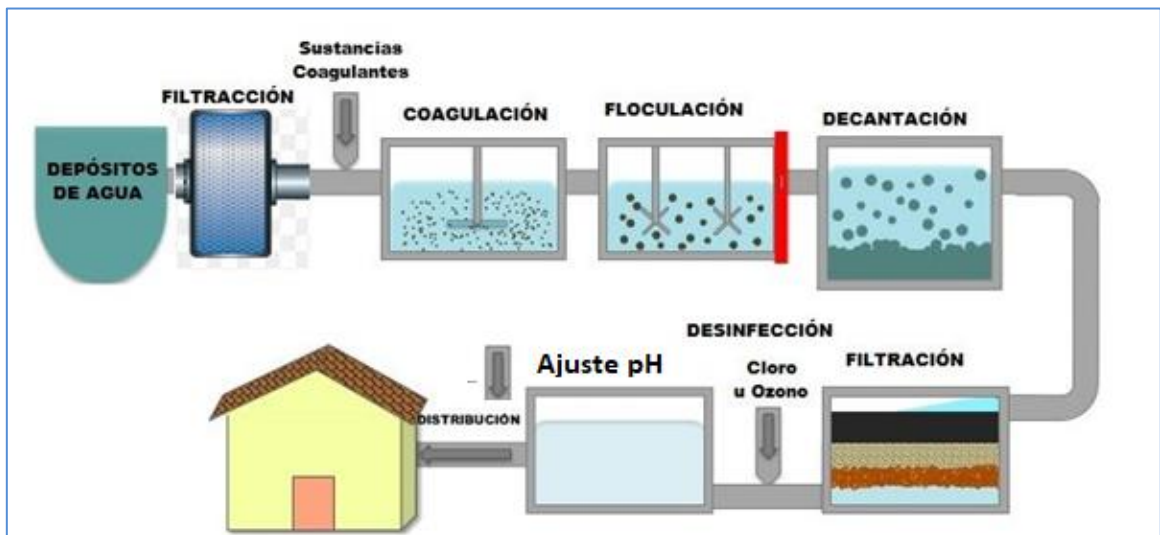


Figura 17. Potabilización convencional de aguas superficiales

Fuente: (Areacencias, 2022)

5.1.2. Tratamientos específicos

Si la fuente de agua tiene presencia de sales o metales pesados, su eliminación es más complicada y costosa, especialmente en zonas donde se tenga un nivel de escasez del recurso hídrico

- ***Desalinización***

En zona que sean costeras se obtiene el agua potable por la desalinización, llevándose por osmosis inversa o bien sea por destilación.

- ***Remoción de metales pesados***

En razón al tema de la monografía trataremos de aplicar la remoción de metales pesados a la remoción específica del mercurio.

Hasta el día de hoy en el mundo, la tecnología se ha venido aplicando en la remoción del mercurio, para clasificar métodos de manera física y química como lo es “la precipitación química”, “adsorción”, “intercambio iónico”, “proceso de membrana”, “electrocoagulación” y demás, como procesos biológicos dados en la “bioacumulación”, “bioadsorción”, etc.

1. Electrocoagulación.

Las plantas de tratamiento colombianas de agua residual, incluye etapas para la electrocoagulación, mediante electrodos de aluminio u hierro, que generan coagulación de aquellos metales que se encuentren en ese momento, utilizando un reactor que se sumerge en el fluido haciendo de medio eléctrico para que se conforme el componente hidrofóbico y de esta manera flote u precipite facilitando la separación. Aunque alcanzando un porcentaje del noventa por ciento se debe inducir una corriente eléctrica constantemente, esta es su principal ventaja (Peña)

Por otro lado la electrocoagulación es un proceso que aplica los principios de la coagulación–floculación en un reactor electrolítico, por ende es básicamente un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones estabilizadores de partículas coloidales, las cuales reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional, además de esto es una técnica que es utilizada para tratar aguas con contaminantes de diversos efluentes los cuales son removidos aplicando el principio de coagulación, por ende es un proceso que desestabiliza las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas o disueltas, para de esta manera inducir corriente eléctrica en el agua por medio de placas metálicas paralelas de diversos materiales siendo así, el hierro y el aluminio lo más utilizados.

Su fundamento teórico consiste en:

- Separa los coloides del electrodo.
- El coloide inestable se arrastra a la parte superior.

- Debido a las burbujas de gas se producen corrientes ascendentes y descendentes de la solución ocasionando una mejor superficie de contacto

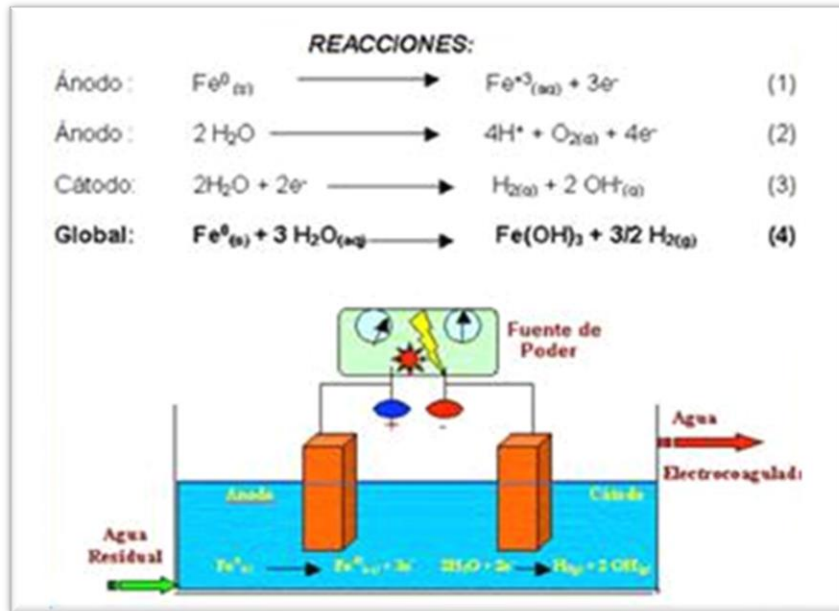


Figura 18. Proceso de electrocoagulación

Fuente: (Samanta, 2013)

Ventajas de la electrocoagulación

- Costos de operación menor.
- Manejo de equipos simples y manejo fácil.
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- Lodos mas compactos y en menos cantidad.
- Flóculos grandes que los de la coagulación química.
- Alta efectividad en la remoción.

- Purificación del agua y reciclaje.
- La corriente eléctrica favorece que el movimiento de las partículas sea más pequeño y que se incremente.
- Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
- El agua que se trata con este método, tienes menos cantidad de solidos disueltos que aquellos productos químicos, disminuyendo los costos de tratamiento de los efluentes en el caso de ser reusados.
- Genera potabilidad, incoloridad e inodoridad.

Desventajas de la electrocoagulación

- Se reponen los electrodos de sacrificio.
- El lodo contiene altas concentraciones de hierro y aluminio, el cual depende del material del electrodo.
- Puede ser costoso en algunas regiones, ya que la energía eléctrica es costosa.
- El óxido que se forma en el ánodo, en ocasiones forma capas que impiden el paso de la corriente, bajando la eficiencia del proceso. (Samantha, 2013)

2. Filtración con membranas

La membrana aprovecha la diferencia de presión, para llegar a superar la presión osmótica, en donde los iones no atraviesan la membrana y se separan del disolvente, recibe de manera considerable el tratamiento efluente inorgánico, removiendo solidos

suspendidos y los compuestos que son orgánicos, así como de igual forma como los inorgánicos como lo es el metal pesado.

Depende del tamaño de partículas, para que se usen diferente número de membranas como la ultranificación, la cual se emplea en la minería, otra es la nanofiltración y osmosis en reversa, para quitar los metales pesados que se encuentren en las aguas residuales.

La ultranificación (UF): Se emplea por membranas permeables, para que se separen los metales pesados. Macromoléculas y aquellos sólidos que se encuentran suspendidos, en la solución inorgánica, la cual presenta tamaño en su poro entre 5mm a 20 mm, haciendo que se separen los compuestos con el peso molecular, entre los valores de mil y cien mil, con una técnica que le pasa agua con un solo de bajo peso molecular, y las macromoléculas de un tamaño mucho más grande al poro de la membrana. En la minería se pueden implementar membranas que tengan un bajo precio de Zn Al₂O₄-TiO₂, para que se remueva el Cd II y el Cr III, en la solución sintética con un porcentaje de recuperación del noventa y tres por ciento para Cd y del ochenta y seis para el Cr.

Este posee una desventaja, la cual no le permite desenvolverse de buena manera, como lo es el taponamiento el cual causa un decaimiento de dos a nueve puntos cinco de bar de presión, y cuando esta se incrementa, la transmembrana se biodegrada, reflejando los costos operacionales. (Cauca, 2020)

En la figura 18 se observa una membrana de ultrafiltración empleada para eliminar metales en agua, método costoso desventaja que lo hace inviable económicamente frente a la electrolisis.

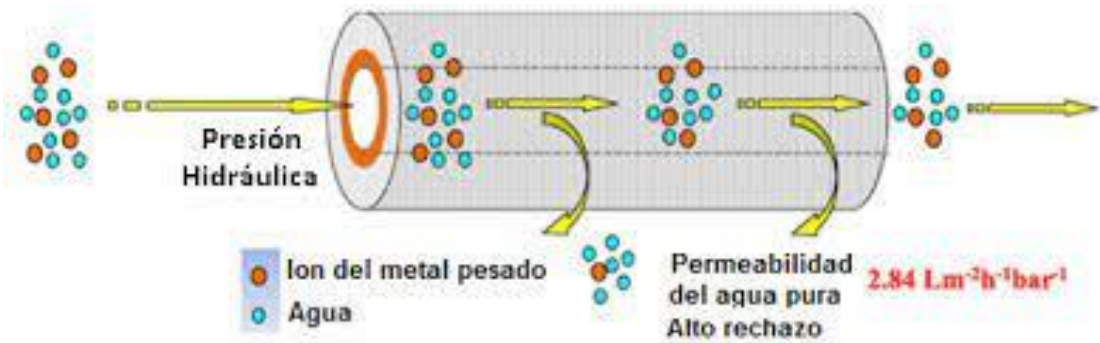


Figura 19. Remoción de metales por membrana

Fuente: (Cauca, 2020)

CAPITULO VI. DEBATE

Se manifiesta de manera amena que en las regiones donde exista afectación por la minería de oro, debe implementar un mecanismo que le permita detectar si existe una concentración de mercurio elevada a la que se demarca por naturaleza, o la que es permitida por la legislación, para que se pueda avisar o informar a las personas que se encuentran siendo beneficiadas de este recurso y a las personas que operan en este. Tomando la acción que se crea correcta, evitando daños colaterales con información a las autoridades ambientales.

Se hace un llamado al gobierno de Colombia, para que tome cartas en la dificultad que se presenta en esta área, ya que debe evaluar el daño que se genera al ambiente y a la vez para la protección del estado de salud de la población colombiana, identificando los lugares y medio de suministro de agua que cuente con un nivel de mercurio más alto de la concentración con la que naturalmente se encuentre, y haga que el responsable o responsables de este daño lo remedien. Hace algún tiempo la gente humilde que habita este tipo de zonas, utilizaba un método ancestral para sacar el oro, siendo ecológico, utilizado para satisfacer la necesidad que era básica para quien la practicaba, con herramientas como las palas, las barras, el cacho, las bateas, entre otros. Cabe resaltar que este aun es practicado y se sostiene en cada una de las regiones donde se practica.

CAPITULO VII. CONCLUSIONES

Se tienen aspectos de manera indiscutible, los cuales forman la tarea de lo que hoy en día significa ser minero, garantizando que se desarrolle de forma formal y legal:

- La persona que realiza la minería, debe contar con la otorgación de un título que lo declare como la actividad que desarrolla, asociándose por medio de una cooperativa o empresa que haga más fácil la garantía de cumplir con el requisito que se le pide.
- La comucación que se da con la autoridad en las regiones, debe permitir la obtención de un requerimiento para mostrar el documento para su licencia ambiental para poder operar, avalando la actividad de extracción realizada, su potencia en el impacto ambiental de manera negativa y la proporción de una medida que evite su generación
- Tomar en cuenta el riesgo existente en la parte química y tecnológica la cual abarca la tarea, para adquirir la medida de protección hacia el ser humano y hacia el ambiente, de un posible riesgo y buscar la manera de minimizar la condición para la corrección de un episodio difícil.
- La potabilización del agua con tratamientos específicos como necesarios para realizar la remoción del mercurio de las fuentes de abastecimiento contaminadas por la minería de oro, mediante tratamientos técnicamente comprobados y económicamente viables para evitar consecuencias graves en la salud de las personas y de los ecosistemas.

6. Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de <http://www.horizonteminero.com%28con/>
- Acciona . (s.f.). Obtenido de https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?_adin=02021864894
- Aguilae, M.-S.-L.-S.-O. (2014). Tratamiento físico-químico de aguas residuales .
- Aleman, J. (2004). *Inter empresas media* . Obtenido de <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/9137-Tratamiento-fisico-quimico-compacto-de-aguas-residuales-industriales.html#:~:text=El%20tratamiento%20f%C3%ADsico%2Dqu%C3%ADmico,co%C3%A1gulos%2C%20mediante%20cambios%20de%20polaridad.>
- Aleman, J. (s.f.). *Interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/9137-Tratamiento-fisico-quimico-compacto-de-aguas-residuales-industriales.html>
- Ambiente, p. d. (2005). *El uso del mercurio en la minería de oro artesanal y en pequeña escala*. Ginebra: PNUMA.
- Ambiente, P. d. (2005). *Evaluación mundial sobre el mercurio*. Ginebra.
- Areencias. (2022). *Potabilización y depuración del agua* . Obtenido de <https://www.areencias.com/biologia/potabilizacionydepuraciondelagua/>
- Arroyo, A. M. (2018). *Guía de monitoreo participativo para la calidad de agua* .
- Baunat . (30 de Junio de 2021).
- Bv eLearning Blogs . (2022). Obtenido de <https://blogbvelearning.wordpress.com/>
- Casallas, M. (2015). *Universidadean*. Obtenido de <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/plou/article/download/1386/1346>
- Cauca, C. U. (2020). *Tecnologías para remover metales pesados presentes en aguas. Caso Cromo y Mercurio*. Tecnología, Journal de ciencia e Ingeniería.
- Definiciones y que . (s.f.). Obtenido de <https://definicionyque.es/remocion/>
- Eadic. (15 de ABRIL de 2020). Obtenido de <https://eadic.com/blog/entrada/el-origen-de-la-mineria/>
- Eadic. (15 de ABRIL de 2020). Obtenido de <https://eadic.com/blog/entrada/el-origen-de-la-mineria/>
- Eadic. (15 de ABRIL de 2020). Obtenido de <https://eadic.com/blog/entrada/el-origen-de-la-mineria/>
- El Agua es Potable . (2004). Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>
- Enciso, E. L. (Marzo de 2021). *FEDESARROLLO*. Obtenido de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4102/Repor_Marzo_2021_Mart%C3%ADnez_et_al.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Enciso, E. L. (Marzo de 2021). *Fedesarrollo* . Obtenido de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4102/Repor_Marzo_2021_Mart%C3%ADnez_et_al.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Energetica, U. d. (2006). *Formulacion de una inciativa de produccion mas limpia dirigifo al sector de los metales preciosos*.

Energia, M. d. (2013).

Energia, R. i. (s.f.). *Horizonte minero* . Obtenido de <https://www.horizonteminero.com/>

Energias, m. d. (2013).

Energias, m. d. (2013). Obtenido de : <http://www.minminas.gov><https://www.minenergia.gov.co/>

Español epa . (s.f.). Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio>

Facsa . (2017). Obtenido de <https://www.facsa.com/metales-pesados/>

Gabriel, B. (2018). *Lifeder.com*.

Gov, M. (2015).

Iagua . (s.f.). Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/mexico/conagua/17/05/16/propiedades-agua>

Ideam. (1984). *Decreto de 1594 de 1984 Usos de agua y residuos liquidos* .

Inr Azul de metileno. (16 de agosto de 2018). Obtenido de http://www.reactivosmeyer.com.mx/pdf/reactivos/hds_1420.pdf

J Appleton, W. T. (1999). *Mercury contamination associated with artisanal gold mining or goldmining* .

J, A. W. (1999). *Mercury contamination associated with artisanal gold mining of goldmining*.

Jm, G. (s.f.). *et al* .

luis, E. p. (1998). *Ciencia de la tierra y el medio ambiente* . Teide .

M, G. M. (2013). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*.

Martinez, C. &. (2014).

Martinez, C. &. (2014).

Maurice Bourgion L, Q. I. (2000). *Mercury distribution in waters and fiches of the upper madeira rivers* .

Maurice Bourgion L, Q. J. (2000). *Mercury distribution in waters and fiches of the upper madeira rivers*.

N, A. (2013). *Electrocoagulation as an efficient treatment*.

nacional. (2011).

Nacional. (2011). Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4263/426358213005/html/>

Natlia Samboni, Y. C. (2007). *Scielo* . Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019

- Organization, W. H. (2007). Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=+Guidance+for+Estimating+Exposure+to+Mercury+to+Identify+Populations+at+Risks&publication_year=2007
- PEÑA, E. N. (s.f.).
- Peña, N. H. (s.f.). *Remoción de mercurio en agua residual por la tecnología de electrocoagulación*. 2013.
- Pnuma. (2002). *Evaluación mundial del mercurio*. Ginebra.
- Pnuma. (2002). *Evaluación mundial sobre el mercurio*. Ginebra.
- Reactivos Meyer . (s.f.). Obtenido de http://www.reactivosmeyer.com.mx/pdf/reactivos/hds_1420.pdf
- Rojas, C. G. (s.f.). *Bdigital*. Obtenido de La contaminación hídrica por mercurio y su manejo en el derecho colombiano : https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/handle/001/2471/MKA-spa-2018-La_contaminacion_hidrica_por_mercurio_y_su_manejo_en_el_derecho_colombiano?sequence=1&isAllowed=y
- Roulet M, L. M. (1999). *Effects of recent human colonization on the presence of mercury in amazonian ecosystems*.
- S, Español. (2001). Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=+Toxicolog%C3%ADa+del+mercurio:+Actuaciones+preventivas+en+Sanidad+Laboral+y+Ambiental.+Jornada+internacional+sobre+el+impacto+ambiental+del+mercurio+utilizado+en+la+miner%C3%ADa+artesanal+del+oro+en+Iberoam
- Salud, O. m. (s.f.). <https://www.who.int/es>.
- Samantha, D. A. (Diciembre de 2013). *Monografías*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos99/electrocoagulacion/electrocoagulacion>
- Simco. (s.f.). *Sistema de información colombiano*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/sistema-de-informacion-minera>
- Simco. (s.f.). *Sistema de información Minera*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/sistema-de-informacion-minera>
- Tech, B. (2022). *Tratamiento de agua residual*. Obtenido de <https://bosstech.pe/tratamiento-de-agua-residual/>
- Tech, B. (2022). *Tratamiento de Agua Residual*. Obtenido de <https://bosstech.pe/tratamiento-de-agua-residual/>
- Technology, J. W. (s.f.). *Jhuesa Water Technology*. Obtenido de <https://jhuesa.com/tecnologias/tratamiento-fisico-quimico>
- Torres, R. (2012).
- Valdivielso, A. (s.f.). *Iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua>
- Velasquez. (2010). *Procesamiento del oro*.
- Velazquez. (2010). *Procesamiento del oro*.
- Winkler. (16 de Agosto de 2018). Obtenido de <http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/Cristal%20Violeta.pdf>
- Yartir R, G. G. (2004). *La contaminación por mercurio en México*. México.