

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

LAURA CRISTINA SAENZ URIBE

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Dirigido por:

Vanessa Silenia García Cuello
Licenciado en química, magister en Química

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, CUNDINAMARCA,
INGENIERÍA AMBIENTAL
GIRARDOT
2016

Dedicatoria

A Dios porque gracias a él estoy cumpliendo una de mis metas y he llegado al final de mi carrera profesional.

A mis padres que me han dado todo y que tanto han luchado para que yo hoy esté a punto de graduarme.

A mi familia materna, la cual siempre me motivo y me ayudo a continuar en el camino.

A Danny porque nunca me dejó sola.

Agradecimientos

A Dios por haberme dado las fuerzas de terminar este trabajo y porque nunca me ha abandonado.

A mis padres porque sin su apoyo no estaría a punto de graduarme.

A mi directora Vanessa la cual me ha estado ayudando con este trabajo desde que supo cuál era el tema. Gracias profe porque no me dejaste solita.

A Jack porque siempre me brindó su apoyo.

A Danny porque siempre estuviste ahí guiándome.

CONTENIDO

2. RESUMEN	11
3. INTRODUCCIÓN	13
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
5. JUSTIFICACIÓN	18
6. OBJETIVOS	19
7. MARCO REFERENCIAL	20
7.1 Marco teórico	20
7.1.1 Características generales de Girardot-Cundinamarca	20
7.1.2 Índice de calidad del agua ICA	21
7.1.3 Generalidades de metales pesados y la destoxificación	22
7.1.4 Contaminación por metales pesados en los Ríos Bogotá y Magdalena	23
7.1.5 Mercurio y plomo	25
7.1.6 Biorremediación con bacterias para metales pesados	27
7.1.7 Bacterias que remueven mercurio y plomo	30
7.1.8 Carbón activado; adsorción	32
7.1.9 Química superficial de los carbones activados	34
7.1.10 Isotermas de adsorción	34
7.1.11 Remoción de metales pesados con carbón activado	35
7.1.12 Remoción de contaminantes mediante biomasa microbiana inmovilizada sobre carbón activado	37
7.2 Marco legal	38
8. DISEÑO METODOLÓGICO	44
8.1 Ubicación y características agroclimatológicas	44
8.2 Universo, población y muestra	44
8.3 Técnicas o instrumentos para la recolección de datos	46
8.4 Método de análisis	47
8.5 Infraestructura y equipos	48
8.6 Metodología	49
9. RESULTADOS	57
9.1 Calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca	57
9.2 Eficacia de la aplicación del método de destoxificación	61

9.3 Comparación de las concentraciones iniciales de los metales Hg y Pb con la normatividad vigente de Colombia: resolución 2115 de 2007 y el decreto 1076 de 2015.....	67
10. CONCLUSIONES.....	69
11. RECOMENDACIONES	71
12. REFERENCIAS	72
13. ANEXOS.....	81
Anexo A. Diagrama de especiación del plomo (Pb)	81
Anexo B. Diagrama de especiación del mercurio (Hg)	82
Anexo C. Cronograma de trabajo.....	83
Anexo D. Resultados análisis de laboratorio.....	85

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Categorías de la calidad del agua	21
Tabla 2: Bacterias implicadas en la remoción de mercurio y compuestos derivados.	31
Tabla 3: Formas del carbón activado	33
Tabla 4: Normatividad Colombiana sobre la calidad del agua	38
Tabla 5: Características climatológicas de Girardot	44
Tabla 6: Equipos usados en el proyecto.	48
Tabla 7: Características del carbón activado granular CAG.	50
Tabla 8: Fermentación <i>Pseudomona aeruginosa</i>	50
Tabla 9: Soluciones preparadas	55
Tabla 10: Matriz de comparación acerca de la determinación de la calidad del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca, mediante el estado del arte	57
Tabla 11: Matriz de comparación de las concentraciones de mercurio total y plomo total antes y después de la aplicación del método de detoxificación	61
Tabla 12: Porcentaje de metal tóxico removido por el método de detoxificación	62
Tabla 13: Remoción de Hg total y Pb total con CAG y <i>Pseudomona aeruginosa</i> por separado	62
Tabla 14: Resultados de las condiciones experimentales	64
Tabla 15: comparación concentraciones de Hg y Pb con la normatividad vigente Colombiana	67

Lista de figuras

	Pág
Figura 1: Ubicación del municipio de Girardot.	20
Figura 2: ciclo del mercurio en el agua	26
Figura 3: Bioacumulación de los metales en la biomasa viva.	28
Figura 4: Bioadsorción de los metales en la biomasa viva.	29
Figura 5: Mecanismos de interacción entre metales pesados y microorganismos.	30
Figura 6: Adsorción en el carbón activado.	32
Figura 7: Química superficial del carbón activado.	34
Figura 8: Isotherma de Langmuir.	35
Figura 9: Adsorción de iones metálicos en el carbón activado.	36
Figura 10: Adsorción de metales pesados sobre soportes modificados biológicamente	37
Figura 11: Puntos de muestreo en el río Magdalena.	45
Figura 12: Pseudomona aeruginosa.	50
Figura 13: Adsorción de plomo en Pseudomona aeruginosa	63

Lista de abreviaturas

Hg	Mercurio
Pb	Plomo
CAG	Carbón Activado Granular
Cd	Cadmio
Cr	Cromo
CL50	Concentración letal media
PMA	Acetato fenilmercúrico
t	Tonelada
ENA	Estudio Nacional del Agua
mg	Miligramo
L	Litros
Kg	Kilogramo
OMS	Organización mundial de la salud Organización de las naciones unidad para la alimentación y la agricultura
FAO	
ICA	Índice de calidad del agua
IDEAM	Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales
OD	Oxígeno disuelto
SST	Sólidos suspendidos totales
DQO	Demanda química de oxígeno
CE	Conductividad eléctrica
pH	Potencial de hidrógeno
NT	Nitratos totales
PT	Fosfatos totales
Cm ³	centímetro cúbico
HgS	Sulfuro de mercurio
PbS	sulfuro de plomo
CdS	sulfuro de cadmio
HgCl ₂	Cloruro mercúrico
Hg(ONC) ₂	Fulminato de mercurio
MeHg	Metilmercurio
(CH ₃) ₂ Hg	Dimetilmercurio
C ₆ H ₅ Hg ⁺	Fenilmercurio
Hg ²⁺	Mercurio Inorgánico
PbO	Oxido de plomo
PbCO ₃	Carbonato de plomo
CL	Concentración letal
MMS	Medio Mínimo de Sales

g	Gramos
ml	Mililitros
UFC	Unidades formadoras de colonia
ICP	Espectrofotómetro de plasma de acoplamiento inductivo
RPM	Revoluciones por minuto
°C	Grados celsius
Hg(NO ₃) ₂	Nitrato de mercurio
Pb(NO ₃) ₂	Nitrato de plomo
CA	Carbón activado sin inmovilizar
Ps	Pseudomona aeruginosa
CAPs	Carbón activado inmovilizado
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno

1. TÍTULO

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

2. RESUMEN

Este proyecto describe una metodología para evaluar la remoción de mercurio y plomo en fase acuosa a través de; *Pseudomona aeruginosa* inmovilizada sobre carbón activado granular; en tres muestras de agua del río Magdalena en Girardot Cundinamarca.

El estudio parte de la necesidad de buscar una solución a la contaminación por metales pesados en los ríos Bogotá y Magdalena, generada por las actividades antropogénicas.

En Colombia el río más contaminado es el Bogotá y este desemboca en el río Magdalena en el municipio de Girardot Cundinamarca. La contaminación en el río Bogotá se debe principalmente a la descarga de aguas residuales domésticas e industriales de la capital Colombiana¹; sin embargo es importante mencionar que este río presenta un deterioro considerable aguas abajo de Villa pinzón²: este municipio se caracteriza por tener la industria de curtiembres, las cuales son altamente contaminantes para el ambiente.

MANCERA RODRÍGUEZ, Javier y ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo afirman que: “La alta contaminación del Río Magdalena es producto del desarrollo a lo largo y ancho de la cuenca de múltiples actividades industriales entre los cuales sobresalen la minería aurífera y la petroquímica”³.

También mencionan que los problemas de contaminación en este río son debidos a la aplicación excesiva de plaguicidas y fertilizantes; los cuales llegan por arrastre hasta sus aguas⁴; por ejemplo existen plaguicidas que contienen mercurio como: el fungicida-insecticida, desinfectante Bicloruro de mercurio (Plaguicida inorgánico)⁵ y el acetato fenilmercúrico (PMA) que se utiliza como herbicida, fungicida y conservante de las pinturas de látex⁶.

¹ PÉREZ PRECIADO, Alfonso. El problema del río Bogotá. En: Fundación al Verde Vivo. [Base de datos en línea]. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://alverde vivo.org/SitioAntiguo/Documentos/EL%20PROBLEMA%20DEL%20RIO%20BOGOTA.pdf>

² Corporación Autónoma Regional CAR. PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ. . [En línea]. 2006. [Consultado 25 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T...p...f...

³ MANCERA RODRÍGUEZ, Javier y ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. [En línea]. 2005. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/29142/1/27140-100723-1-PB.pdf>

⁴ Op.Cit. p, 8.

⁵ Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Plaguicidas inorgánicos. [En línea]. [Consultado 22 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356018/Contenidos_Unida_1/leccin_4_plaguicidas_inorganicos.html

⁶ New Jersey Department of health. Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. Acetato fenilmercúrico. [En línea]. 2009. [Consultado 22 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1502sp.pdf>

Es importante señalar que el Río Magdalena desde su nacimiento en el páramo de las papas (Huila) hasta Girardot Cundinamarca recorre otros municipios como: Natagaima, Prado, Purificación, Suárez, Espinal y Ricaurte; durante éste recorrido el Río recibe diferentes contaminantes por el simple hecho de los asentamientos humanos en su cuenca, sin embargo no se tienen reportes de las fuentes específicas de mercurio y plomo y ésta información no está dentro del alcance de este proyecto

Ahora bien, se debe mencionar que en esta investigación también se probó el método en condiciones experimentales de referencia, para evaluar la eficacia del método y así poder contrastar el comportamiento adsorbente de los carbones con la bacteria inmovilizada, sin inmovilizar y la bacteria sola, además del comportamiento en ausencia de los factores adicionales presentes en el río, que pueden modificar la capacidad de adsorción

De esta forma se obtuvieron los mejores resultados con la combinación carbón activado-Pseudomona; removiendo aproximadamente el 75% de cada metal, pues aplicando cada elemento por separado, se obtiene una remoción aproximadamente del 50% de cada metal, lo que significa que al combinar carbón activado granular CAG y *Pseudomona aeruginosa* se potencializa la remoción de Hg y Pb por los procesos que realizan tanto el CAG como la cepa, los cuales se especifican en el desarrollo de este proyecto.

Adicionalmente se determinó el estado del arte de la calidad del agua del río Magdalena en Girardot Cundinamarca y se compararon los resultados de las concentraciones halladas de Hg y Pb antes de la aplicación del método de detoxificación, con la normatividad vigente de Colombia: Resolución 2115 de 2007 y el decreto 1076 de 2015.

Los resultados arrojaron que la calidad del agua en el río Magdalena específicamente en Girardot Cundinamarca ha ido disminuyendo a través de los años y esto puede deberse a diferentes factores como: los asentamientos humanos, los vertimientos domésticos e industriales, la desembocadura del Río Bogotá entre otros.

Además que las concentraciones de mercurio y plomo halladas en el Río Magdalena, sobrepasan 100% los límites permisibles en la resolución 2115 de 2007 y en el decreto 1076 de 2015 (decreto único del sector ambiente y desarrollo sostenible) las concentraciones de mercurio y plomo sobrepasan los diferentes límites de calidad para uso del agua, excepto el de uso agrícola que permite una concentración máxima de plomo de 5 ppm y no menciona el mercurio; por lo tanto este agua serviría para uso agrícola

3. INTRODUCCIÓN

La contaminación en las fuentes hídricas aqueja al mundo, pues causa diferentes problemáticas y/o impactos negativos en la salud humana, los ecosistemas, la flora, la fauna, la economía, entre otros. En Colombia esta problemática no es una excepción y se deben buscar soluciones que contribuyan con el cuidado del ambiente y la recuperación.

Se debe resaltar que esta investigación se centra en los ríos Bogotá y Magdalena en Girardot Cundinamarca, pues es la zona de influencia de la Universidad de Cundinamarca seccional Girardot: Alto Magdalena.

1. Problemática ambiental en los ríos Bogotá y Magdalena

En la actualidad el río Bogotá es el más contaminado de Colombia, durante su recorrido recibe diferentes tipos de contaminantes que lo deterioran como: detergentes, materia orgánica, plaguicidas, herbicidas, metales pesados, aguas residuales domésticas e industriales, entre otros. De manera que, al desembocar en el río Magdalena en Girardot Cundinamarca, se convierte en su principal fuente de contaminación⁷.

Asimismo la contaminación del Río Magdalena también se debe a diferentes factores como la industria minera, petroquímicas, residuos de fertilizantes y plaguicidas que llegan por arrastre hasta sus aguas, además de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales generalmente sin un tratamiento previo, entre otros⁸.

Todos estos contaminantes afectan significativamente el recurso hídrico, sin embargo en esta investigación se escogieron los metales pesados porque son los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente ya que causan graves problemas a los ecosistemas y a la salud humana pues tienen gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos generándose una contaminación por biocumulación y asimismo se genera un efecto multiplicador en la cadena trófica denominado biomagnificación⁹.

Específicamente se escogieron los metales Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) porqué en Colombia según el Estudio Nacional del Agua 2014 (ENA)¹⁰, se vierten cantidades significativas de estos metales, por ejemplo: en el año 2012 se estimó una carga vertida de 205 toneladas (t) de mercurio al suelo y al agua de las

⁷ PÉREZ PRECIADO. Op. Cit., p. 1-2

⁸ Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial MAVDT y universidad de Antioquia. Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia. [En línea]. 2010. [Consultado 25 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Inventario_Cuantificacion_Mercurio.pdf

⁹ MANCERA RODRÍGUEZ y ÁLVAREZ LEÓN. Op. Cit., p. 4-5

¹⁰ Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM y ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible MADS. Estudio Nacional del Agua ENA. [En línea]. 2014. [Consultado 26 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

cuales el 27.5% corresponden al uso para el beneficio de la plata y el 72.5% al beneficio del oro. Adicionalmente en este mismo estudio afirman que el plomo presentó concentraciones altas mayores o iguales a 12,3 mg/Kg en el año 2013.

También se debe resaltar que estos metales son de uso común por ejemplo: el plomo se utiliza para; baterías automotrices, el revestimiento de cables, acero chapado en plomo, pinturas anticorrosivas especiales, municiones, tuberías destinadas para usos especiales por ejemplo: el transporte químico entre otros. Asimismo el mercurio se utiliza para la producción de interruptores eléctricos, termómetros, fuentes de luz, industria minera entre otros¹¹.

Es importante buscar una solución a esta contaminación, por lo cual una opción es implementar métodos de biorremediación como alternativa biotecnológica, ya que procesos físicos y químicos son más complicados y costosos, además que resultan ineficientes cuando la concentración de metales es muy baja¹².

Asimismo, es primordial, determinar la calidad de los cuerpos de agua, pues con ésta se puede diagnosticar el estado de contaminación del mismo; por lo cual se deben conocer las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas generales de éste, las cuales son medibles dentro del índice de calidad del agua ICA¹³.

2. Técnicas para la descontaminación de metales pesados en fuentes hídricas

Existen diferentes métodos para tratar aguas contaminadas con metales que incluyen precipitación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana entre otros, pero como se mencionó anteriormente resultan costosos e ineficientes cuando la concentración de los metales es baja además de que los métodos químicos son costosos debido a que el agente activo no puede ser recuperado para su posterior reutilización generando un lodo contaminado y difícil de eliminar comparándolo con el uso de sistemas biológicos para la remoción de metales pesados los cuales tienen el potencial para hacerlo mejor y a menor costo¹⁴.

Uno de los métodos de destoxificación para metales pesados se realiza por medio de microorganismos que remueven el contaminante del medio¹⁵. Otro método es realizado con carbón activado, el cual adsorbe metales como el plomo¹⁶. Sin embargo existe otro método menos estudiado, en el que se

¹¹ Organización mundial de la salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable. [En línea]. 2006. [Consultado 26 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf

¹² CAÑIZARES VILLANUEVA, Rosa. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. [En línea]. 2000. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>

¹³ SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. Calidad: agua superficial. [En línea]. 2009. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=860&conID=1373>.

¹⁴ CAÑIZARES VILLANUEVA. Op. Cit., p.133

¹⁵ CAÑIZARES VILLANUEVA. Op. Cit., p.

¹⁶ Ibid.p.10

inmovilizan los microorganismos sobre el carbón activado para la destoxificación de metales pesados, pues ha mostrado que se aumenta la remoción del metal combinando el CAG y la cepa¹⁷.

Un ejemplo de este último método lo realizó Rivera Utrilla et al¹⁸, quienes efectuaron experimentos de biosorción de Pb, cadmio (Cd) y cromo (Cr), con una cepa de *Escherichia coli* sobre carbón activado, comprobando el aumento de la capacidad de adsorción de metales con este método¹⁹. Por consiguiente, esta investigación se enfocó en evaluar un método para la descontaminación de Hg y Pb el cual contribuye a ampliar los resultados obtenidos previamente.

¹⁷ REYES TORIZ, Erik; CERINO C., Felipe y SUÁREZ, Martha. Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. [En línea]. 2006. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: www.ingenierias.uanl.mx/31/31_remocion.pdf.

¹⁸ Ibíd. p. 63

¹⁹ REYES TORIZ. Op. Cit., p. 63-64.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Bogotá desde su nacimiento hasta la desembocadura, ha sido contaminado por aguas residuales; aguas de uso doméstico e industrial. “Se ha convertido en la mayor alcantarilla abierta de Colombia”²⁰.

La población que vive en la cuenca baja del río Bogotá, está expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, pues estos han llegado hasta su desembocadura en el río Magdalena²¹.

Diversos estudios como el de MANCERA RODRÍGUEZ, Javier y ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo²², dan a conocer el estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia, donde se encontró que en Girardot en aguas del río Magdalena, los peces como *Prochilodus magdalenae* (Bocachico), *Pimelodus grosskopfii* (Capaz), bioacumulan el mercurio en una concentración de 0.12 ppm. Y el *Pimelodus clarias* (Bagre amarillo) lo bioacumula en una concentración de 0.07 ppm y la *Loricaria gymnogaster* (sardina blanca), bioacumula este metal en una concentración de 0.05ppm.

Es importante señalar que la dosis letal de mercurio en humanos es aproximadamente de 1g, sin embargo se ha reportado envenenamiento letal con una ingesta de 0.5 g de sales de mercurio²³. Adicionalmente la concentración letal media (CL50) en ratas macho es menor (<) < 27mg/L en dos horas (h) y en los peces como *Cyprinus carpio* (Carpa) de 0.160 mg/L en 96 h²⁴.

Para el plomo la dosis letal absorbida en humanos en humanos es de 0.5 g pero el riesgo de intoxicación crónica se considera a partir de 0.5 mg/día²⁵. Asimismo

²⁰ PÉREZ. Op. Cit., p. 1.

²¹ RAMÍREZ CALDERÓN, Ever; SÁNCHEZ INFANTE, Clara; CARTAGENA TORRES, Edgar y DÍAZ ÁLVAREZ, Juan. Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot. [En línea]. 2010. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/imagenydesarrollo/article/view/1156/648>

²² MANCERA RODRÍGUEZ, Javier y ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. [En línea]. 2005. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/29142/1/27140-100723-1-PB.pdf>

²³ MATHS BERLIN, RUDOLFS K. ZALUPS, Y BRUCE A. FOWLER. Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition). Chapter 46 Mercury. [En línea]. 2015. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444594532>

²⁴ Sigma-Aldrich. Ficha de datos de seguridad: Mercurio. . [En línea].2016. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.sigmaaldrich.com/us-export.html>

²⁵ VIASALUS. Toxicología-sustancias. Plomo. [En línea]. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/18873/Toxicologia_OCR.pdf?sequence=2

la CL50 en los peces como *Oncorhynchus mykiss* (Trucha irisada) es de 1.19 mg/L en 96 horas²⁶.

Por lo mencionado anteriormente, es importante implementar métodos que contribuyan a la remoción de metales pesados del agua y así evitar los daños generados a la ictiofauna, ecosistemas y a la salud humana. ¿Funcionará un método de biorremediación con *Pseudomonas aeruginosa* inmovilizada sobre carbón activado granular para destoxificar el mercurio y plomo en tres muestras de agua del río al Magdalena?

²⁶ Sigma-Aldrich. Ficha de datos de seguridad: Plomo. [En línea].2016. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.sigmaaldrich.com/us-export.html>

5. JUSTIFICACIÓN

Los metales pesados son los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente, sin embargo muchos de estos son esenciales para el normal funcionamiento de los seres vivos en concentraciones bajas como; el Cu, Mn, Fe, Zn entre otros, por ejemplo: el cobre es un elemento esencial para el hombre pues interviene en el desarrollo de los huesos, la síntesis de la hemoglobina entre otros, pero el comité mixto de la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) y la organización mundial de la salud (OMS) establecen una cantidad de 0.5 mg/Kg como ingestión máxima diaria admisible²⁷.

Asimismo sucede con el Manganeseo (Mn), la ingestión máxima permitida diaria es de 2-3 mg/ día. Cabe resaltar que el rango de concentración para cada elemento necesario para el mantenimiento de la vida ha sido establecido mediante estudios de nutrición, pues cuando se ingieren dosis elevadas se altera el funcionamiento del ser vivo²⁸.

Por otra parte, los metales como el Pb y el Cd no tienen ninguna función biológica. Estos metales se biomagnifican por procesos naturales, su concentración puede llegar a ser muy tóxica para el recurso íctico, los ecosistemas y la salud humana²⁹. Por ejemplo la CL50 en los peces como *Oncorhynchus mykiss* (Trucha irisada) es de 1.19 mg/L en 96 horas³⁰, lo que significa que a esta concentración y en el tiempo determinado mueren la mitad del total de las truchas irisada.

Los microorganismos como las bacterias, pueden remover el metal del medio a través de la biosorción es decir, por procesos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico³¹. También el carbón activado tiene la capacidad de adsorber metales, pues se ha demostrado que es eficaz en la remoción de metales pesados en el agua³².

Estudios recientes han demostrado que inmovilizar microorganismos sobre el carbón activado mejora la remoción de los metales como el Pb y el Cd³³. Es necesario probar un método de destoxificación in vitro como éste, para que en futuras investigaciones se pueda implementar directamente en el cauce.

²⁷ JIMÉNEZ SERRANO, C. ASPECTOS NUTRICIONALES Y TOXICOLÓGICOS DE ALGUNOS ELEMENTOS MINERALES: COBRE, HIERRO, MANGANESO Y ZINC. . [En línea]. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.uclm.es/ab/enfermeria/revista/numero%204/elementosminerales4.htm>

²⁸ Ibid., p. 1

²⁹ CAÑIZARES. Op. Cit., p. 2-3.

³⁰ Sigma-Aldrich. Ficha de datos de seguridad: Plomo. Op. Cit., p. 8

³¹ Ibid. p. 4-5

³² RODRIGUEZ ESTUPIÑAN, Paola; GIRALDO, Liliana y MORENO PIRAJÁN, Juan. Adsorción simple y competitiva de níquel y cadmio sobre carbón activado granular: efecto del pH. [En línea]. 2011. [Consultado 5 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/269638/357174>

³³ TORIZ. Op. Cit., p. 62-63.

6. OBJETIVOS

❖ Objetivo general

Evaluar un método de remoción de mercurio y plomo con *Pseudomona aeruginosa* inmovilizada sobre carbón activado granular en tres muestras de agua del río Magdalena.

❖ Objetivos específicos

Determinar el estado del arte de la calidad del agua del río Magdalena en el municipio de Girardot Cundinamarca.

Cuantificar mercurio y plomo en fase acuosa; antes y después de la aplicación del método de destoxificación.

Comparar con la normatividad vigente de Colombia: Resolución 2115 de 2007 y el decreto 1076 de 2015, las concentraciones halladas de los metales pesados, antes de la aplicación del método de destoxificación.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1 Marco teórico

7.1.1 Características generales de Girardot-Cundinamarca

Girardot es un municipio ubicado al sur occidente del departamento de Cundinamarca, está rodeado por dos ríos: al sur oeste por el río Magdalena y al este por el río Bogotá. En este municipio desemboca el río Bogotá en el río Magdalena³⁴, como se observa en la figura 1.

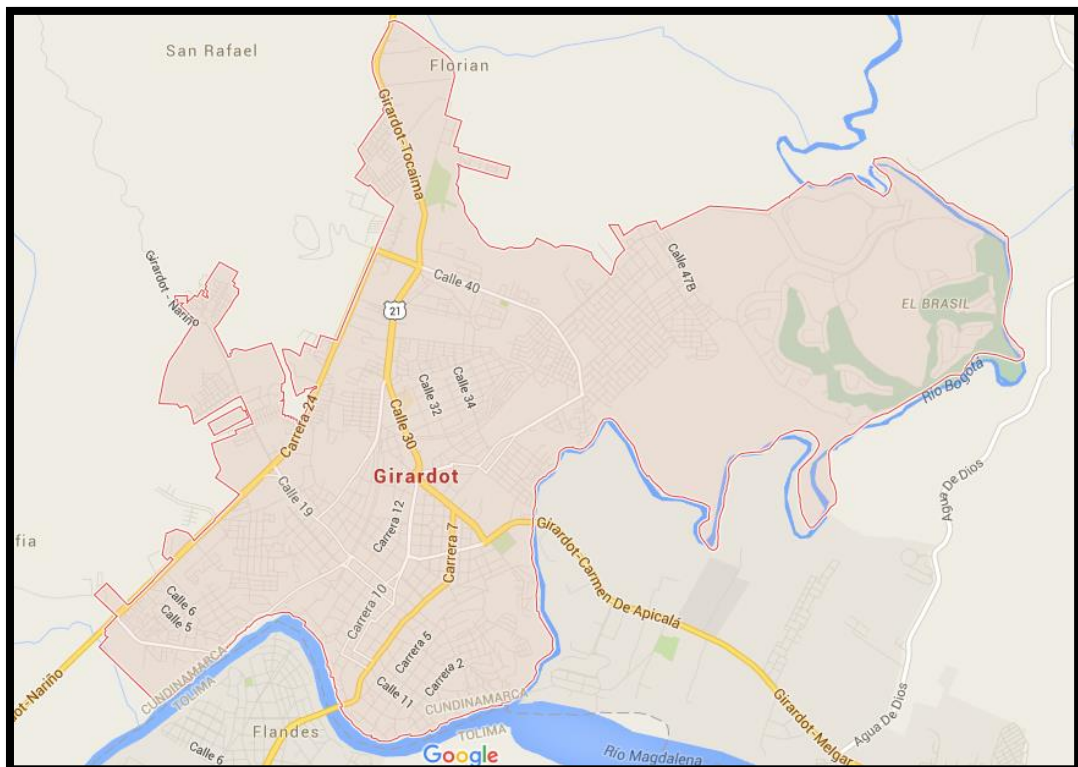


Figura 1: Ubicación del municipio de Girardot. Fuente: Google maps³⁵.

La economía de este municipio se centra en el turismo pues se encuentra a tan solo 134 Km de la capital del país, además tiene una temperatura media anual de 33°C y posee una buena infraestructura hotelera. Sus tierras planas son aptas para cultivos de sorgo, ajonjolí, algodón, maíz y arroz³⁶.

³⁴ ALCALDÍA DE GIRARDOT-CUNDINAMARCA. Nuestro municipio: Geografía. [En línea]. 2013. [Consultado 10 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://girardot-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

³⁵ GOOGLE MAPS. Girardot Cundinamarca. [En línea]. 2015. [Consultado 25 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.google.com.co/maps/place/Girardot,+Cundinamarca/@4.2178839,-74.7536503,12z/data=!4m2!3m1!1s0x8e3f28eb1616af2b:0x1d71759ce9e2c519>

³⁶ ALCALDÍA DE GIRARDOT. Op. Cit.

7.1.2 Índice de calidad del agua ICA

El ICA según el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo en un tiempo determinado³⁷. Las categorías en las que puede ser calificada la calidad del agua son: bueno, aceptable, regular malo y muy malo como se observa en la Tabla 1³⁸.

Descriptor	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0-0.25	Rojo
Malo	0.26-0.50	Naranja
Regular	0.51-0.70	Amarillo
Aceptable	0.71-0.90	Verde
Bueno	0.91-1.00	Azul

Tabla 1: Categorías de la calidad del agua. Fuente: Propia adaptada del IDEAM³⁹

Las cinco variables que se miden para realizar el índice de calidad de agua ICA son: oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrogeno (pH). En el caso de seis variables se miden las variables mencionadas anteriormente junto con la relación de nitratos totales (NT) y fosfatos totales (PT). Posteriormente con los resultados de estas se realizan los cálculos correspondientes con las variables para determinar el resultado del ICA⁴⁰.

Cabe resaltar que en Colombia el IDEAM es el encargado de realizar este índice ya que tiene como función; efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la nación, especialmente en lo referente a su contaminación y degradación, necesario para la toma de decisiones de las autoridades ambientales⁴¹.

Sin embargo se debe mencionar que los laboratorios convencionales también pueden realizar el ICA, pero para que estos datos sean válidos y aceptados

³⁷ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. Hoja metodológica del índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). [En línea]. 2011. [Consultado 28 de Julio de 2015]. Disponible en internet: <URL: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

³⁸ IDEAM. Capítulo 6: calidad del agua superficial de Colombia. [En línea]. 2010. [Consultado 29 de Julio de 2015]. Disponible en internet: <URL: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP6.pdf>

³⁹ Ibid. p. 234

⁴⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. Op. Cit., p. 3-4

⁴¹ COLOMBIA. IDEAM. Resolución 0268 de 2015. (06, marzo, 2015). Por la cual se modifica la resolución 0176 de 2003 y 1754 de 2008, y se establecen los requisitos y el procedimiento de acreditación de organismos de evaluación de la conformidad en matrices ambientales, bajo la NTC-ISO/IEC 17025 en Colombia. Diario oficial. Bogotá D.C., 2015.

por las diferentes autoridades, los laboratorios deben estar acreditados por el IDEAM⁴².

7.1.3 Generalidades de metales pesados y la detoxificación

Los metales pesados son elementos químicos que presentan una densidad igual o mayor a 5g/cm³. Estos se encuentran en la naturaleza de forma natural pero no son abundantes, su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1%, sin embargo, por actividades antrópicas son introducidos a los ecosistemas causando su contaminación.

Estos metales tienen efectos tóxicos sobre las células ya que tienen gran capacidad para unirse con moléculas orgánicas⁴³ puesto que poseen una distribución electrónica en la capa de valencia similar a la de los metales fisiológicos, lo cual les proporciona ventaja para ocupar los espacios destinados a estos metales por ejemplo: el mercurio es antagonista del cobre, del hierro, del selenio, del zinc y del anión sulfuro; y el plomo es antagonista del anión sulfuro, del calcio, del selenio, del cromo, del hierro, del cobre, del manganeso y del magnesio⁴⁴.

También son los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente⁴⁵, en el medio (agua), suelen encontrarse en bajas concentraciones, sin embargo, a medida que avanza la cadena trófica en los niveles superiores en este caso peces, se puede evidenciar las altas concentraciones de estos elementos, las cuales son mucho más elevadas que las presentes en el agua ya que estos metales son bioacumulados y biomagnificados a través de la cadena trófica⁴⁶.

En los seres vivos estos metales bloquean las actividades biológicas, provocando la inhibición enzimática e incluso alteran la respiración celular y el material genético⁴⁷. Es importante tener en cuenta que los metales pesados pasan a ser biodisponibles para los seres vivos, es decir, que se encuentran disponibles para ser captados, pero esto depende de las características fisicoquímicas del medio⁴⁸, por ejemplo el pH afecta la especiación química y la

⁴² COLOMBIA. IDEAM. Op. Cit., p., 2.

⁴³ UNAD. Lección 9: Clasificación, composición, propiedades y toxicidad de metales pesados. [En línea]. 2008. [Consultado 12 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358025/Material_online/leccin_9_clasificacin_composicion_propiedades_y_toxicidad_de_metales_pesados.html

⁴⁴ NUTRICIÓN CELULAR. Metales pesados: una mina de enfermedades.[En línea]. [Consultado 27 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: www.nutricioncelular.es/articulos/descargar_articulo/101

⁴⁵ CAÑIZARES. Op. Cit., p. 3

⁴⁶ MANCERA. Op. Cit., p. 5-6

⁴⁷ TORTOSA, Germán. La contaminación por metales pesados se amplifica con los desastres naturales. [En línea]. 2012. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/01/26/la-contaminacion-por-metales-pesados-se-amplifica-con-los-desastres-naturales/>

⁴⁸ Revista química viva. [En línea]. Argentina. Departamento de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires- Instituto de Química

movilidad de muchos metales pesados; al aumentar el pH el Hg y el Pb forman especies hidroxiladas y pueden precipitarse⁴⁹. (Ver Anexos A y B).

También el potencial de óxido reducción (redox) influye, pues cuando los sedimentos están sometidos a unas condiciones redox determinadas pueden precipitar los metales, un ejemplo es cuando los sulfatos se reducen a sulfuros produciendo la precipitación de diferentes metales a: sulfuro de mercurio (HgS), sulfuro de plomo (PbS), sulfuro de cadmio (CdS), entre otros⁵⁰.

También los microorganismos afectan la biodisponibilidad de los metales ya que su actividad metabólica juega un papel importante en la movilidad de los elementos tóxicos en el ambiente; por ejemplo existen microorganismos que convierten las especies inorgánicas en orgánicas; un ejemplo es cuando las bacterias metiladoras convierten el mercurio en metilmercurio; el cual resulta más tóxico que el propio metal debido a su capacidad de acumulación en los tejidos blandos de los seres vivos⁵¹.

CAÑIZARES VILLANUEVA, Rosa⁵² habla acerca de la destoxificación en aguas residuales industriales como; un proceso de desintoxicación, remoción o recuperación de metales, el cual puede ser realizado por microorganismos es decir, por medio de este proceso se puede recuperar metales valiosos como el oro y se extraen o remueven los metales tóxicos del agua.

7.1.4 Contaminación por metales pesados en los Ríos Bogotá y Magdalena

El río Bogotá nace en el páramo de Guacheneque a 3.400 msnm en el municipio de Villa Pinzón y desemboca en el río Magdalena; la principal arteria fluvial de Colombia, en el municipio de Girardot a 280 msnm⁵³. En este último afluente llamado el río madre de la patria se concentra el 70% de la población colombiana, además es importante mencionar que atraviesa 18 de los 32 departamentos del país y está ligado a su historia⁵⁴.

Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales- IQUIBICEN. 2003. Disponible en internet:<URL: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm>. ISSN: 1666-7948

⁴⁹ ROSAS RODRÍGUEZ, Hermógenes. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. [En línea]. 2001. [Consultado 27 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL:

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6978/02INTRODUCCION.pdf?sequence=2>

⁵⁰ ROSAS RODRÍGUEZ, Hermógenes. Op. Cit., p. 12-20

⁵¹ Ibid. p. 12-20

⁵² CAÑIZARES VILLANUEVA, Rosa. Op. Cit. p. 1-13

⁵³ MONROY SALADEN, Vivian y OSPINA ORTIZ, Rafael. Un modelo de externalidades y derechos de propiedad para reducir la polución del río Bogotá. [En línea]. 2014. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/14933/1/MonroySaladenVivianRosario2014.pdf>

⁵⁴ CORMAGDALENA. El gran río Magdalena; Gastronomía y sabores. . [En línea]. 2014. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL:

El río Bogotá durante su recorrido es contaminado por los seres humanos ya que usan sus aguas para verter los residuos generados en los procesos de curtido, las aguas residuales domésticas de los municipios, los residuos de la actividad minera, las aguas industriales y además utilizan sus aguas para: la agricultura, ganadería, la generación de energía hidroeléctrica entre otros. Este río tiene muy baja capacidad de autodepuración por su escasa pendiente ya que ésta imposibilita que su caudal desarrolle una velocidad adecuada para oxigenarse en forma óptima⁵⁵.

RAMÍREZ CALDERÓN, Ever, et al⁵⁶. Afirman que la población que vive en la cuenca baja del río Bogotá es decir Girardot, está expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, pues estos han llegado por arrastre hasta la zona que constituye la desembocadura en el río Magdalena.

PÉREZ PRECIADO, Alfonso⁵⁷. Afirma que: “el río Bogotá se ha convertido en la mayor alcantarilla abierta de Colombia”. Este río vierte diariamente al Magdalena altas concentraciones de contaminantes como físicos y químicos en cantidades tales como; 278 Kg de plomo, 318 Kg de cromo, 140 toneladas de hierro, 1.11 toneladas de detergentes y 835 toneladas de sólidos en suspensión, entre otros⁵⁸.

Un estudio realizado por la empresa de acueducto y alcantarillado de Girardot, Ricaurte y la región “ACUAGYR” y la Universidad de los Andes caracterizó el agua del río Magdalena en el tramo Girardot-Honda y hallaron concentraciones de metales como cadmio, cobre, cromo, hierro, níquel y plomo. En la parte de la desembocadura del río Bogotá se encontró una concentración de 0.14 mg/L de Pb, 0.36 mg/L de Cromo, 0.03 mg/L de Cadmio, 0.11 mg/L de Cobre, 165 mg/L de Hierro y 0.22 mg/L de Níquel⁵⁹.

Adicionalmente una investigación realizada en el Río Magdalena revela que se encontraron concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces de este río en Girardot Cundinamarca, tales como; *Prochilodus magdalenae* (Bocachico), *Pimelodus grosskopfii* (Capaz), los cuales bioacumularon mercurio en una concentración de 0.12 ppm y el *Pimelodus clarias* (Bagre amarillo) lo bioacumulo en una concentración de 0.07 ppm y la *Loricaria gymnogaster* (sardina blanca), bioacumulo este metal en una concentración de 0.05ppm⁶⁰.

http://dc02eja.cormagdalena.com.co/recursos_user/comunicaciones/gastronomia%20y%20sabores.pdf

⁵⁵ MONROY SALADEN y OSPINA ORTIZ. Op.Cit., p.17-19.

⁵⁶ Ramírez. Op. Cit., p. 94-97.

⁵⁷ PÉREZ PRECIADO, Alfonso. Op. Cit., p. 1.

⁵⁸ Ibid. p. 1-2

⁵⁹ BITAR, J Y CAMACHO, L. Implementación de un modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot – Honda. . [En línea]. 2005. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/757/MI_ICYA_2005_036.pdf?sequence=1

⁶⁰ MANCERA RODRÍGUEZ, Javier y ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo. Op. Cit. p., 13-15

7.1.5 Mercurio y plomo

En Colombia los metales pesados son generados por múltiples actividades industriales, entre las cuales se destacan la minería aurífera y la petroquímica⁶¹. El mercurio es un metal pesado que ha sido muy utilizado a través del tiempo en: amalgamas dentales, plaguicidas, termómetros, luminotecnia, desinfectantes entre otros⁶².

“La fuente natural de mercurio más importante a nivel económico es el cinabrio, un sulfuro cuyo contenido de mercurio alcanza el 85% y la principal fuente antropogénica la constituyen los residuos industriales que se acumulan en los cuerpos de agua, los sedimentos y la atmósfera”⁶³.

Generalmente el mercurio elemental se utiliza para la producción de termómetros y para la amalgamación del oro y la plata sin embargo también existen sales de este metal, algunas de las más importantes son: el cloruro mercúrico (HgCl_2) el cual es utilizado para la producción de monómeros de cloruro de vinilo, el fulminato de mercurio el cual es utilizado para la fabricación de explosivos ($\text{Hg}(\text{ONC})_2$, entre otros⁶⁴.

Este metal es transformado por los microorganismos de inorgánico a orgánico y viceversa; una de las formas orgánicas más importantes es el metilmercurio (muy tóxico) y por su alta solubilidad en lípidos se bioacumula en los peces, quedando disponible hasta llegar al ser humano por medio de la cadena trófica; también existen otras formas orgánicas como lo son: el dimetilmercurio $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, y el fenilmercurio $\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$, éstos también son considerados altamente tóxicos y perjudiciales para el ambiente; cabe mencionar que los seres vivos son incapaces de metabolizar estos metales y por ende son bioacumulados⁶⁵.

El metilmercurio puede acumularse en el cerebro causando graves daños en el sistema nervioso central y malformaciones genéticas, pues se acumulan principalmente en los tejidos blandos sin embargo es importante mencionar que éste se considera el más peligroso, puesto que todas las formas de mercurio pueden convertirse en MeHg ⁶⁶.

⁶¹ MANCERA. Op. Cit., 7

⁶² FONDO PARA LA DEFENSA DE LA SALUD AMBIENTAL. Mercurio y plomo. [En línea]. 2009. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.fondosaludambiental.org/?q=node/125>

⁶³ Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial MAVDT y universidad de Antioquia. Op. Cit., p. 11

⁶⁴ *Ibíd.*, p. 1-42

⁶⁵ MANCERA. Op. Cit., p. 6-7

⁶⁶ Y. Shastri y U. Diwekar. Optimal. Control of lake pH for mercury bioaccumulation control. [En línea]. 2008. [Consultado 27 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380008001518>

Ahora bien, se debe aclarar que el Hg está presente en las cadenas tróficas en dos formas químicas: orgánicas e inorgánicas. Éste metal ingresa al agua generalmente en tres formas: mercurio elemental (Hg^0), mercurio inorgánico (Hg^{2+}) y metilmercurio (CH_3Hg); por vertimientos directos o indirectos, escorrentía entre otros. Posteriormente el mercurio elemental puede ser oxidado a $\text{Hg}(\text{II})$, este mercurio inorgánico puede ser metilado en los sedimentos y en la columna de agua para formar metilmercurio, pero también puede reducirse para formar mercurio elemental, como se observa en la figura 2⁶⁷.

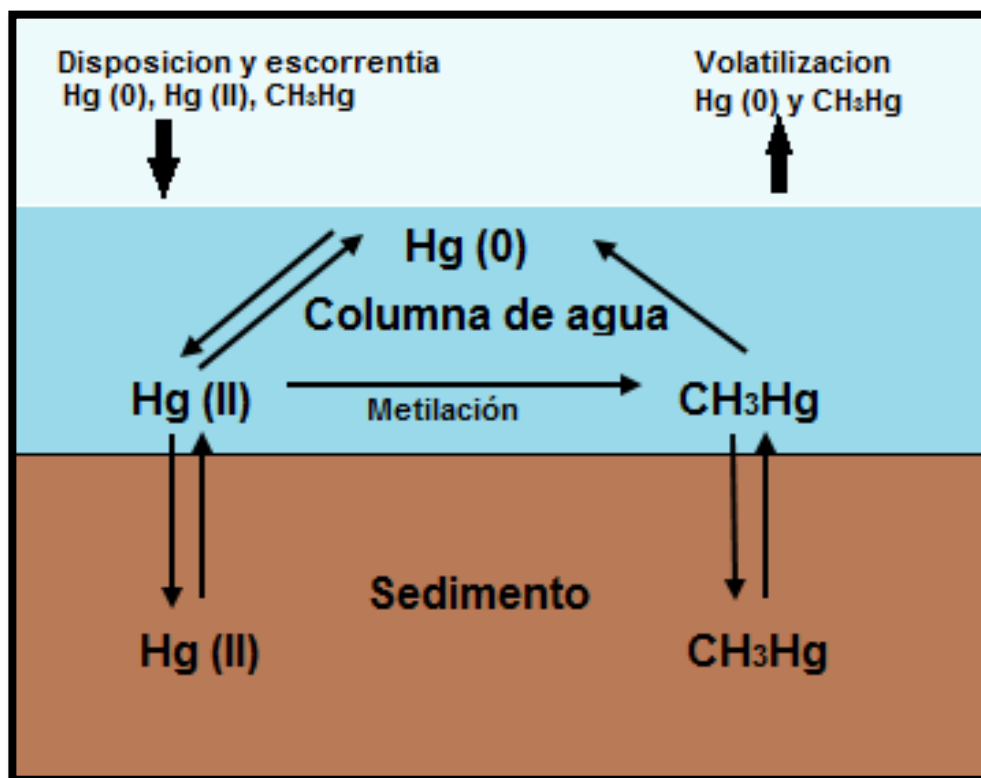


Figura 2: Ciclo del mercurio en el agua Fuente: Propia, adaptada de Y. Shastri y U. Diwekar.

El mercurio, al llegar al ser humano puede provocar alteraciones en el sistema nervioso, daños neuro-fisiológicos en el desarrollo de fetos y niños pequeños⁶⁸. Otros síntomas son: pérdida de memoria, irritabilidad, gingivitis, taquicardia o la muerte⁶⁹. Como se mencionó anteriormente, la dosis letal de mercurio en humanos es aproximadamente de 1g de sales de mercurio, sin embargo se ha reportado envenenamiento letal con una ingesta de 0.5 g de sales de mercurio⁷⁰.

⁶⁷ Y. Shastri y U. Diwekar. Optimal. Op. Cit., p. 3

⁶⁸ MANCERA. Op. Cit., p. 4

⁶⁹ DOADRIO. Op. Cit., p. 15-17

⁷⁰ MATHS BERLIN, RUDOLFS K. ZALUPS, Y BRUCE A. FOWLER. Op. Cit., p. 1014

En los peces el mayor contenido de mercurio se presenta como metilmercurio (MeHg), pero la concentración de éste depende del contenido de mercurio en el agua y sedimentos del fondo, el potencial redox, pH del agua, la especie, la edad y el tamaño de los peces⁷¹.

Otro metal pesado importante en la contaminación del recurso hídrico es el plomo (Pb), el cual se encuentra naturalmente en el mineral denominado galena (PbS) y en las erupciones volcánicas. Tiene diferentes usos tales como: aleación de plomo-estaño (soldaduras), pigmentos para pinturas, fabricación de municiones, producción de tuberías, baterías de los automóviles, cisternas etc.

El plomo metálico es utilizado generalmente en forma de láminas y tubos, un 40% del plomo es usado como metal, un 25% es usado en aleación y un 35% se emplea en compuestos químicos ya sea orgánicos e inorgánicos por ejemplo: el óxido de plomo (PbO) se emplea como aditivo en la industria de vidrios, el nitrato de plomo se usa en la preparación de peróxido de nitrógeno, el óxido de plomo se utiliza en la preparación de pinturas, el plomo tetraetilico como antidetonante en la gasolina de 84 octanos, el acetato de plomo es usado masivamente en los tintes para cabello humano, entre otros⁷².

Este metal se bioacumula y se biomagnifica hasta llegar al ser humano por medio de la cadena trófica provocando: la alteración del sistema nervioso central, hipertensión, insuficiencia renal, alteración de la distribución del calcio y el metabolismo entre otros⁷³. Dentro de la cadena trófica el plomo se encuentra como: plomo en estado de oxidación dos (Pb²⁺), como metal (Pb), como carbonato de plomo (PbCO₃) y/o compuestos orgánicos como el tetraetilo de plomo, el acetato de plomo entre otros⁷⁴.

Es importante implementar métodos de biorremediación que descontaminen el recurso hídrico, en este caso que remuevan los metales pesados del medio, con el fin de evitar enfermedades a los seres vivos y para destoxificar el ambiente, creando nuevas técnicas amigables para el medio.

7.1.6 Biorremediación con bacterias para metales pesados

La biorremediación como su nombre lo indica es el uso de biomasa viva para remediar un problema de contaminación. Generalmente para este proceso se utilizan los microorganismos como hongos y bacterias, también se pueden

⁷¹ MATHS BERLIN, RUDOLFS K. ZALUPS, Y BRUCE A. FOWLER. Op. Cit., p. 1014

⁷² UBILUS LIMO, JULIO. Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara. [En línea]. 2003. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/ubillus_lj/cap2.pdf

⁷³ VALDIVIA INFANTAS, Melinda. Intoxicación por plomo. [En línea]. 2005. [Consultado 22 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf

⁷⁴ LENNTECH. Plomo y agua. [En línea]. [Consultado 22 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm>

utilizar las plantas. Estos son capaces de acumular y remover del medio las sustancias contaminantes como los metales pesados⁷⁵.

Para la remediación de metales pesados en residuos líquidos, existen tres categorías generales de procesos biotecnológicos las cuales son: la precipitación extracelular, la captación a través de biopolímeros purificados y de otras moléculas especializadas, derivadas de células microbianas y la biosorción, en donde una biomasa viva o muerta, capta los metales a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cabe señalar que la biomasa viva involucra procesos metabólicos para la captación y remoción de los metales⁷⁶.

La biosorción es el método más utilizado, por su economía, ya que se utilizan biomásas abundantes como los microorganismos y las algas⁷⁷. La biomasa viva utiliza diferentes mecanismos para la captación de los metales pesados entre los cuales se destacan: la bioacumulación que es la bioabsorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de bioacumulación a través de las células como se observa en la figura 3 y la bioadsorción que es la adsorción de los iones en la superficie de la célula, este fenómeno puede ocurrir mediante intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática como se observa en la figura 4⁷⁸.

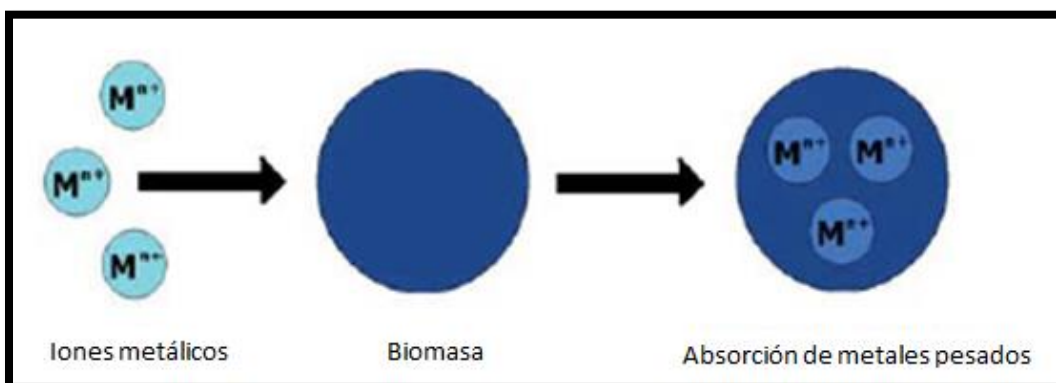


Figura 3: Bioacumulación de los metales en la biomasa viva. Fuente: Toriz⁷⁹

⁷⁵ EL CUADERNO DEL POR QUÉ BIOTECNOLOGÍA. Biorremediación: organismos que limpian el ambiente. [En línea]. 2006. [Consultado 22 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_biotec__25656.pdf

⁷⁶ CAÑIZARES. Op. Cit., p. 4

⁷⁷ Ibid. p. 5

⁷⁸ TORIZ. Op. Cit., p. 60

⁷⁹ Ibid. p. 60

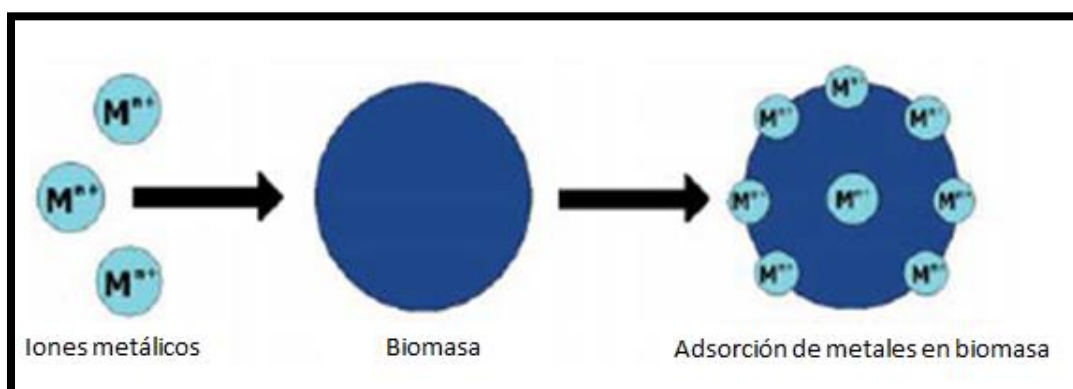
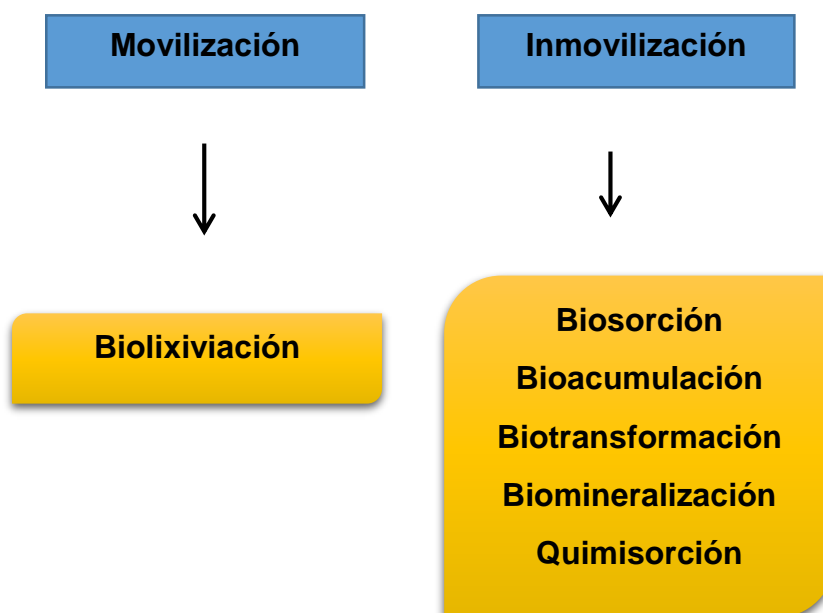


Figura 4: Bioadsorción de los metales en la biomasa viva. Fuente: Toriz⁸⁰

Además, se debe aclarar que existen otros mecanismos para remoción de metales pesados por los microorganismos, los cuales están divididos de acuerdo con el efecto que se produce en la movilidad del metal en: movilización e inmovilización y a su vez subdivididos, como se observa a continuación⁸¹.



Esquema 1: Mecanismos para la remoción de los metales. Fuente: Propia

Cuando un metal se moviliza ocurre la biolixiviación, que es la solubilización del metal. Generalmente este proceso es realizado para extraer los metales

⁸⁰ Ibid. p. 60

⁸¹ CRUZ VEGA. Diana. Remoción de metales por microorganismos productores de polisacáridos. [En línea]. 2008. [Consultado 23 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3635/1/REMOCIONMETALES.pdf>

presentes en los minerales, pero cuando un metal se inmoviliza puede ocurrir cualquier mecanismo de interacción con el microorganismo como: la biosorción y la bioacumulación mencionadas anteriormente, la biomineralización en donde el contaminante pasa de ser orgánico a inorgánico, la biotransformación en donde el xenobiótico es convertido a otro diferente y la quimiosorción en la cual el metal se biomineraliza y sufre una transformación, como se observa en la figura 5⁸².

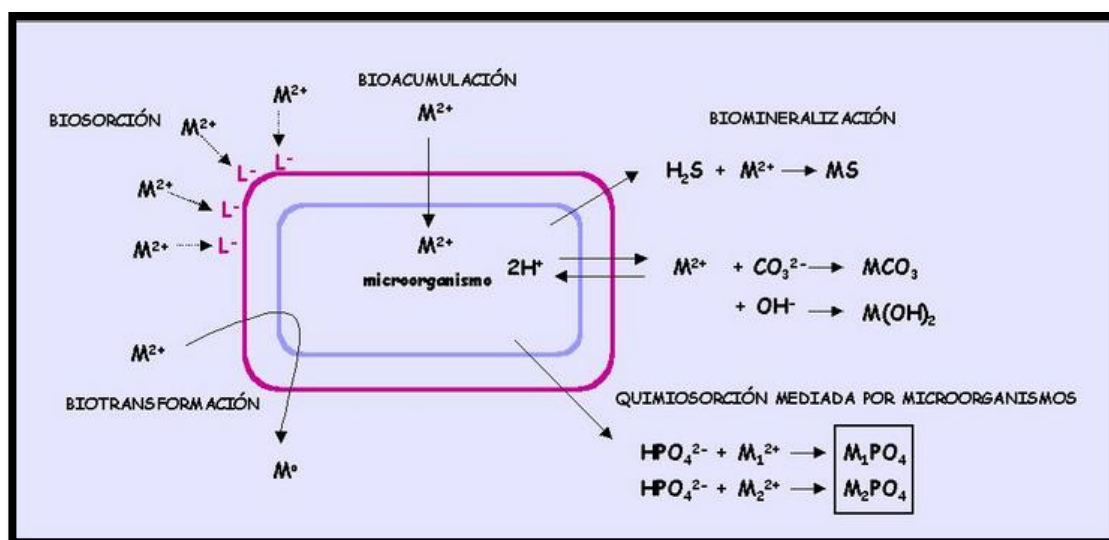


Figura 5: Mecanismos de interacción entre metales pesados y microorganismos
Fuente: Revista química viva⁸³

7.1.7 Bacterias que remueven mercurio y plomo

Estudios previos han demostrado que *Pseudomona aeruginosa* es capaz de reducir el catión de mercurio Hg^{2+} a Hg^0 , es decir lo biotransforma a su forma elemental y por lo tanto contribuye con la remoción⁸⁴ por la volatilización del mismo; además esta bacteria es capaz de bioadsorber el plomo⁸⁵. NARANJO, Enieyis et al⁸⁶, comprobaron que *Pseudomona aeruginosa* bioadsorbe el plomo (II), con una eficiencia de remoción de 97.4%, a un pH entre 4.2 y 5.2

⁸² Revista química viva. Op. Cit.,

⁸³ Revista química viva. Op. Cit.,

⁸⁴ Revista química viva. Op. Cit.,

⁸⁵ VILCHEZ VARGAS, Ramiro. Eliminación de metales pesados de aguas subterráneas mediante sistemas de lechos sumergidos: estudio microbiológico de las biopelículas. [En línea]. 2005. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet: <URL: <http://hera.ugr.es/tesisugr/1542649x.pdf>

⁸⁶ NARANJO, Enieyis; ORBERA, teresa; PÉREZ, Rosa y ROMAGOSA, Yanet. Bioadsorción de plomo (II) por biomasa microbiana seca: Efecto del pH. [En línea]. 2012. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet: <URL: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/viewFile/3365/2823>

Existen otras bacterias que bioadsorben el plomo las cuales son: *Bacillus brevis*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus cereus* entre otros⁸⁷ y otras bacterias capaces de remover el mercurio como: *Pseudomona*, *Psychrobacter*, *Pseudomona putida*, *Bacillus Cereus* entre otros, como se observa en tabla 2⁸⁸.

Microorganismos	Compuesto	Referencia
<i>Pseudomonas</i> , <i>Psychrobacter</i>	Hg orgánico e inorgánico.	Pepi <i>et al.</i> (2011)
<i>P. baleárica</i>	Metil mercurio (MeHg)	Lee <i>et al.</i> (2012)
<i>P. putida</i> V1	MeHg	Cabral <i>et al.</i> (2012)
<i>P. fluorescens</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Citrobacter braakii</i> y <i>Alcaligenes faecalis</i>	Hg (II)	Adelaja y Keenan (2012)
<i>Pseudomonas</i>	Hg (II)	Wagner-Dobler(2003)
<i>P. putida</i> spi3	Tiomersal	Fortunato <i>et al.</i> (2005)
<i>Enterobacter</i> sp.	Hg (II)	Sinha y Khare (2012)
Conjunto de bacterias y algas	Hg (II)	Malakahmad <i>et al.</i> (2011)
<i>Bacillus cereus</i>	Hg (II)	Sinha <i>et al.</i> (2012)

Tabla 2: Bacterias implicadas en la remoción de mercurio y compuestos derivados. Fuente: Propia, adaptada de PAISIO, Cintia, et al⁸⁹.

La *pseudomona aeruginosa* es una bacteria, bacilo Gram negativo, aeróbica, distribuida ampliamente en la naturaleza, su óptimo crecimiento es en 37°C pero tolera hasta 42°C y un pH neutro. Este microorganismo es un patógeno oportunista, tolerante a una gran variedad de condiciones físicas.⁹⁰

⁸⁷ GONZÁLEZ GARZA, María. Aislamiento de microorganismos con alta capacidad de tolerar y remover metales como: Pb(II), Cr(VI), Cd(II), Cu(II), Zn(II) y Ni(II). [En línea]. 2005. [Consultado 23 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/tesis/index/assoc/HASH1146.dir/doc.pdf>

⁸⁸ PAISIO, Cintia; GONZÁLEZ, Paola; TALANA, Melina y AGOSTINI, Elizabeth. Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. [En línea]. 2012. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ambientalex.info/revistas/vol3n23.pdf>

⁸⁹ Ibid. p. 6-7

⁹⁰ MERENGHI, Mindy. En línea]. 2009. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://web.mst.edu/~microbio/BIO221_2009/P_aeruginosa.html

7.1.8 Carbón activado; adsorción

El carbón activado es carbón altamente poroso, producido a partir de materiales ricos en carbono (vegetales o minerales) como los derivados de la madera. Se activa de diferentes formas; química o físicamente. Para la preparación de carbones activados el material es carbonizado y luego sometido al proceso de activación, lo cual conduce a aumentar la porosidad y la capacidad de adsorción del material carbonizado.

Generalmente éste se activa con vapor a altas temperaturas pero también es activado con productos químicos⁹¹, por ejemplo con el ácido fosfórico (agente deshidratante); con éste se rompen las uniones que ligan entre sí a las cadenas de celulosa. Después de agregar este producto químico el material se carboniza a una temperatura de 550 °C para eliminar los restos del reactivo y otros subproductos⁹².

La superficie o área superficial del carbón activado generalmente es de 1000 a 1200m²/gr, lo que representa una superficie similar a la de un campo de fútbol. Este material puede ser caracterizado por sus diferentes tamaños de poros como: microporos (< 2nm), mesoporos (2-50nm) y macroporos (>50nm). Debido a su gran superficie disponible, los materiales o contaminantes son adsorbidos, es decir, son retenidos en la superficie del material, como se observa en la figura 6⁹³.

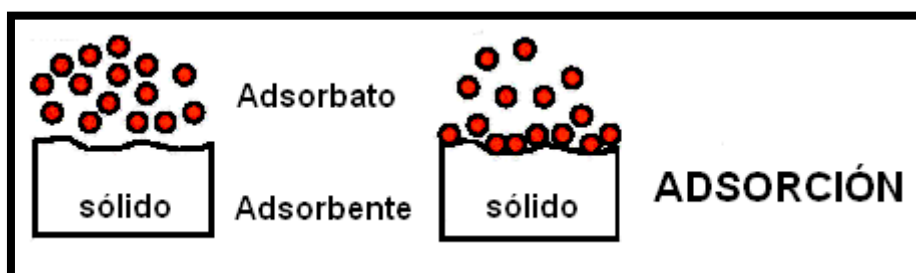


Figura 6: Adsorción en el carbón activado. Fuente: GARCÍA, Vanessa et al⁹⁴.

La adsorción es un proceso fisicoquímico superficial y espontáneo en donde al sólido se le denomina adsorbente y a la molécula adherida adsorbato, esta

⁹¹ CARRIAZO, José; SAAVEDRA, Martha y MOLINA, Manuel. Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. [En línea]. 2010. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://www.researchgate.net/publication/271272065_Propiedades_adsorptivas_de_un_carbn_activado_y_determinacin_de_la_ecuacin_de_Langmuir_empleando_materiales_de_bajo_costo

⁹² CARBOTECNIA. Carbón activado. [En línea]. 2014. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>

⁹³ OOCITIES. Carbón activado. [En línea]. 2009. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/carbonactivado.htm>

⁹⁴ GARCÍA, Vanessa y CASALLAS, Johana. Modificación de carbones activos con ácidos fuertes para retener iones metálicos en aguas contaminadas y el diseño de una unidad didáctica para su enseñanza. Trabajo de Grado Licenciado en Química. Bogotá D.C. universidad pedagógica nacional. Facultad de ciencia y tecnología. Departamento de química.2005.190 p.

adherencia se debe a la atracción electrostática o química que de acuerdo con el tipo de interacción puede ser de carácter reversible o más fuerte,⁹⁵ este proceso se puede observar en la figura 9. Existen dos tipos de adsorción:

- 1) Adsorción física o fisisorción la cual es causada principalmente por las fuerzas de van der waals y las fuerzas electroestáticas; por medio de este proceso las especies pueden adsorberse en varias capas consecutivas de una forma rápida y reversible, dependiendo básicamente del pH de la solución y de la naturaleza química de la especie adsorbida. Esta depende especialmente de las propiedades de la superficie, como su área superficial y su polaridad⁹⁶.
- 2) Adsorción química o quimisorción, la cual es causada por fuerzas de naturaleza química, como por ejemplo la compartición de electrones entre el contaminante y el sólido. Esta depende especialmente de la temperatura, de la naturaleza química del sólido y de la concentración de la especie⁹⁷.

Cabe señalar que el carbón activado puede tener diferente presentación, como se observa en la tabla 3:

Presentación del carbón activado	Descripción	Aplicaciones
Carbón activado granular (GAC)	Sus partículas oscilan entre 0.2 - 5mm	Fase líquida. Fase gaseosa.
Carbón activado en polvo (PAC)	El tamaño de partículas es < 0.18mm	Fase líquida. Fase gaseosa.
Carbón activado extruido	Tiene forma cilíndrica con diámetros entre 0.8mm – 5mm	Fase gaseosa.
Carbón activado textil	Se encuentra en telas o fibras	Uniformes del ejército contra ataques químicos
Monolitos	Forma aglomerada	Fase gaseosa y líquida

Tabla 3: Formas del carbón activado.⁹⁸ . Fuente: Propia

⁹⁵ RODRÍGUEZ ESTUPIÑÁN, Jenny. Modificación y Caracterización Calorimétrica de Carbón Activado Granular, para la Remoción de Cd (II) y Ni (II) en Adsorción Simple y Competitiva. [En línea]. 2011. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6446/1/197550.2012.pdf>

⁹⁶ GARCÍA, Vanessa y CASALLAS, Johana. Op. Cit., p. 30

⁹⁷ Ibid. p. 30-31

⁹⁸ CHEMVIRON CARBÓN. Carbón activado. [En línea].2015. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.chemvironcarbon.com/es/carbon-activo/que-es-el-carbon-activado>

7.1.9 Química superficial de los carbones activados

En el carbón activado la química superficial está determinada por la presencia de átomos distintos al carbono en los bordes de las capas grafénicas, estos se conocen como heteroátomos, los más comunes son: el oxígeno, el hidrogeno y el nitrógeno; los cuales dan origen a una amplia variedad de grupos superficiales de carácter ácido como los ácidos carboxílicos, lactonas, anhídridos y fenólicos; también dan origen a grupos de carácter básico como: pirona, cromeno y a grupos de carácter neutro como los ésteres y éteres. El tipo y cantidad de grupos presentes en la superficie del carbón activado determinan parámetros como la carga e hidrofobicidad superficial, la acidez y la basicidad total del mismo⁹⁹. La química superficial del carbón se puede observar en la figura 7.

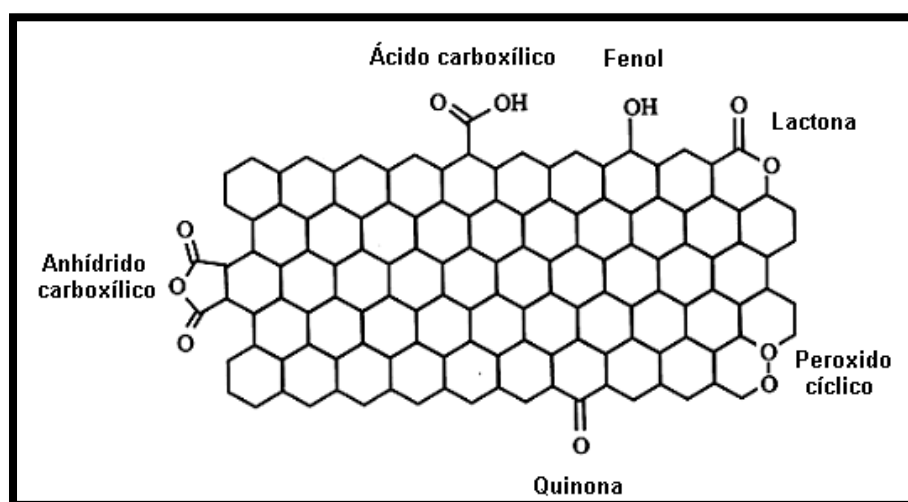


Figura 7: Química superficial del carbón activado. Fuente: GARCÍA, Vanessa et al.¹⁰⁰

7.1.10 Isotermas de adsorción

Según GARCÍA, Vanessa et al,¹⁰¹ la cantidad adsorbida de un adsorbato, en estado gaseoso o en solución acuosa por un sólido, depende de la temperatura y la presión o la concentración respectivamente, así como de la naturaleza del adsorbato y del sólido. Por tanto, para un sistema dado, a una temperatura constante, la variación de la cantidad adsorbida con la presión o la concentración constituye una isoterma de adsorción.

⁹⁹ RODRIGUEZ ESTUPIÑAN, Jenny. Op. Cit. p. 18

¹⁰⁰ GARCÍA, Vanessa y CASALLAS, Johana. Op. Cit., p. 36

¹⁰¹ Ibid. p. 42-43

Estas se utilizan para caracterizar el área superficial de un sólido adsorbente y evaluar la cantidad máxima adsorbida de adsorbato¹⁰². Para el carbón activado uno de las principales isotermas de adsorción utilizado es:

Isoterma de Langmuir: supone que todo el potencial de adsorción es constante en toda la superficie y establece la siguiente expresión general:

$$\theta = \frac{kP}{1 + kP}$$

Donde θ es la cantidad adsorbida de un gas, de un líquido o de moléculas en solución, sobre un sólido a temperatura constante, es función de la presión o concentración, y del número de sitios disponibles en la superficie, k es la constante de equilibrio del proceso y P es la presión del gas, o concentración del adsorbato en el caso de especies en solución¹⁰³. Esta isoterma se grafica como se observa en la figura 8.

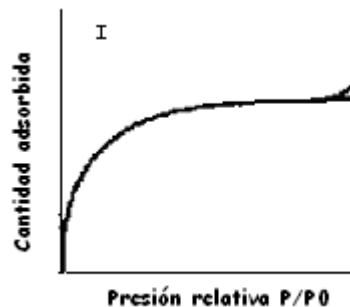


Figura 8: Isoterma de Langmuir. Fuente: GARCÍA, Vanessa et al.¹⁰⁴

7.1.11 Remoción de metales pesados con carbón activado

Investigaciones recientes han comprobado la adsorción de los metales pesados sobre carbón activado; la cual es atribuida a dos factores fundamentales; a las interacciones electrostáticas entre los iones y la superficie del carbón activado y a las interacciones químicas específicas entre los iones y los complejos superficiales, es decir se forma un complejo con el grupo carboxilo $-\text{COOH}$ del carbón y el metal: $[\text{COO-M}2+]$,¹⁰⁵ como se observa en la figura 9.

¹⁰² Ibid. p. 42

¹⁰³ CARRIAZO, José et al. Op. Cit., p. 224-225.

¹⁰⁴ GARCÍA, Vanessa et al. Op. Cit. 43.

¹⁰⁵ Ibid. p. 38

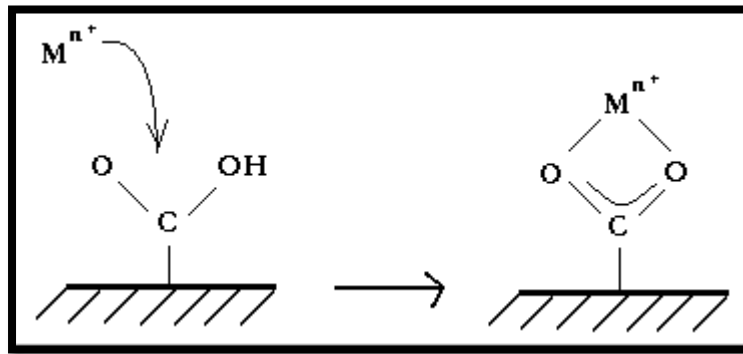


Figura 9: Adsorción de iones metálicos en el carbón activado. Fuente: GARCÍA, Vanessa et al¹⁰⁶

JIMÉNEZ GOMEZ, Angélica. Habla acerca de la remoción del mercurio con carbón activado, la cual aumenta cuando el pH disminuye de 9 a 7 es decir, un pH neutro es mejor para la remoción de este metal¹⁰⁷.

Generalmente para remover metales pesados se utiliza el carbón activado en forma granular de tipo lignocelulósico (vegetal), un ejemplo claro es el carbón fabricado a partir de cáscara de coco¹⁰⁸, sin embargo, un aspecto primordial a tener en cuenta es el pH, ya que la remoción en soluciones acuosas para metales como cadmio y níquel aumenta cuando el pH esta entre 5 – 8. También se debe tener en cuenta otras variables como la temperatura, la estructura porosa del material, la naturaleza química de su superficie, la relación volumen de solución/masa del carbón y la presencia de otros iones competitivos¹⁰⁹.

El carbón activado granular de la marca Merck o Norit remueven el Pb^{2+} presente en una solución acuosa, según el estudio realizado por MENDOZA COLINA, Evert¹¹⁰. Estos carbones fueron lavados con agua desionizada, secados a 80 °C por 12 horas. Posteriormente 2g de adsorbente fueron agregados a 50 mL de la solución de Pb^{2+} en diferentes concentraciones (100, 200, 400, 600 y 800 mg/dm³) a un pH 2 y a una temperatura de (1+/-) 27°C. Esto fue repetido tres veces y realizado de nuevo a un pH de 4. Los resultados obtenidos concluyeron que el porcentaje de remoción aumenta al aumentar el pH a 4, la marca Norit a un pH de 4 removió el 98% de Pb^{2+} a una concentración de 400 mg/dm³ y la marca Merck removió el 86% de Pb^{2+} a una concentración de 100 mg/dm³.¹¹¹

¹⁰⁶ GARCÍA, Vanessa et al. Op. Cit., p. 39

¹⁰⁷ JIMÉNEZ GOMEZ, Angélica. Interacción del mercurio con los componentes de las aguas residuales. [En línea]. 2005. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1125/1/angelicamariajimenezgomez.2005.pdf>

¹⁰⁸ RODRIGUEZ ESTUPIÑAN, Paola et al. Op. Cit., p. 1-2

¹⁰⁹ RODRIGUEZ ESTUPIÑAN, Paola et al. Op. Cit., p. 1-5

¹¹⁰ MENDOZA COLINA, Evert. Remoción de Pb (II) de soluciones mediante carbón activado: experimentos en lotes. [En línea].2012. [Consultado 28 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6238/1/197380.2012.pdf>

¹¹¹ Ibid. p. 33-38

7.1.12 Remoción de contaminantes mediante biomasa microbiana inmovilizada sobre carbón activado

En la actualidad se conocen pocas investigaciones acerca de este tema, sin embargo, hay algunos estudios en donde realizaron experimentos de biosorción de metales pesados (Pb, Cd y Cr), utilizando una cepa de *Escherichia coli* sobre un soporte de carbón activado en donde la adsorción fue de 26.4, 7.7 y 3.3 mg de metal adsorbido/ gramo de biosorbente para el plomo, cadmio y cromo respectivamente¹¹².

Cuando se unen el carbón activado y la biomasa microbiana ocurre un aumento en la capacidad de adsorción ya que se acoplan diferentes procesos como la adsorción que realiza el carbón activado y los procesos que realizan los microorganismos como las bacterias, un ejemplo de ellos es la biosorción. El método de adsorción de metales pesados sobre soportes modificados biológicamente se puede observar en la figura 10¹¹³.

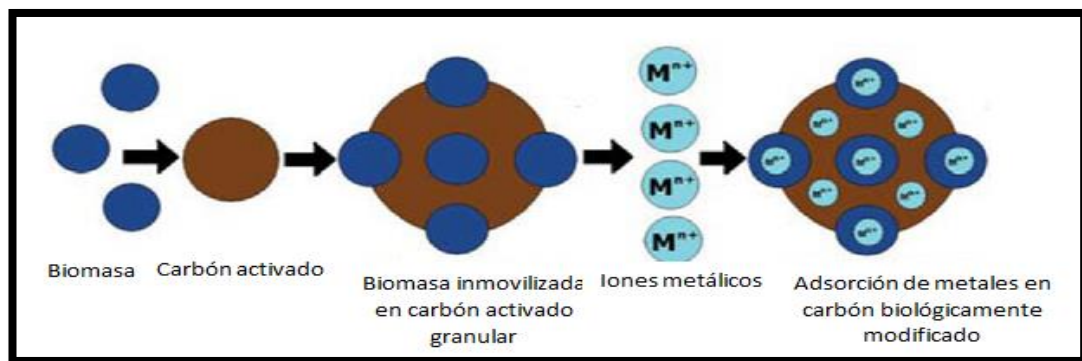


Figura 10: Adsorción de metales pesados sobre soportes modificados biológicamente. Fuente: Toriz¹¹⁴.

También existen estudios realizados con el método de biomasa microbiana inmovilizada en carbón activado; para la adsorción y degradación de compuestos fenólicos procedentes de aguas residuales, en donde se evidencia que la aplicación de carbón activado y microorganismos por separado se saturan rápidamente y el tiempo es alto, en cambio, se presenta un mejoramiento de la remoción de fenol cuando se aplica el método de microorganismos inmovilizados sobre carbón activado¹¹⁵.

¹¹² TORIZ. Op. Cit., p. 63

¹¹³ Ibid. p. 62

¹¹⁴ Ibid. p. 62

¹¹⁵ MONROY FONSECA, Manuel. CARBONES ACTIVADOS CON ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Aplicación en la degradación de compuestos fenólicos procedentes de aguas residuales de la industria metalúrgica de Nobsa–Boyacá. . [En línea]. 2010. [Consultado 28 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://www.bdigital.unal.edu.co/view/person/Monroy_Fonseca=3AManuel_Alexander=3A=3A.html

7.2 Marco legal

Es necesario conocer la normatividad vigente colombiana que establece los límites máximos permitidos de Hg y Pb en el recurso hídrico en sus diferentes usos; con el fin de poder contrastar los resultados obtenidos con la normativa. A continuación en la tabla 4 se pueden observar las normas vigentes más importantes a nivel nacional sobre la calidad del agua:

Norma	Nombre de la norma	Contenido
Decreto ley 2811 de 1974. ¹¹⁶	Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.	El artículo 3 incluye al agua dentro de los bienes contaminables, debe regularse el manejo. Los artículos 134 y 135 disponen que el estado debe garantizar la calidad del agua, para lo cual habrá de realizar la clasificación de las aguas y fijar su destinación; ejercer control sobre las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas para que cumplan las condiciones de calidad de las aguas; controlar la calidad del agua y determinar, previo análisis físico, químico y biológico, los casos en que debe prohibirse, condicionarse o permitirse el vertido de residuos y otros desechos en una fuente receptora y establece la obligatoriedad para los particulares utilizadores de las aguas de someterse al control periódico y suministrar toda información necesaria.
Ley 9 de 1979. ¹¹⁷	Por el cual se dictan medidas sanitarias	El título 1: de la protección del medio ambiente, en el artículo 3 menciona el control sanitario de los usos del agua los cuales son: consumo humano, doméstico,

¹¹⁶ COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto ley 2811. (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario oficial. Bogotá D.C., 1974. No 34243.

¹¹⁷ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 9. (25, enero, 1979). Por el cual se dictan medidas sanitarias. Diario oficial. Bogotá D.C. 1979.

		preservación de la fauna y flora, agrícola y pecuario, recreativo industrial y transporte.
Constitución política de Colombia 1991. ¹¹⁸	Constitución política	En sus artículos 79 y 80 establece que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; debiendo prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.
Ley 99 de 1993. ¹¹⁹	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	En el artículo 2 menciona que el Ministerio es el organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible. El artículo 65 numeral 7 señala que una de las funciones de los Municipios, de los Distritos y del

¹¹⁸ COLOMBIA. EL PUEBLO DE COLOMBIA. Constitución política. (06, julio, 1991). Constitución política de Colombia.

¹¹⁹ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99. (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. D.C., 1993. No 41146.

		<p>Distrito Capital de Santafé de Bogotá es coordinar y dirigir, con la asesoría de las Corporaciones Autónomas Regionales, las actividades de control y vigilancia ambientales que se realicen en el territorio del municipio o distrito con el apoyo de la fuerza pública, en relación con la movilización, procesamiento, uso, aprovechamiento y comercialización de los recursos naturales renovables o con actividades contaminantes y degradantes de las aguas, el aire o el suelo.</p>
<p>Decreto 1575 de 2007.¹²⁰</p>	<p>Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.</p>	<p>El objeto del decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.</p> <p>Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.</p>
<p>Resolución 2115 de 2007.¹²¹</p>	<p>Por medio de la cual se señalan características,</p>	<p>En el artículo 5 define las características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la</p>

¹²⁰ COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 1575. (09, Mayo, 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Diario oficial. D.C., 2007.

¹²¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115. (22, junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. p. 1-23

	instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.	salud humana con su valor máximo permisible aceptable los cuales son para mercurio (Hg) 0.001 mg/L y para plomo (Pb) 0.01 mg/L.
Decreto 3930 de 2010. ¹²²	<p>Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.</p> <p>Deroga decreto 1594 de 1984</p>	<p>En el artículo 6 menciona que la autoridad ambiental para el proceso del ordenamiento del recurso hídrico deberá aplicar y calibrar modelos de simulación de la calidad del agua, que permitan determinar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables y/o utilización de índices de calidad del agua, de acuerdo con la información disponible.</p> <p>En el artículo 9 define los usos del agua los cuales son: consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético, pesca, maricultura, acuicultura, navegación y transporte acuático</p> <p>Además, en el título 5, artículo 20 señala que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial dentro de los dieciocho (18) meses contados a partir de la publicación del presente decreto, definirá los criterios de calidad para el uso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas.</p>

¹²² COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. D.C, No 47837.

<p>Decreto 1076 del 2015.¹²³</p>	<p>Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.</p>	<p>En los artículos 2.2.3.3.9.1 y 2.3.3.9.2 menciona que el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible fijará mediante resolución los usos del agua, los criterios de calidad para cada uso, las normas de vertimiento a los cuerpos de agua, aguas marinas, alcantarillados públicos, suelo y el protocolo para el monitoreo de las aguas superficiales, subterráneas. Sin embargo, toma transitoriamente las unidades asignadas en el decreto 1594 de 1984 para las referencias antes mencionadas.</p> <p>Artículo 2.2.3.3.9.3. TRANSITORIO. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.</p> <p>Pb 0.05 mg/L Hg 0.002 mg/L</p> <p>Artículo 2.2.3.3.9.5. TRANSITORIO. Criterios de calidad para uso agrícola.</p> <p>Pb 5.0 mg/L</p> <p>Artículo 2.2.3.3.9.6. TRANSITORIO. Criterios de calidad para uso pecuario.</p> <p>Pb 0.1 mg/L Hg 0.01 mg/L</p> <p>Artículo 2.2.3.3.9.10. TRANSITORIO. Criterios de calidad para preservación de flora y fauna.</p> <p>Para agua cálida dulce Pb 0.01 CL Hg 0.01 CL</p>
---	---	--

¹²³ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 1076. (26, mayo, 2015). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. p. 1-654

		<p>CL⁹⁶₅₀: concentración de una sustancia; elemento o compuesto, solos o en combinación, que produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un período de noventa y seis (96) horas.</p> <p>Artículo 2.2.3.3.9.16. TRANSITORIO. Concentraciones para el control de la carga de sustancias de interés sanitario. Pb 0.5 mg/L Hg 0.02 mg/L</p>
--	--	---

Tabla 4: Normatividad Colombiana sobre la calidad del agua. Fuente: Propia

8. DISEÑO METODOLÓGICO

8.1 Ubicación y características agroclimáticas

La investigación se realizó en el departamento de Cundinamarca, municipio de Girardot, el cual presenta las siguientes características:

Características	Descripción
Altitud	289 msnm
Temperatura promedio anual	33.3 °C
Temperatura máxima	38.3 °C
Temperatura mínima	29.3 °C
Humedad Relativa	66.38 %
Extensión del municipio	129 Km ²
Población del municipio	184.075 habitantes

Tabla 5: Características climatológicas de Girardot.¹²⁴ . Fuente: Propia adaptada de Alcaldía de Girardot.

Es importante mencionar que los suelos de este municipio son aptos para cultivos de maíz, sorgo, ajonjolí, algodón y arroz y han sido tecnificados ya que el suelo llano permite el uso de maquinaria agrícola, incluso se debe resaltar que en este municipio hay diversidad de frutales, especialmente de mango, limón y naranja, pero actualmente solo se utiliza el 35% de las tierras aptas para ser cultivadas.¹²⁵

8.2 Universo, población y muestra

UNIVERSO:

Municipio de Girardot-Cundinamarca

POBLACIÓN:

Río Magdalena

MUESTRA:

Se tomaron seis muestras de agua en tres puntos específicos del río Magdalena, con las siguientes coordenadas:

¹²⁴ Ibid.

¹²⁵ Ibid.

Toma A: Latitud: 4.28801

Longitud: -74.79545

Toma B: Latitud: 4.28844.

Longitud: -74.79682.

Toma C: Latitud: 4.28781.

Longitud: -74.79863.

Los puntos de muestreo se observan en la figura 11¹²⁶.



Figura 11: Puntos de muestreo en el río Magdalena. Fuente: Google Maps.

¹²⁶ GOOGLE MAPS. Girardot Cundinamarca. [En línea]. 2016. [Consultado el 18 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es&authuser=0&mid=zGeMgqnHidc.ktWRP-N5H6cs>

8.3 Técnicas o instrumentos para la recolección de datos

En este estudio se utilizaron las siguientes técnicas para la recolección de datos:

a). Según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales)¹²⁷ para la determinación de metales, se tuvo en cuenta lo siguiente:

Metales disueltos: son los componentes (metálicos) de una muestra sin acidular que pasan a través de un filtro de membrana de 0.45 micras

Metales suspendidos: son los componentes (metálicos) de una muestra sin acidular que son retenidos por un filtro de membrana de 0.45 micras

Metales totales: la concentración de metales determinada en una muestra sin filtrar tras digestión intensa, o la suma de las concentraciones en las fracciones disuelta y suspendida.

Metales extraíbles con ácido: la concentración de metales en solución tras el tratamiento de una muestra sin filtrar con ácido mineral diluido caliente.

Para determinar por separado metales disueltos y suspendidos, hay que filtrar inmediatamente después de recogida la muestra. Se debe conservar en ácido hasta después de filtrar.

Antes de recoger una muestra, es necesario decidir cuál es la fracción que se va a analizar (disuelta, suspendida, total o extraíble con ácido). Esta fracción determinará en parte si se acidula la muestra con o sin filtración, así como el tipo de digestión requerido.

Para éste estudio se determinó mercurio (Hg) total y plomo (Pb) total en las muestras de agua del río Magdalena por medio de un espectrofotómetro de plasma de acoplamiento inductivo.

b) revisión del estado del arte de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot-Cundinamarca

c). Fermentación de la cepa *Pseudomonas aeruginosa*.

d). Desorción del carbón activado granular

e). Inmovilización de la cepa *Pseudomonas aeruginosa* en carbón activado granular.

f). Toma de muestras en el Río Magdalena: en las coordenadas mencionadas anteriormente.

g). Creación de condiciones experimentales a partir de soluciones de sales puras de nitrato de mercurio ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) y de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$).

¹²⁷ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION Y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. Madrid (España). H Franson, Mary, 1992. ISBN 84-7978-031-2

h). Aplicación del método de destoxificación a las muestras tomadas y a las muestras creadas.

i). Isotermas de adsorción de mercurio y de plomo a pH controlado.

8.4 Método de análisis

Se realizó una revisión del estado del arte de la Calidad del agua del Río Magdalena en Girardot-Cundinamarca, mediante una matriz comparativa que permitió conocer las diferentes investigaciones realizadas a través del tiempo.

Es importante mencionar que la metodología para la remoción de Hg y Pb en fase acuosa que se planteó, fue un procedimiento “in vitro”.

La *Pseudomona aeruginosa* se obtuvo del cepario de la corporación Colombiana de investigación agropecuaria Tibaitatá (Corpoica Tibaitatá) a una concentración de 10^3 Unidades Formadoras de Colonia (UFC); a ésta se le verificó la pureza por medio de microscopía y coloración de Gram, es decir que se verificó que fuera un bacilo Gram negativo.

Posteriormente esta cepa se fermentó hasta 250 mL en caldo nutritivo de forma escalonada, primero a 25 mL y luego a 250 mL.

Después se inmovilizó esta cepa en el carbón activado granular por tres días con una relación 1 mL cepa/1 g CAG y nuevamente se verificó la pureza de la cepa en donde se realizó un control de calidad de la inmovilización, sembrando en agar nutritivo tres gránulos de CAG inmovilizados.

Luego se tomaron las 6 muestras de agua en el Río Magdalena; en las coordenadas mencionadas anteriormente. Se prepararon disoluciones de nitrato de mercurio y nitrato de plomo en medio acuoso a distintas concentraciones, entre 1 y 20 ppm.

Posteriormente se aplicó el método de destoxificación (CAG inmovilizado) a las muestras tomadas y a las muestras creadas para así realizar las isotermas de adsorción de mercurio y de plomo a pH controlado.

La concentración de los metales se determinó mediante un espectrofotómetro de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), en el laboratorio de Corpoica Tibaitatá; el cual tiene un límite de detección del mercurio de 0.03mg/L y del plomo 0.50 mg/L.

Este ICP es un tipo de espectrofotometría de emisión atómica, que funciona usando un plasma de argón en el que se inyecta una muestra líquida atomizada; la muestra se ioniza en el plasma y los iones emiten luz a diferentes longitudes de onda que posteriormente se miden.

Cabe resaltar que tres de las seis muestras tomadas en el Río se enviaron inmediatamente a analizar, con el fin de conocer las concentraciones iniciales de los metales.

Finalmente se analizaron los resultados por medio de matrices de comparación para dar cumplimiento a los objetivos planteados en esta investigación.

8.5 Infraestructura y equipos

EQUIPOS
Espectrofotómetro de plasma de acoplamiento inductivo ICP Marca THERMO SCIENTIFIC SERIES 6000
Microscopios ópticos binocular de 100X Marca OLYMPUS
Cajas de Petri de 20 mL Marca SENNA
Agitador magnético de 2000 RPM Marca SCHOTT
Erlenmeyer de 1L y de 500 mL Marca SCHOTT
Pipetas de 1mL y de 5 mL Marca SCHOTT
Vasos de precipitado de 250 y 500 mL Marca SCHOTT DURAN
Matraces Marca SCHOTT
Balanza analítica Marca SWISS MADE
Autoclave Marca ALL AMERICAN
Incubadora microbiológica Marca MEMMERT
pH- metro Marca HANNA
Fascos de plástico de 70 mL.
Mechero Bunsen de gas
Laminas y laminillas Marca MARIENFELD

Tabla 6: Equipos usados en el proyecto. Fuente: Propia

8.6 Metodología

La contaminación por mercurio y plomo en el río Magdalena se da por diferentes fuentes contaminantes como; los vertimientos de aguas residuales e industriales, la minería, entre otros. Por esta razón es importante conocer estudios que evidencien como ha cambiado la calidad del agua de este río a través de tiempo, por lo cual se inicia la investigación realizando la revisión del estado del arte acerca de la calidad del agua del río Magdalena y posteriormente se describe la parte experimental como se observa a continuación:

8.6.1 Primera parte:

8.6.1.1 Revisión del estado del arte de la calidad del agua del río Magdalena en el municipio de Girardot Cundinamarca: se revisaron estudios de la calidad del agua en el río Magdalena realizados por el IDEAM y otros autores que han realizado investigaciones en Girardot Cundinamarca, con el fin de compararlos y generar conclusiones acerca de la calidad del agua de este río.

Se realizó la revisión del estado del arte en lugar de un análisis de laboratorio como el ICA, ya que esto permite profundizar en los diversos análisis científicos que han hecho varios autores sobre la calidad del agua del río Magdalena en el municipio de Girardot Cundinamarca específicamente. Con los resultados de esta revisión se realizó una matriz de comparación, con el fin de dar una visión general del estado actual de la calidad del agua del río Magdalena en este municipio. Posteriormente se procedió a realizar la inmovilización de *Pseudomonas aeruginosa* sobre carbón activado granular, la cual sirvió para la destoxificación de mercurio y plomo según el cronograma establecido (ANEXO C).

8.6.1.2 Inmovilización *Pseudomonas aeruginosa* sobre carbón activado granular: para la realización de este proceso fue necesaria la cepa de *Pseudomonas aeruginosa*, la cual se obtuvo del cepario de la corporación Colombiana de investigación agropecuaria Tibaitatá (Corpoica Tibaitatá). También se obtuvo el carbón activado granular CAG, procesado a partir de la cascara de coco con las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	CARBON ACTIVO GRANULAR (CAG)
Precursor	Lignocelulósico: Cáscara de coco
Presentación	Granulado 8 x 30 (mesh)
Activación	Física a elevadas temperaturas
Distribución de poro	Homogénea
Cenizas (%)	Máximo 10
Humedad (%)	Máximo 10
pH	5-7
Número de Yodo mg I2g-1 CA	850-950
Densidad g/cm3	0,45-0,55
Dureza (%)	90
Aplicaciones	Adsorbente en fase Líquida

Tabla 7: características del carbón activado granular CAG. Fuente: GARCÍA, Vanessa et al.

Luego se le verificó la pureza a la bacteria por medio de microscopia y coloración de Gram. Cabe mencionar que todo el material utilizado fue esterilizado en autoclave.

Posteriormente la cepa se fermentó hasta 250 mL en caldo nutritivo marca Merck, por 24 horas a 35°C +/- de forma escalonada, por dos días; el primer día hasta 25 mL y en el segundo día hasta los 250 mL así:

Día	Volumen inicial	Volumen final	Tiempo	temperatura
Día 1	2.5ml	25ml	24 horas	35°C
Día 2	25ml	250ml	24 horas	35°C

Tabla 8: Fermentación *Pseudomona aeruginosa*. Fuente: Propia, 2016

Luego por medio de microscopia y coloración de Gram, se verificó la pureza de la cepa comprobándose que esta es un bacilo Gram negativo (color rosado):

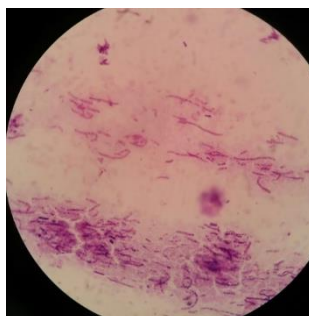


Figura 12: *Pseudomona aeruginosa*. Fuente: Propia, 2016

De manera simultánea se realizó la desorción del carbón activado: éste se lavó con agua destilada y se secó en estufa a 200 grados Celsius (°C) por 4 horas, para extraer sustancias o compuestos que hubiera adsorbido¹²⁸.

Después de este procedimiento se tomaron 40 mL de la fermentación, los cuales se transfirieron a 2L de agua destilada con 8 gramos de medio mínimo de sales (MMS); esto se agito y se calentó en vasos de precipitado, para luego ser esterilizados en autoclave junto con la mezcla.

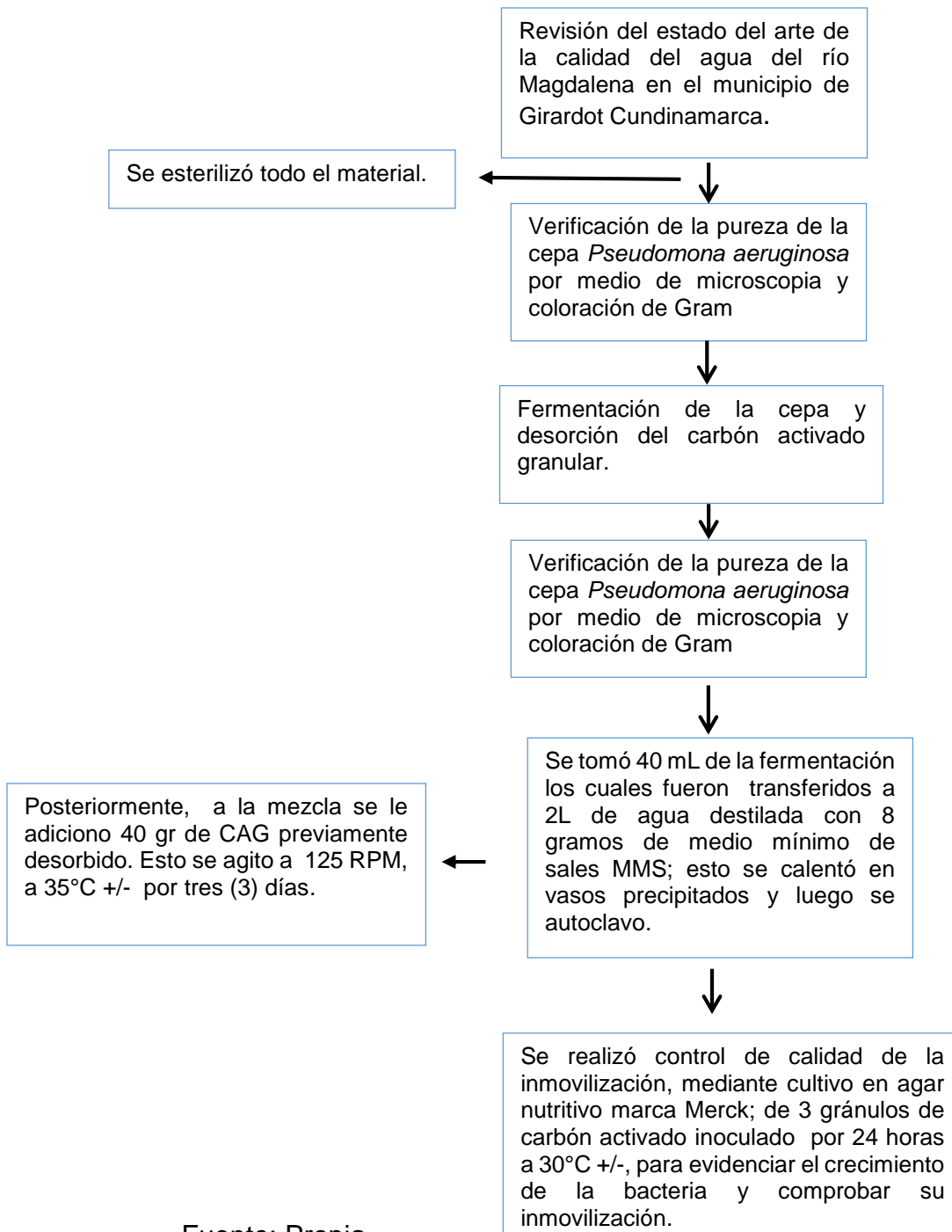
Posteriormente, a la mezcla se le adicionó 40 g de CAG previamente desorbido. Esto se agitó a 125 revoluciones por minuto (RPM), a 35°C +/- por tres (3) días¹²⁹.

Luego de los tres días se realizó el control de calidad de la inmovilización, mediante un cultivo en agar nutritivo marca Merck; de tres gránulos de carbón activado inoculado por 24 horas a 30°C +/-; con el fin de evidenciar el crecimiento de la bacteria y comprobar su inmovilización. La primera parte del proceso se puede observar en el diagrama de flujo 1 a continuación:

¹²⁸ Fundamentals of Adsorption: Proceedings of the Fifth International Conference on Fundamentals of Adsorption. [En línea]. 2012. [Consultado el 17 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=xlrSBwAAQBAJ&pg=PA442&lpg=PA442&dq=activated+carbon+desorption+temperature&source=bl&ots=Xdn4Ejhet7&sig=RLRSIoEOAnBxVp1HPml-mhjDvlw&hl=es&sa=X&ved=0CCwQ6AEwATgUahUKEwiZz9TypuvHAhXH9x4KHRh6DbU#v=onepage&q=activated%20carbon%20desorption%20temperature&f=false>>

¹²⁹ MONROY FONSECA. Op. Cit., p. 57-58

Diagrama de flujo 1: Revisión del estado del arte; calidad del agua Río Magdalena Girardot-Cundinamarca e inmovilización de *Pseudomona aeruginosa* en CAG



Fuente: Propia

Con este proceso realizado se procedió a efectuar un muestreo simple de agua en el río Magdalena para cuantificar mercurio total y plomo total, según el cronograma establecido (Ver Anexo C):

8.6.2 Segunda parte:

8.6.2. 1 Muestreo: Se tomaron seis muestras de agua en el río Magdalena en tres puntos específicos; dos muestras en cada punto. Los sitios de muestreo se pueden observar en la figura 11.

La toma de muestras para la cuantificación de metales pesados se realizó según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales)¹³⁰ así:

Las muestras se empacaron en un recipiente plástico de polietileno limpio (botellas), con capacidad mínima de 500 ml y se llevaron tres de las seis muestras de inmediato al laboratorio de Corpoica Tibaitatá ubicado en Mosquera Cundinamarca en una nevera a 4°C y a un pH de 4 (Se acidificaron con ácido nítrico concentrado). Los recipientes de las tres muestras se llenaron totalmente, sin presencia de burbujas.

Para las otras tres muestras los recipientes se llenaron $\frac{3}{4}$ de su capacidad, se les midió el pH con pH-metro y se preservaron con ácido nítrico concentrado manteniendo un pH igual a 4. Para la acidificación se adicionó ácido en el recipiente antes y después del muestreo. El pH se mantuvo igual a 4, teniendo en cuenta los diagramas de especiación de mercurio y plomo, los cuales se pueden observar en Anexos A y B.

De cada muestra se tomó 150mL, se les adicionó: 1gr de Carbón inmovilizado a 50 mL, 1 gr de carbón activado sin inmovilizar a 50 mL y 1 mL de *Pseudomona aeruginosa* a 50 mL, en total surgieron 9 muestras, tres de cada punto.

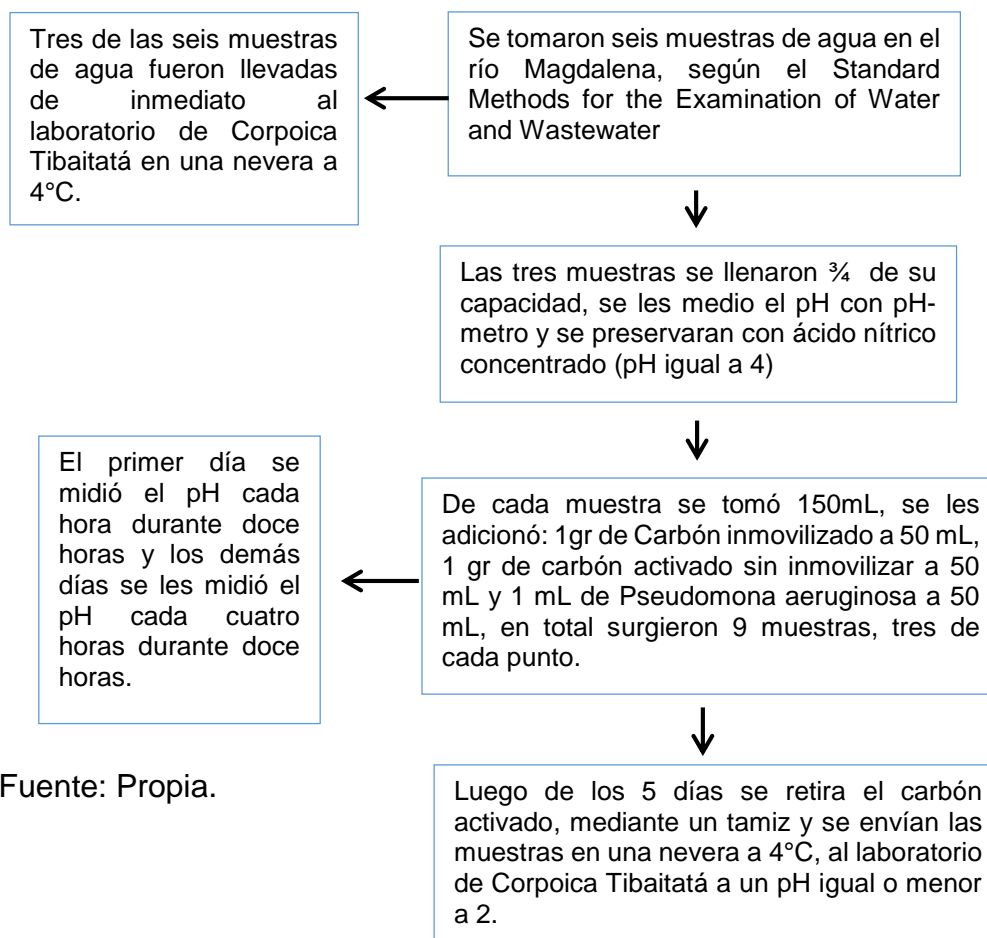
Éstas se dejaron en agitación a 125 RPM a 35°C +/- por cinco (5) días en los cuales se midió el pH con un pH-metro el cual se mantuvo en 4. El primer día se midió el pH cada hora durante doce horas y los demás días se les midió el pH cada cuatro horas durante doce horas para mantener el pH controlado. Si las muestras estaban por debajo de pH 4 se les adicionó hidróxido de sodio (NaOH) 0,1M y si las muestras estaban por encima de pH 4 se les adicionó ácido nítrico (HNO₃) 0,1M hasta volver a su pH original.

Pasado el tiempo se retiró el carbón activado mediante un tamiz y se enviaron las muestras al laboratorio de Corpoica Tibaitatá ubicado en Mosquera Cundinamarca, manteniendo un pH menor o igual a 2, para lo cual se agregó HNO₃ y se conservó una nevera a 4°C, para tener las condiciones necesarias, para cuantificar mercurio total y plomo total después del proceso de destoxificación.

La segunda parte metodológica se observa a continuación

¹³⁰ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION Y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Op. Cit., p 3-1-3-3

Diagrama de flujo 2: Toma de muestras en el Río Magdalena y aplicación del método de destoxificación.



Fuente: Propia.

Adicionalmente, se realizaron isotermas de adsorción de los dos iones estudiados, para evaluar la capacidad máxima de adsorción en los carbones. Dichas isotermas también se evaluaron mediante ICP.

8.6.3 Tercera parte:

8.6.3.1 Preparación de las soluciones de Plomo y Mercurio:

Se estableció un rango de concentraciones de mercurio y plomo, para evaluar la eficacia del método en condiciones experimentales creadas, y así poder contrastar el comportamiento adsorbente de los carbones con la bacteria inmovilizada, sin inmovilizar y la bacteria sola, además del comportamiento en ausencia de los factores adicionales presentes en el río, que puedan modificar la capacidad de adsorción.

Para crear las condiciones experimentales con las soluciones de concentración conocida, se prepararon soluciones de nitrato de mercurio ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) y de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) a partir de las sales pura así:

Se pesaron 0.03197 gramos de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), esto se llevó a 1L de agua destilada con el fin de preparar una solución patrón a una concentración de 20 ppm, posteriormente se hicieron diluciones de la misma para obtener concentraciones de 1,3,5,7, 15 y 20 ppm siendo esta ultima la solución preparada inicialmente. Estas diluciones se hicieron hasta un volumen de 50 mL.

De la misma manera se prepararon las soluciones para nitrato de mercurio ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) pero pesando 0.05596 gr de esta sal pura.

En total se prepararon 36 diluciones, 18 de nitrato de plomo y 18 de nitrato de mercurio y se les agrego a cada solución de manera independiente: 1g de carbón activado sin inmovilizar (CA), 1 mL de *Pseudomonas aeruginosa* (Ps) y 1 g de Carbón activado inmovilizado (CAPs) como se observa a continuación:

MUESTRA	DILUCIONES					
CAHg	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	15 ppm	20 ppm
CAPb	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	15 ppm	20 ppm
PsHg	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	15 ppm	20 ppm
PsPb	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	15 ppm	20 ppm
CAPsHg	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	15 ppm	20 ppm
CAPsPb	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	15 ppm	20 ppm

Tabla 9: Soluciones preparadas. Fuente: propia

Nota: el símbolo de Hg o Pb en la tabla hace alusión a que la solución es de alguno de estos elementos.

Posteriormente éstas se dejaron en agitación a 125 RPM a $35^\circ\text{C} \pm$ por cinco (5) días en los cuales se midió el pH con un pH-metro el cual se mantuvo en 4. El pH se controló como se menciona en la segunda parte metodológica.

Luego de los 5 días se retiró el carbón activado inmovilizado y sin inmovilizar, mediante un tamiz y se enviaron las muestras en una nevera a 4°C , al laboratorio de Corpoica Tibaitatá a un pH igual o menor a 2.

8.6.3.2 Isotermas de adsorción de plomo y de mercurio:

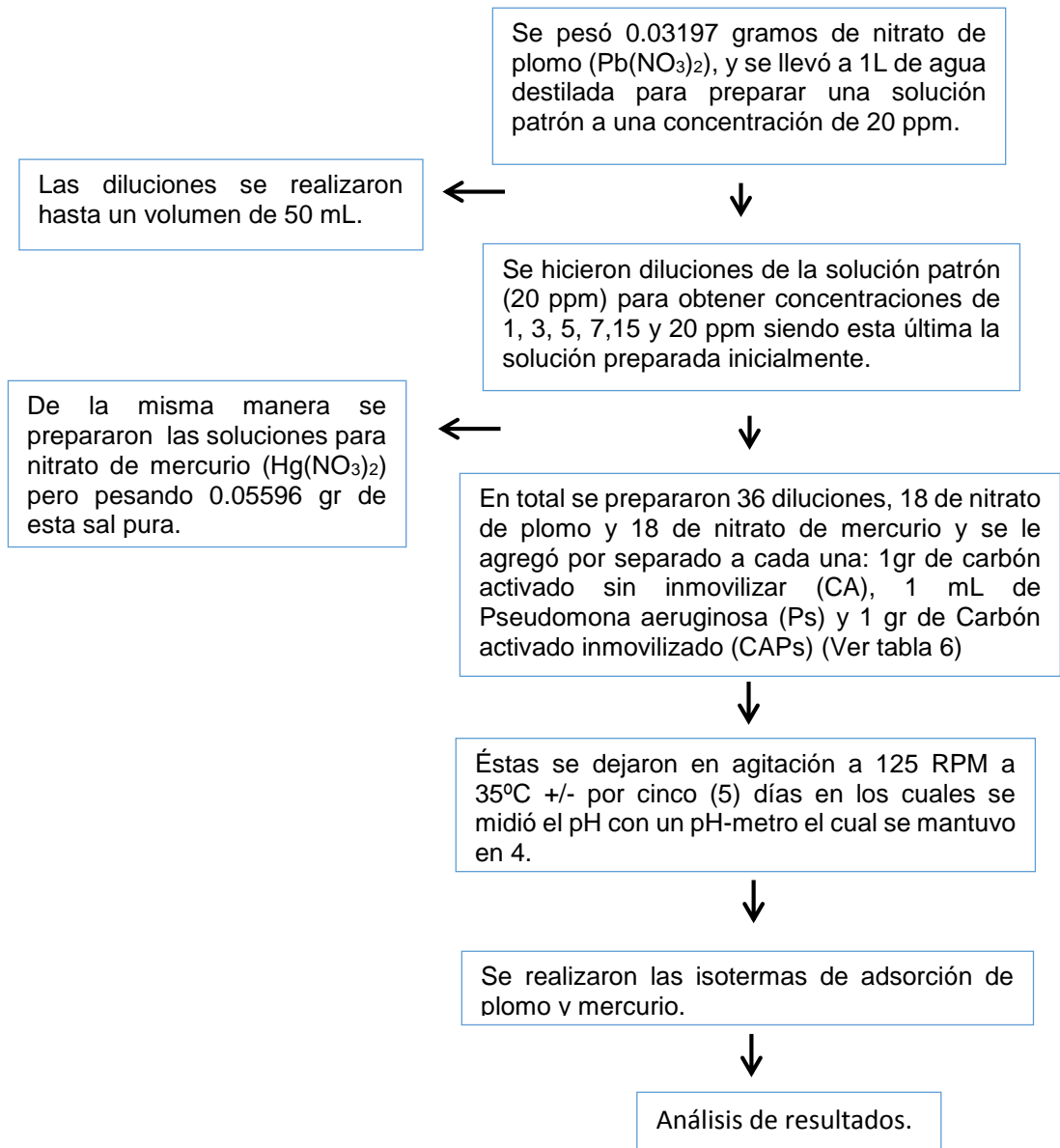
Se realizaron isotermas de adsorción de plomo y mercurio de acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis (ANEXO D) y se compararon con la bibliografía (modelos de las isotermas), para establecer el comportamiento de adsorción.

Asimismo, se realizaron tres matrices de comparación para el análisis de resultados; en la primera se compararon las concentraciones de mercurio y plomo antes y después de método de destoxificación; en la segunda se analizaron los resultados del método en condiciones experimentales creadas y

en la tercera se analizaron las concentraciones iniciales de mercurio y plomo con la resolución 2115 de 2007 y el decreto 1076 de 2015.

A continuación, se puede observar la tercera parte metodológica:

Diagrama de flujo 3: Preparación de las soluciones de plomo y mercurio, isotermas de adsorción y análisis de resultados.



Fuente: Propia

9. RESULTADOS

9.1 Calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca

Existen diferentes estudios acerca de la calidad del agua del Río Magdalena, los cuales informan mediante índices u otros parámetros como está el afluente en términos de calidad, en la tabla 10 se puede observar la matriz de comparación acerca de la determinación de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca, mediante el estado del arte.

Investigación	Resultados	Análisis
Estudio ambiental de la cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. ¹³¹	En este estudio con el fin de calcular la afectación del Río Bogotá sobre el Magdalena, se tomaron muestras del Río antes y después de la desembocadura en Girardot; se evaluaron de acuerdo con el modelo de predicción teórica modificado de Streeter Phelps y se concluyó que “la carga de materia orgánica biodegradable en promedio no afectaría la corriente del Magdalena, pues solo en este punto, se ha afectado el 30% de la capacidad total inferida de la dilución del Río”	En la columna de resultados, se observa que en el año 2001 el Río Bogotá no afectaba de manera considerable el agua del Río Magdalena, pues ésta tenía una buena capacidad de asimilación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se puede interpretar que en ese entonces el agua tenía buena calidad. Pero también se observa que la calidad del agua de este río específicamente en Girardot, ha ido disminuyendo a través de los años.
Modelación de la calidad del agua del Río Magdalena (Girardot-Honda) y caracterización de las aguas residuales de Girardot ¹³⁴ .	En primer lugar, el documento de este estudio no se encontró y se solicitó a la persona que lo realizó, pero éste nunca respondió, sin embargo esta	En el 2005 la calidad del agua era regular y

¹³¹ IDEAM Y CORMAGDALENA. Estudio ambiental de la cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. [En línea]. 2001. [Consultado 11 de Abril de 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000051/EstudioAmbientalCMagdalena-Cauca.pdf>

¹³⁴ CAMACHO BOTERO, Luis. Modelación de la calidad del agua del Río Magdalena (Girardot-Honda) y caracterización de las aguas residuales de Girardot. [En línea]. 2005. [Consultado 10 de Abril de 2016]. Disponible en internet: <URL:

	investigación concluyó que: “la mejora de la calidad del agua del Río Bogotá resulta en una mejora apreciable de la calidad del agua del Río Magdalena”	así continuó hasta el año 2009, sin embargo en los años posteriores hasta el 2011 la calidad del agua fue MALA.
Índice de la calidad del agua ¹³⁵ .	En el año 2005 el índice de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca fue de 0.54 con cinco variables, es decir que la calidad del agua era REGULAR.	Esto se puede deber a la desembocadura del río Bogotá en el Magdalena, pues como se puede interpretar en la investigación realizada por el doctor CAMACHO BOTERO, Luis. La contaminación del Río Bogotá afecta en gran medida la calidad del agua del Río Magdalena.
Índice de la calidad del agua ¹³⁶ .	En el año 2006 el índice de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca fue de 0.60 con cinco variables, lo que significa que la calidad del agua seguía siendo REGULAR.	Pero también puede deberse a otras razones como por ejemplo; los asentamientos humanos cerca del Río y los vertimientos que se le realizan al mismo; ésto se pudo evidenciar durante la toma de muestras al río.
Índice de la calidad del agua ¹³⁷ .	En el año 2007 el índice de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca fue de 0.63 con cinco variables, es decir calidad de agua REGULAR; sin embargo con 6 variables el ICA fue 0.76 lo que representa un	Asimismo debe señalarse que este municipio no cuenta

https://ingenieria.uniandes.edu.co/grupos/ciia/images/Imagenes_Nath/Modelacin%20Calidad%20Agua%20Superficial%20-%20Luis%20Alejandro%20Camacho%20Da%201.pdf

¹³⁵ IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2005 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

¹³⁶ IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2006 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

¹³⁷ IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2007 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

	agua de calidad ACEPTABLE.	con una planta de tratamiento de agua residual PTAR para las aguas del casco urbano y vierte sus aguas al Río Bogotá y al Río Magdalena ¹³² por tal motivo está afectando la calidad del agua de estos Ríos, pues vierte su carga contaminante en ellos.
Índice de la calidad del agua ¹³⁸ .	En el año 2008 el índice de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca fue de 0.60 con cinco variables, es decir calidad de agua REGULAR.	
Índice de la calidad del agua ¹³⁹ .	En el año 2009 el índice de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca fue de 0.58 con cinco variables y 0.51 con seis variables; por consiguiente en ambos resultados el ICA era REGULAR.	Específicamente estudios de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca, se encuentran pocos; es por esto que se hace necesario realizar investigaciones que muestren como está en la actualidad el Río Magdalena en términos de calidad en este municipio.
Índice de la calidad del agua ¹⁴⁰ .	En el año 2010 el índice de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca fue de 0.56 con cinco variables o sea calidad de agua REGULAR y 0.49 con seis variables representando una calidad de agua MALA.	Además es importante resaltar que Girardot toma sus aguas para consumo humano, directamente del Río
Índice de la calidad del agua ¹⁴¹ .	El último estudio realizado por el IDEAM fue en el año 2011; en donde el índice	

¹³² CONTRALORÍA. Servicio público de alcantarillado –Aguas residuales. [En línea]. 2006 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://institutedeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Agua_Servicio_Publico/Servicio_Publico_Alcantarillado-Contraloria_Cundi.pdf

¹³⁸ IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2008 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

¹³⁹ IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2009 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

¹⁴⁰ IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2010 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

¹⁴¹ IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2011 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

	de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca es de 0.49 con cinco variables y 0.47 con seis variables, lo que significa en ambos casos que la calidad del agua de este afluente es MALA.	Magdalena ¹³³ y si su calidad disminuye, se hará más difícil su tratamiento y por ende su distribución.
Caracterización física, demográfica, social y económica de los municipios ribereños de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena ¹⁴² .	En el municipio de Girardot Cundinamarca, el Río Magdalena se ve afectado por vertimientos de tipo industrial y doméstico y también por la contaminación que ejerce el Río Bogotá sobre el Magdalena “ocasionando el problema ecológico más grave de la región”.	

Tabla 10: Matriz de comparación acerca de la determinación de la calidad del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca, mediante el estado del arte. Fuente propia.

En la matriz anterior se puede observar que; la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca, ha ido disminuyendo a través de los años; en el 2005 la calidad del agua era regular y así continuó hasta el año 2009, sin embargo, en los años posteriores hasta el 2011 la calidad del agua fue MALA, esto se puede deber a diferentes factores como: la desembocadura del Río Bogotá, los asentamientos humanos, los vertimientos domésticos e industriales entre otros.

Adicionalmente se debe señalar que en este municipio se están vertiendo sus aguas residuales al Río Bogotá y al Magdalena, lo cual afecta de manera significativamente la calidad del agua, pues estos vertimientos están cargados de contaminantes como; detergentes, materia orgánica, metales pesados, entre otros.

¹³³ ACUAGYR. Tratamiento del agua. [En línea]. 2016 [Consultado 12 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.acuagyr.com/informacion-al-suscriptor/datos-de-interes/conozca-el-tratamiento-del-agua>

¹⁴² CORMAGDALENA. Caracterización física, demográfica, social y económica de los municipios ribereños de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. En línea]. 2013. [Consultado 20 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://dc02eja.cormagdalena.com.co/recursos_user/PMA/Caracteriza%20R%C3%ADo%20Magdalena.pdf

9.2 Eficacia de la aplicación del método de destoxificación

En los lugares muestreados se hallaron concentraciones de Hg y Pb las cuales fueron: **Toma A:** 1.2 ppm Hg y 0.9 ppm Pb, **Toma B:** 1.3 ppm Hg y 1 ppm Pb, **Toma C:** 1.2 ppm Hg y 1.1 ppm Pb. Estas concentraciones sobrepasan los límites permitidos en la normatividad Colombiana (Resolución 2115 de 2007 y decreto 1076 de 2015) los cuales se pueden observar en la tabla 13.

Es importante señalar, que en estos resultados no se evidencia un aporte significativo de Hg y Pb por el Río Bogotá al Magdalena como lo mencionan algunos estudios, pues el río ya viene contaminado con estos metales y el aumento es mínimo y Nulo. Esto puede deberse al tiempo del día en el que se tomó la muestra (Nov-2015) y a que el Río Magdalena ya viene contaminado por aguas residuales domésticas e industriales, industria minera, fertilizantes y plaguicidas, entre otros como se mencionó anteriormente.

Sin embargo es necesario realizar estudios que identifiquen las fuentes generadoras de estos metales y otros contaminantes para poder disminuir y/o eliminar estos contaminantes del recurso hídrico.

Posteriormente con la aplicación del CAG inmovilizado con *Pseudomona aeruginosa* (Método de destoxificación), se pudo evidenciar la eficacia del método, es decir; remoción de Mercurio y Plomo en las tres muestras de agua del Río Magdalena, tal y como se observa en la tabla 8 a continuación. Es importante mencionar que en el ANEXO D, se encuentran los resultados de los análisis de las muestras correspondientes.

Muestras de agua del Río Magdalena; tramo Girardot Cundinamarca.						
Antes de la aplicación del método de destoxificación.	Toma A		Toma B		Toma C	
	Hg total	Pb total	Hg total	Pb total	Hg total	Pb total
	1.2 ppm	0.9 ppm	1.3 ppm	1.0 ppm	1.2 ppm	1.1 ppm
Después de la aplicación del método de destoxificación.	0.25 ppm	0.22 ppm	0.23 ppm	0.22 ppm	0.29 ppm	0.27 ppm

Tabla 11: Matriz de comparación de las concentraciones de mercurio total y plomo total antes y después de la aplicación del método de destoxificación.

Como se evidencia en la tabla anterior hay remoción de los metales pesados gracias a la aplicación del método de destoxificación; tanto así que se puede afirmar que estos disminuyeron en promedio de 75% de plomo total y mercurio total, como se observa en la tabla 12. La explicación de cómo funciona el método se detalla en las páginas siguientes.

Toma A		Toma B		Toma C	
Hg total	Pb total	Hg total	Pb total	Hg total	Pb total
79.16%	75.55%	82.30%	78%	75.83%	75.45%

Tabla 12: Porcentaje de metal tóxico removido por el método de destoxificación

Si bien es cierto que el método de destoxificación funcionó, se quiso conocer en cuánto disminuían las concentraciones de Hg y Pb con carbón activado granular y la cepa *Pseudomona aeruginosa* por separado y estos fueron los resultados:

Muestras de agua del Río Magdalena; tramo Girardot Cundinamarca.						
Antes de la aplicación de carbón activado granular.	Toma A		Toma B		Toma C	
	Hg total	Pb total	Hg total	Pb total	Hg total	Pb total
	1.2 ppm	0.9 ppm	1.3 ppm	1.0 ppm	1.2 ppm	1.1 ppm
Después de la aplicación de carbón activado granular.	0.62 ppm	0.68 ppm	0.61 ppm	0.67 ppm	0.66 ppm	0.67 ppm
Después de la aplicación de <i>Pseudomona aeruginosa</i> .	0.6 ppm	0.59 ppm	0.7 ppm	0.71 ppm	0.69 ppm	0.68 ppm

Tabla 13: Remoción de Hg total y Pb total con CAG y *Pseudomona aeruginosa* por separado. Fuente: Propia, 2016

Se observa que la remoción de mercurio y plomo fue significativamente inferior a la obtenida con el método de destoxificación, (Ver tabla 8). Queda claro que tanto la cepa como el carbón funcionan por separado removiendo concentraciones similares aproximadamente el 50% en este estudio, pero, al combinarse se aumenta la eficiencia en la remoción de estos metales, pues ya no está funcionando solo un elemento sino ambos a la vez.

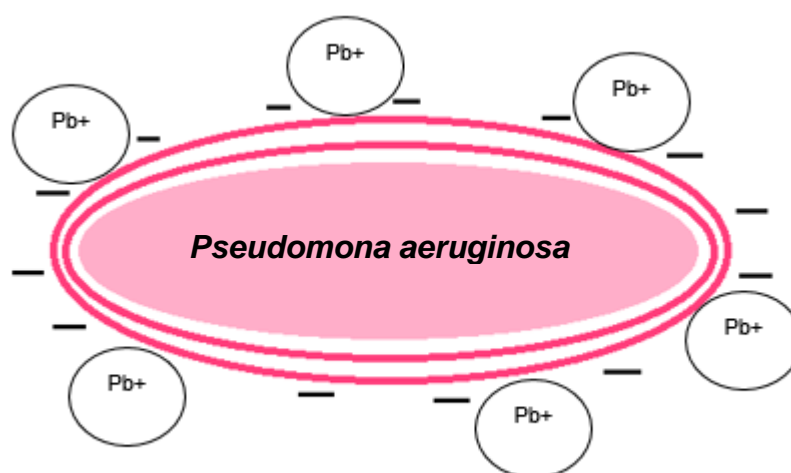
Esta remoción de mercurio y plomo se debe a los procesos que realizan tanto el carbón activado granular y la *Pseudomona aeruginosa* con cada uno de estos, sin embargo, antes de conocer cómo se realizan los procesos, es importante recordar que la *Pseudomona aeruginosa* es un bacilo, Gram negativo es decir, que se caracteriza por tener una membrana externa compuesta por fosfolípidos y lipopolisacáridos, una pared de peptidoglicano y una membrana interna¹⁴³.

¹⁴³ UNNE. La pared bacteriana. [En línea]. 2005 [Consultado 24 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.biologia.edu.ar/bacterias/micro4.htm>

Ahora bien como se mencionó anteriormente, la *Pseudomona aeruginosa* bioadsorbe el plomo¹⁴⁴, es decir que para este metal realiza la biosorción; el cual es un proceso físico-químico en donde el ion se adhiere a la membrana celular.

Generalmente las superficies de las células bacterianas se componen de macromoléculas con un gran número de grupos funcionales como: carboxilo, hidroxilo, fosfatos y amino. Esta superficie a menudo está cargada negativamente por la falta de restos de ácidos carboxílicos y fosfatos por lo cual los iones con carga positiva son atraídos a la superficie de la célula siendo adsorbidos. Este proceso ocurre sin funciones metabólicas¹⁴⁵, como se observa en la figura13.

Figura 13: Adsorción de plomo en *Pseudomona aeruginosa*



Fuente: Propia, 2016

SANCHEZ, Paula y REYES Rosa¹⁴⁶., mencionan que los grupos fosforilo de los lipopolisacáridos, son los constituyentes de la membrana externa de las bacterias Gram-negativas que primero se unen a los iones metálicos, pero también algunos grupos carboxilo están disponibles para interactuar con los metales. Sin embargo, afirman que es el peptidoglicano quien se une fuertemente a los iones metálicos por los grupos carboxilo.

Ahora bien, además de la biosorción que realiza la *Pseudomona aeruginosa* con el plomo, esta cepa biotransforma el mercurio de Hg^{2+} a Hg^0 (estado elemental),

¹⁴⁴ NARANJO, Enieyis et al. Op. Cit

¹⁴⁵ ZABOCHNICKA, Magdalena y KRZYWONOS, Małgorzata. Potentials of Biosorption and Bioaccumulation Processes for Heavy Metal Removal. [En línea]. 2014. [Consultado 25 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.pjoes.com/pdf/23.2/Pol.J.Environ.Stud.Vol.23.No.2.551-561.pdf>

¹⁴⁶ SUAREZ, Paula y REYES, Rosa. A INCORPORACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS BACTERIAS Y SU IMPORTANCIA PARA EL AMBIENTE. [En línea]. 2002. [Consultado 26 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.interciencia.org/v27_04/suarez.pdf

lo que significa que le realiza un cambio químico al metal, cambiando su estado de oxidación¹⁴⁷.

Al ser biotransformado el mercurio a su estado de oxidación cero (metálico): el cual es ligeramente volátil e insoluble en agua¹⁴⁸, éste pudo removerse del medio en forma volátil debido a la agitación realizada por cinco días, sin embargo no es posible afirmarlo ya que no se analizó el carbón activado residual.

Asimismo se debe tener en cuenta que el pH influye en el estado de oxidación y de acuerdo con el diagrama de especiación (ANEXO B), el mercurio cuando está a pH 2 se encuentra soluble en el agua y a este pH fueron enviadas las muestras al laboratorio, para ser analizadas.

Por otra parte, también es importante conocer cómo actúa el carbón activado granular CAG; para esto se realizaron las isotermas de adsorción.

9.2.1 Isotermas de adsorción de plomo y mercurio

Para conocer de qué forma (Física o Química) actúa el carbón activado granular y con el fin de poder contrastar el comportamiento adsorbente de los carbones con la bacteria inmovilizada, sin inmovilizar y la bacteria sola, además del comportamiento en ausencia de los factores adicionales presentes en el río, los cuales pueden modificar la capacidad de adsorción; se crearon las condiciones experimentales mencionadas anteriormente y estos fueron los resultados:

Concentración Muestras	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	15 ppm	20 ppm
CAPsHg	0.22	0.6	1.1	3.1	12.5	19.4
CAHg	0.47	1.8	3.2	5.3	13.25	19.7
PsHg	0.4	1.5	3.3	5.9	13.25	19.7
CAPsPb	0.2	0.58	0.9	2.95	12.2	19.1
CAPb	0.44	1.5	3.1	5.1	13	19.3
PsPb	0.41	1.5	3	5.25	13.3	19.1

Tabla 14: Resultados de las condiciones experimentales. **Fuente:** Propia, 2016.

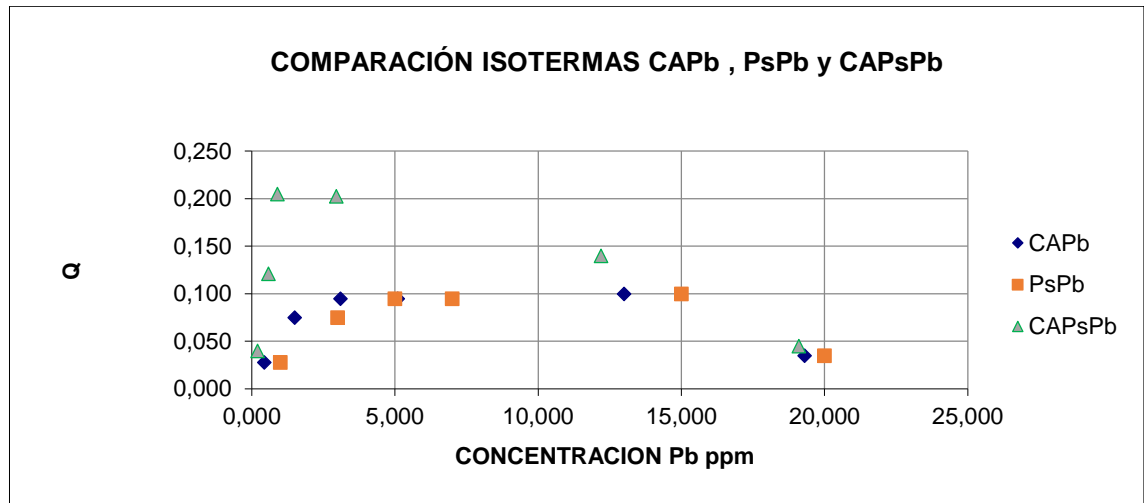
Como se puede observar en la tabla anterior, cuando hay concentraciones mayores a 15 ppm se reduce significativamente la adsorción y/o remoción de los metales; lo que significa que el tipo de carbón y la cepa utilizada funcionan eficientemente hasta concentraciones máximas de 15ppm.

¹⁴⁷ ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY. Química inorgánica ambiental. Tema 3 metales pesados tóxicos: el mercurio. [En línea]. 2006. [Consultado 26 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.ugr.es/~mota/QIA_TEMA-3_Hg.pdf

¹⁴⁸ UNAM. HOJA DE SEGURIDAD XXI .MERCURIO Y SALES DE MERCURIO. [En línea]. [Consultado 26 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/21HG.pdf>

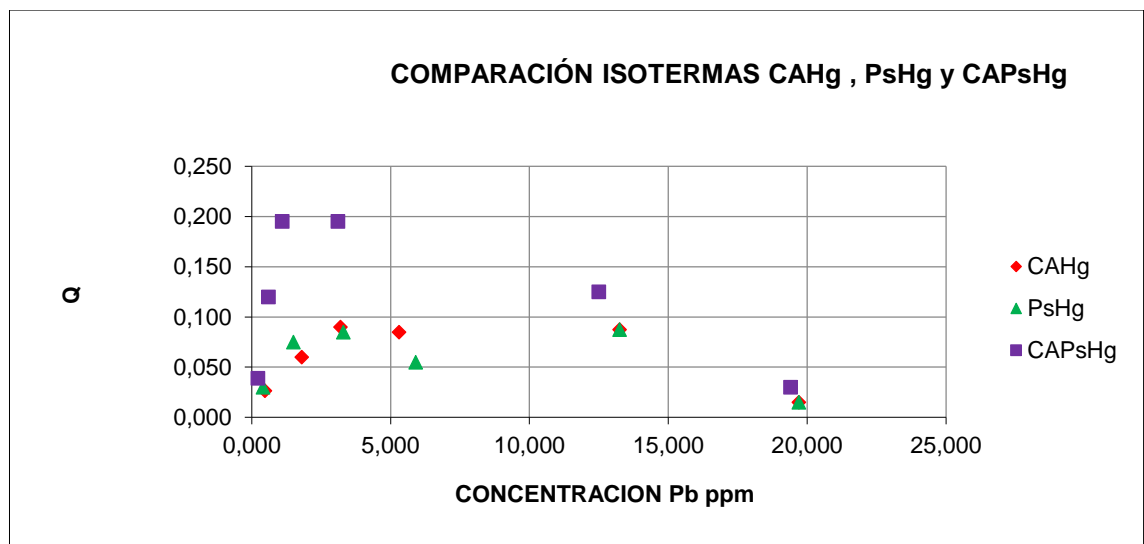
A continuación, se observan las isothermas de adsorción para conocer cuánto adsorbato fue adsorbido por el adsorbente donde Q es la cantidad adsorbida en mg/ g de carbón:

Gráfica 1: isothermas para la adsorción de Pb



Fuente: Propia, 2016.

Gráfica 2: isothermas para la adsorción de mercurio



Fuente: propia, 2016

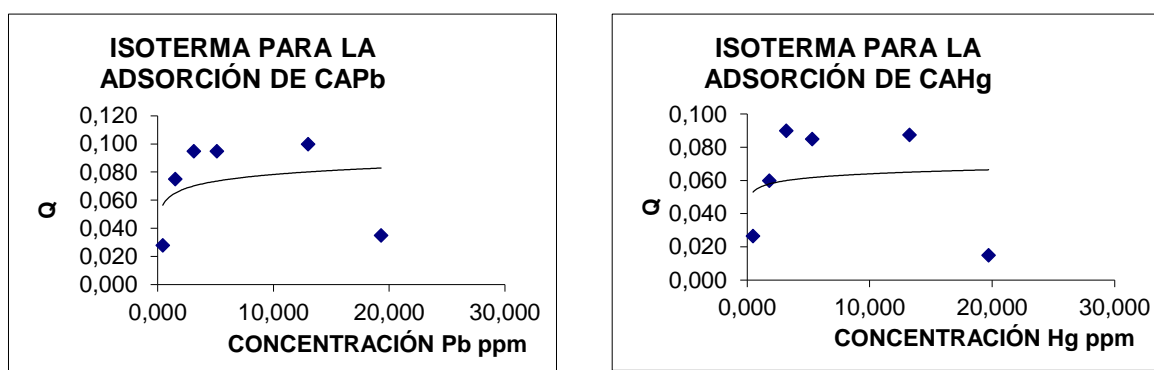
Queda claro que el método más eficiente para remover el plomo y el mercurio del medio, es el carbón activado granular inmovilizado con la *Pseudomona aeruginosa*. Como se ve en las gráficas; este fue el que más adsorbió y/o removió el metal, sin embargo, en concentraciones mayores a 15 ppm se redujo

significativamente la adsorción o remoción, lo que indica que a mayores concentraciones se satura la superficie del adsorbente y se impide el paso de más moléculas, asimismo sucede con la bacteria.

Cabe señalar que estos métodos (CA, Ps Y CAPs), en condiciones creadas funcionaron de manera similar en las condiciones del agua del Río, por lo tanto, éstas no influyen de manera significativa en el proceso de destoxificación en el agua del Río.

Por otra parte, se procedió a comparar la forma de las isotermas de plomo y mercurio (línea de tendencia) con la bibliografía, para establecer la forma de adsorción del carbón y estos fueron los resultados:

Grafica 3: isotermas de adsorción de mercurio y plomo



Fuente: Propia, 2016

Las isotermas de adsorción son de tipo I (isoterma de Langmuir), lo que significa que corresponde a una adsorción en monocapa; esta isoterma es característica a un proceso únicamente de quimisorción¹⁴⁹.

La quimisorción implica la formación de un enlace fuerte entre el adsorbato y el adsorbente y el proceso se detiene en la formación de una capa sobre la superficie (monocapa)¹⁵⁰. Esto fue lo que ocurrió con el CAG y los iones metálicos.

Es importante mencionar que con la concentración mayor a 15 ppm la monocapa fue sobresaturada y por esto ya no se evidenció una adsorción significativa.

Para finalizar el método de destoxificación en el agua del Río Magdalena funciona eficientemente por los procesos que realiza cada componente para la remoción de mercurio y plomo, sin embargo, para obtener una remoción mayor se deben realizar más estudios cambiando las variables de tiempo, cantidad, agitación y las que se crean necesarias, para así poder obtener una remoción del 100%.

¹⁴⁹ UNIVÈRSITAT DE VALÈNCIA. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea. . [En línea]. 2002. [Consultado 28 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.uv.es/tunon/pdf_doc/Superficies_Solidas_A.pdf

¹⁵⁰ Ibid. p., 7-18

9.3 Comparación de las concentraciones iniciales de los metales Hg y Pb con la normatividad vigente de Colombia: resolución 2115 de 2007 y el decreto 1076 de 2015

Con el fin de conocer si las concentraciones iniciales de Hg y Pb de las muestras de agua del Río Magdalena cumplen con la normatividad vigente de Colombia (Resolución 2115/2007 y Decreto 1076/2015), se realiza el siguiente cuadro comparativo:

Muestras de agua del Río Magdalena; tramo Girardot Cundinamarca.						
Antes de la aplicación del método de destoxificación.	Toma A		Toma B		Toma C	
	Hg total	Pb total	Hg total	Pb total	Hg total	Pb total
	1.2 ppm	0.9 ppm	1.3 ppm	1.0 ppm	1.2 ppm	1.1 ppm
Resolución 2115 de 2007	0.001 ppm	0.01 ppm	0.001 ppm	0.01 ppm	0.001 ppm	0.01 ppm
Decreto 1076 de 2015						
Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.	0.002 ppm	0.05 ppm	0.002 ppm	0.05 ppm	0.002 ppm	0.05 ppm
Criterios de calidad para uso agrícola.	-	5 ppm	-	5 ppm	-	5 ppm
Criterios de calidad para uso pecuario.	0.01 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm	0.1 ppm
Criterios de calidad para preservación de flora y fauna. (agua cálida dulce)	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Concentraciones para el control de la carga de sustancias de interés sanitario.	0.02 ppm	0.5 ppm	0.02 ppm	0.5 ppm	0.02 ppm	0.5 ppm

Tabla 15: comparación concentraciones de Hg y Pb con la normatividad vigente Colombiana. Fuente: Propia, 2016

Como se puede observar en la tabla anterior las concentraciones de mercurio y plomo sobrepasan 100% los límites permisibles en la resolución 2115 de 2007 (Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano), lo que evidencia la contaminación presente en el Río Magdalena en Girardot Cundinamarca.

También comparando con el decreto 1076 de 2015 (decreto único del sector ambiente y desarrollo sostenible) las concentraciones de mercurio y plomo sobrepasan los diferentes límites de calidad para uso del agua, excepto el de uso agrícola que permite una concentración máxima de plomo de 5 ppm y no menciona el mercurio; es decir que esta agua serviría para el uso agrícola.

Esto es cuestionable puesto que como se mencionó anteriormente la dosis letal del plomo absorbida en humanos es de 0.5 g pero el riesgo de intoxicación crónica se considera a partir de 0.5 mg/día y si se usa agua contaminada con este metal a una concentración de 5 ppm para regar un cultivo ya sea de tomate u otro, este se bioacumulará en la planta, en el fruto pudiendo causar graves problemas a la salud humana.

Dentro de este orden de ideas, el agua de donde se tomaron las muestras del Río Magdalena en el municipio de Girardot Cundinamarca, solo serviría para uso agrícola dentro de lo legal y es cuestionable; pero si se quisiera utilizar para consumo humano u otro uso tendría que hacersele un tratamiento para disminuirle la concentración de estos metales.

Ahora bien, podría tratarse el agua en una planta de tratamiento ya sea para agua potable o agua residual y aplicarse como tratamiento terciario, un método de biorremediación u otro proceso para remover los metales pesados del medio, el cual tendría que determinarse mediante una investigación.

10. CONCLUSIONES

La calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca, ha ido disminuyendo a través de los años, en el 2005 la calidad del agua era regular y así continuó hasta el año 2009, sin embargo, en los años posteriores hasta el 2011 la calidad del agua fue MALA, esto se puede deber a diferentes factores como: la desembocadura del Río Bogotá, los asentamientos humanos, los vertimientos domésticos e industriales entre otros.

Es necesario realizar más estudios acerca de la calidad del agua del Río Magdalena en Girardot Cundinamarca, para monitorear a través del tiempo la contaminación del agua y de esta forma evaluar posibles tratamientos biotecnológicos que puedan ayudar a disminuir los índices de contaminantes en el río.

El método de destoxificación funcionó con una eficiencia de remoción de mercurio y plomo del 75% aproximadamente (siempre y cuando, las concentraciones de dichos metales sean bajas <15ppm), gracias a los procesos que realiza la *Pseudomona aeruginosa* y el carbón activado granular con cada metal.

El método más eficiente para la remoción de mercurio y plomo del agua fue el carbón activado granular inmovilizado con *Pseudomona aeruginosa* pues se evidencio, que los dos componentes por separado funcionan de manera similar removiendo aproximadamente un 50%, pero al combinarse aumentan la eficiencia de remoción un 25%.

La *Pseudomona aeruginosa* bioadsorbe el plomo; este ion se adhiere a la membrana externa por atracción electrostática es decir diferencia de cargas, pues el plomo tienen carga positiva y la membrana carga negativa.

La *Pseudomona aeruginosa* biotransforma el mercurio a su estado elemental, el cual es líquido y ligeramente volátil. Este pudo haberse removido del medio volatizándose, gracias a la agitación continua que se realizó el procedimiento, pero no es posible afirmarlo ya que no se analizó el carbón activado residual.

El carbón activado granular utilizado para la remoción de Hg y Pb, realiza quimisorción es decir que se forma un enlace fuerte entre el adsorbato y el adsorbente hasta que el proceso termina formándose una capa en la superficie del mismo (monocapa).

Cuando la concentración de plomo y mercurio exceden 15 ppm se satura la superficie del adsorbente y se impide el paso de más moléculas tanto para el carbón como para la bacteria.

Las concentraciones de mercurio y plomo halladas en el Río Magdalena, sobrepasan 100% los límites permisibles en la resolución 2115 de 2007; por lo cual se debe hallar el origen de estos contaminantes y contribuir a la remoción de los mismos.

De acuerdo con el decreto 1076 de 2015 (decreto único del sector ambiente y desarrollo sostenible) las concentraciones de mercurio y plomo sobrepasan los diferentes límites de calidad para uso del agua, excepto el de uso agrícola que permite una concentración máxima de plomo de 5 ppm y no menciona el mercurio; por lo tanto este agua serviría para uso agrícola.

El agua de donde se tomaron las muestras del Río Magdalena en el municipio de Girardot Cundinamarca, solo serviría para uso agrícola dentro de lo legal y es cuestionable dicha afirmación; si se quisiera utilizar para consumo humano u otro uso tendría que hacersele un tratamiento para disminuir o remover estos metales.

11. RECOMENDACIONES

Se recomienda localizar cada empresa o proceso generador de dichos contaminantes y que se realicen tratamientos a las aguas residuales e industriales, además de hacer estudios en más puntos del Río Magdalena para evaluar la fuente por la que se está encontrando concentraciones de mercurio y plomo, pues no se puede afirmar que el Río Bogotá es el responsable de estos metales, ya que los análisis en los tres puntos de muestreo dieron de manera similar.

Se recomienda continuar con la investigación, para poder mejorar la eficiencia del método de destoxificación cambiando las variables utilizadas como tiempo, cantidad, agitación y las que se crean necesarias.

La universidad debe contar con métodos y/o instrumentos para la realización de los trabajos de grado, porque este se financio con dinero propio, si se contara con instrumentos para la investigación y un buen laboratorista se podrían haber hecho más análisis y/o estudios para esta investigación: por ejemplo se podría haber analizado el carbón activado residual para conocer exactamente cuanta cantidad adsorbió y que paso.

Es importante continuar con este tema de investigación y desarrollar muchos otros, pues el Río Magdalena hace parte de Girardot Cundinamarca y la universidad hace parte del municipio; investigando se puede monitorear el estado de este recurso hídrico y en un futuro se podría ayudar a descontaminarlo mediante procesos biotecnológicos.

12. REFERENCIAS

PÉREZ PRECIADO, Alfonso. El problema del río Bogotá. En: Fundación al Verde Vivo. [Base de datos en línea]. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL:

<http://alverde Vivo.org/SitioAntiguo/Documentos/EL%20PROBLEMA%20DEL%20RIO%20BOGOTA.pdf>

Corporación Autónoma Regional CAR. PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ. . [En línea]. 2006. [Consultado 25 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T...p...f...

MANCERA RODRÍGUEZ, Javier y ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. [En línea]. 2005. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/29142/1/27140-100723-1-PB.pdf>

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Plaguicidas inorgánicos. [En línea]. [Consultado 22 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356018/Contenidos_Unida_1/leccin_4_plaguicidas_inorgnicos.html

New Jersey Department of health. Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. Acetato fenilmercúrico. [En línea]. 2009. [Consultado 22 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1502sp.pdf>

Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial MAVDT y universidad de Antioquia. Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia. [En línea]. 2010. [Consultado 25 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Inventario_Cuantificacion_Mercurio.pdf

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM y ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible MADS. Estudio Nacional del Agua ENA. [En línea]. 2014. [Consultado 26 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Organización mundial de la salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable. [En línea]. 2006. [Consultado 26 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf

CAÑIZARES VILLANUEVA, Rosa. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. [En línea]. 2000. [Consultado 1 de Julio de 2015].

Disponible en internet:<URL: <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. Calidad: agua superficial. [En línea]. 2009. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL:

<https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=860&conID=1373>.

REYES TORIZ, Erik; CERINO C., Felipe y SUÁREZ, Martha. Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. [En línea]. 2006. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: www.ingenierias.uanl.mx/31/31_remocion.pdf.

RAMÍREZ CALDERÓN, Ever; SÁNCHEZ INFANTE, Clara; CARTAGENA TORRES, Edgar y DÍAZ ÁLVAREZ, Juan. Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot. [En línea]. 2010. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/imagenydesarrollo/article/view/1156/648>

MANCERA RODRÍGUEZ, Javier y ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. [En línea]. 2005. [Consultado 1 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/29142/1/27140-100723-1-PB.pdf>

MATHS BERLIN, RUDOLFS K. ZALUPS, Y BRUCE A. FOWLER. Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition). Chapter 46 Mercury. [En línea]. 2015. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444594532>

Sigma-Aldrich. Ficha de datos de seguridad: Mercurio. . [En línea].2016. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.sigmaaldrich.com/us-export.html>

VIASALUS. Toxicología-sustancias. Plomo. [En línea]. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/18873/Toxicologia_OC_R.pdf?sequence=2

Sigma-Aldrich. Ficha de datos de seguridad: Plomo. [En línea].2016. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.sigmaaldrich.com/us-export.html>

JIMÉNEZ SERRANO, C. ASPECTOS NUTRICIONALES Y TOXICOLÓGICOS DE ALGUNOS ELEMENTOS MINERALES: COBRE, HIERRO, MANGANESO Y ZINC. . [En línea]. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en

internet:<URL:

<https://www.uclm.es/ab/enfermeria/revista/numero%204/elementosminerales4.htm>

RODRIGUEZ ESTUPIÑAN, Paola; GIRALDO, Liliana y MORENO PIRAJÁN, Juan. Adsorción simple y competitiva de níquel y cadmio sobre carbón activado granular: efecto del pH. [En línea]. 2011. [Consultado 5 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/269638/357174>

ALCALDÍA DE GIRARDOT-CUNDINAMARCA. Nuestro municipio: Geografía. [En línea]. 2013. [Consultado 10 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://girardot-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

GOOGLE MAPS. Girardot Cundinamarca. [En línea]. 2015. [Consultado 25 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.google.com.co/maps/place/Girardot,+Cundinamarca/@4.2178839,-74.7536503,12z/data=!4m2!3m1!1s0x8e3f28eb1616af2b:0x1d71759ce9e2c519>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. Hoja metodológica del índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). [En línea]. 2011. [Consultado 28 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL:http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

IDEAM. Capítulo 6: calidad del agua superficial de Colombia. [En línea]. 2010. [Consultado 29 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP6.pdf>

COLOMBIA. IDEAM. Resolución 0268 de 2015. (06, marzo, 2015). Por la cual se modifica la resolución 0176 de 2003 y 1754 de 2008, y se establecen los requisitos y el procedimiento de acretacion de organismos de evaluación de la conformidad en matrices ambientales, bajo la NTC-ISO/IEC 17025 en Colombia. Diario oficial. Bogotá D.C., 2015.

UNAD. Lección 9: Clasificación, composición, propiedades y toxicidad de metales pesados. [En línea]. 2008. [Consultado 12 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358025/Material_online/leccin_9_clasificacin_composicin_propiedades_y_toxicidad_de_metales_pesados.html

NUTRICIÓN CELULAR. Metales pesados: una mina de enfermedades. [En línea]. [Consultado 27 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: www.nutricioncelular.es/articulos/descargar_articulo/101

TORTOSA, Germán. La contaminación por metales pesados se amplifica con los desastres naturales. [En línea]. 2012. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL:

<http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/01/26/la-contaminacion-por-metales-pesados-se-amplifica-con-los-desastres-naturales/>
Revista química viva. [En línea]. Argentina. Departamento de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires- Instituto de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales- IQUIBICEN. 2003. Disponible en internet:<URL: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm>. ISSN: 1666-7948

ROSAS RODRÍGUEZ, Hermógenes. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. [En línea]. 2001. [Consultado 27 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6978/02INTRODUCCION.pdf?sequence=2>

MONROY SALADEN, Vivian y OSPINA ORTIZ, Rafael. Un modelo de externalidades y derechos de propiedad para reducir la polución del río Bogotá. [En línea]. 2014. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/14933/1/MonroySaladenVivianRosario2014.pdf>

CORMAGDALENA. El gran río Magdalena; Gastronomía y sabores. . [En línea]. 2014. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://dc02eja.cormagdalena.com.co/recursos_user/comunicaciones/gastronomia%20y%20sabores.pdf

BITAR, J Y CAMACHO, L. Implementación de un modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot – Honda. . [En línea]. 2005. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/757/MI_ICYA_2005_036.pdf?sequence=1

FONDO PARA LA DEFENSA DE LA SALUD AMBIENTAL. Mercurio y plomo. [En línea]. 2009. [Consultado 15 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.fondosaludambiental.org/?q=node/125>

Y. Shastri y U. Diwekar. Optimal. Control of lake pH for mercury bioaccumulation control. [En línea]. 2008. [Consultado 27 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380008001518>

UBILUS LIMO, JULIO. Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara. [En línea]. 2003. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/ubillus_lj/cap2.pdf

VALDIVIA INFANTAS, Melinda. Intoxicación por plomo. [En línea]. 2005. [Consultado 22 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf
LENNTECH. Plomo y agua. [En línea]. [Consultado 22 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm>

EL CUADERNO DEL POR QUÉ BIOTECNOLOGÍA. Biorremediación: organismos que limpian el ambiente. [En línea]. 2006. [Consultado 22 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_biotec__25656.pdf

CRUZ VEGA, Diana. Remoción de metales por microorganismos productores de polisacáridos. [En línea]. 2008. [Consultado 23 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3635/1/REMOCIONMETALES.pdf>

VILCHEZ VARGAS, Ramiro. Eliminación de metales pesados de aguas subterráneas mediante sistemas de lechos sumergidos: estudio microbiológico de las biopelículas. [En línea]. 2005. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://hera.ugr.es/tesisugr/1542649x.pdf>

NARANJO, Eneyis; ORBERA, teresa; PÉREZ, Rosa y ROMAGOSA, Yanet. Bioadsorción de plomo (II) por biomasa microbiana seca: Efecto del pH. [En línea]. 2012. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/viewFile/3365/2823>

GONZÁLEZ GARZA, María. Aislamiento de microorganismos con alta capacidad de tolerar y remover metales como: Pb(II), Cr(VI), Cd(II), Cu(II), Zn(II) y Ni(II). [En línea]. 2005. [Consultado 23 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bibliociencias.cu/gsdll/collect/tesis/index/assoc/HASH1146.dir/doc.pdf>

PAISIO, Cintia; GONZÁLEZ, Paola; TALANA, Melina y AGOSTINI, Elizabeth. Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. [En línea]. 2012. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ambientalex.info/revistas/vol3n23.pdf>

MERENGHI, Mindy. En línea]. 2009. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://web.mst.edu/~microbio/BIO221_2009/P_aeruginosa.html

¹ CARRIAZO, José; SAAVEDRA, Martha y MOLINA, Manuel. Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. [En línea]. 2010. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://www.researchgate.net/publication/271272065_Propiedades_adsorptivas_d

e_un_carbn_activado_y_determinacin_de_la_ecuacin_de_Langmuir_empleand_o_materiales_de_bajo_costo

CARBOTECNIA. Carbón activado. [En línea]. 2014. [Consultado 28 de Mayo de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>

OOCITIES. Carbón activado. [En línea]. 2009. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/carbonactivado.htm>

GARCÍA, Vanessa y CASALLAS, Johana. Modificación de carbones activos con ácidos fuertes para retener iones metálicos en aguas contaminadas y el diseño de una unidad didáctica para su enseñanza. Trabajo de Grado Licenciado en Química. Bogotá D.C. universidad pedagógica nacional. Facultad de ciencia y tecnología. Departamento de química.2005.190 p.

RODRÍGUEZ ESTUPIÑÁN, Jenny. Modificación y Caracterización Calorimétrica de Carbón Activado Granular, para la Remoción de Cd (II) y Ni (II) en Adsorción Simple y Competitiva. [En línea]. 2011. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6446/1/197550.2012.pdf>

CHEMVIRON CARBÓN. Carbón activado. [En línea].2015. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.chemvironcarbon.com/es/carbon-activo/que-es-el-carbon-activado>

JIMÉNEZ GOMEZ, Angélica. Interacción del mercurio con los componentes de las aguas residuales. [En línea]. 2005. [Consultado 25 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1125/1/angelicamariajimenezgomez.2005.pdf>

MENDOZA COLINA, Evert. Remoción de Pb (II) de soluciones mediante carbón activado: experimentos en lotes. [En línea].2012. [Consultado 28 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6238/1/197380.2012.pdf>

MONROY FONSECA, Manuel. CARBONES ACTIVADOS CON ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Aplicación en la degradación de compuestos fenólicos procedentes de aguas residuales de la industria metalúrgica de Nobsa–Boyacá. . [En línea]. 2010. [Consultado 28 de Julio de 2015]. Disponible en internet:<URL: http://www.bdigital.unal.edu.co/view/person/Monroy_Fonseca=3AManuel_Alexander=3A=3A.html

COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto ley 2811. (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario oficial. Bogotá D.C., 1974. No 34243.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 9. (25, enero, 1979). Por el cual se dictan medidas sanitarias. Diario oficial. Bogotá D.C. 1979.

COLOMBIA. EL PUEBLO DE COLOMBIA. Constitución política. (06, julio, 1991). Constitución política de Colombia.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99. (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. D.C., 1993. No 41146.

COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 1575. (09, Mayo, 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Diario oficial. D.C., 2007.

COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115. (22, junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. p. 1-23

COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. D.C, No 47837.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 1076. (26, mayo, 2015). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. p. 1-654

GOOGLE MAPS. Girardot Cundinamarca. [En línea]. 2016. [Consultado el 18 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es&authuser=0&mid=zGeMgqnHidec.ktWRP-N5H6cs>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION Y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. Madrid (España). H Franson, Mary, 1992. ISBN 84-7978-031-2

Fundamentals of Adsorption: Proceedings of the Fifth International Conference on Fundamentals of Adsorption. [En línea]. 2012. [Consultado el 17 de agosto de 2015]. Disponible en internet:<URL: <https://books.google.com.co/books?id=xlrSBwAAQBAJ&pg=PA442&lpg=PA442&dq=activated+carbon+desorption+temperature&source=bl&ots=Xdn4Ejhet7&si>

g=RLRSloEOAnBxVp1HPml-
mhjDvlw&hl=es&sa=X&ved=0CCwQ6AEwATgUahUKEwiZz9TypuvHAhXH9x4
KHRh6DbU#v=onepage&q=activated%20carbon%20desorption%20temperatur
e&f=false

IDEAM Y CORMAGDALENA. Estudio ambiental de la cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. [En línea]. 2001. [Consultado 11 de Abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000051/EstudioAmbientaCMagdalena-Cauca.pdf>

CONTRALORÍA. Servicio público de alcantarillado –Aguas residuales. [En línea]. 2006 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Agua_Servicio_Publico/Servicio_Publico_Alcantarillado-Contraloria_Cundi.pdf

ACUAGYR. Tratamiento del agua. [En línea]. 2016 [Consultado 12 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.acuagyr.com/informacion-al-suscriptor/datos-de-interes/conozca-el-tratamiento-del-agua>

CAMACHO BOTERO, Luis. Modelación de la calidad del agua del Río Magdalena (Girardot-Honda) y caracterización de las aguas residuales de Girardot. [En línea]. 2005. [Consultado 10 de Abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: https://ingenieria.uniandes.edu.co/grupos/ciia/images/Imagenes_Nath/Modelacion%20Calidad%20Agua%20Superficial%20-%20Luis%20Alejandro%20Camacho%20Da%201.pdf

IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2005 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2006 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2007 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2008 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2009 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2010 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

IDEAM. Indicadores. [En línea]. 2011 [Consultado 19 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

CORMAGDALENA. Caracterización física, demográfica, social y económica de los municipios ribereños de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. [En línea]. 2013. [Consultado 20 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://dc02eja.cormagdalena.com.co/recursos_user/PMA/Caracteriza%20R%C3%ADo%20Magdalena.pdf

UNNE. La pared bacteriana. [En línea]. 2005 [Consultado 24 de enero de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.biologia.edu.ar/bacterias/micro4.htm>

ZABOCHNICKA, Magdalena y KRZYWONOS, Małgorzata. Potentials of Biosorption and Bioaccumulation Processes for Heavy Metal Removal. [En línea]. 2014. [Consultado 25 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.pjoes.com/pdf/23.2/Pol.J.EnvIRON.Stud.Vol.23.No.2.551-561.pdf>

SUAREZ, Paula y REYES, Rosa. A INCORPORACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS BACTERIAS Y SU IMPORTANCIA PARA EL AMBIENTE. [En línea]. 2002. [Consultado 26 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.interciencia.org/v27_04/suarez.pdf

ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY. Química inorgánica ambiental. Tema 3 metales pesados tóxicos: el mercurio. [En línea]. 2006. [Consultado 26 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.ugr.es/~mota/QIA_TEMA-3_Hg.pdf

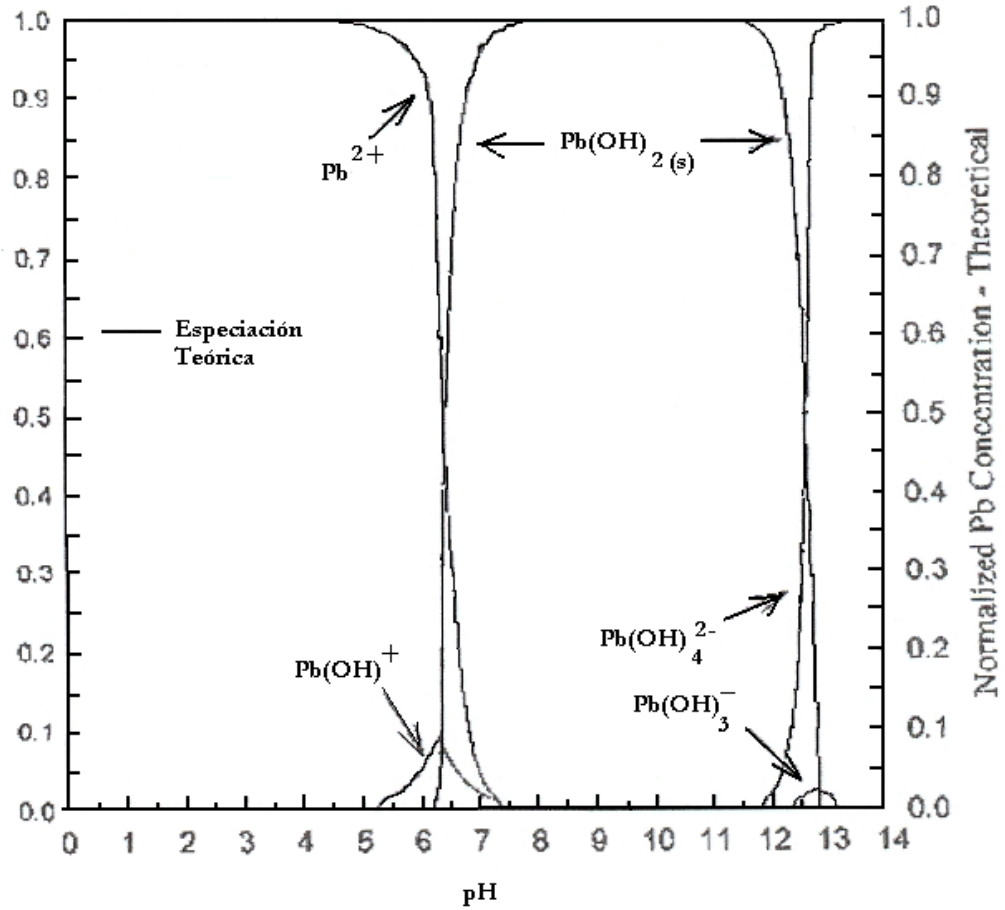
UNAM. HOJA DE SEGURIDAD XXI .MERCURIO Y SALES DE MERCURIO. [En línea]. [Consultado 26 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/21HG.pdf>

¹ UNIVÈRSITAT DE VALÈNCIA. Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea. . [En línea]. 2002. [Consultado 28 de abril de 2016]. Disponible en internet:<URL: http://www.uv.es/tunon/pdf_doc/Superficies_Solidas_A.pdf

Surface Complexation Modelling. [En línea]. 2016. [Consultado el 17 de agosto de 2015]. Disponible en internet:<URL: <https://books.google.com.co/books?id=tEUrAJZKRHcC&pg=PA26&dq=mercury+speciation+diagram&hl=es&sa=X&ved=0CCQQ6AEwAGoVChMlgYCCg5GdxwIVBpQeCh1aNA58#v=onepage&q=mercury%20speciation%20diagram&f=false>

13. ANEXOS

Anexo A. Diagrama de especiación del plomo (Pb)

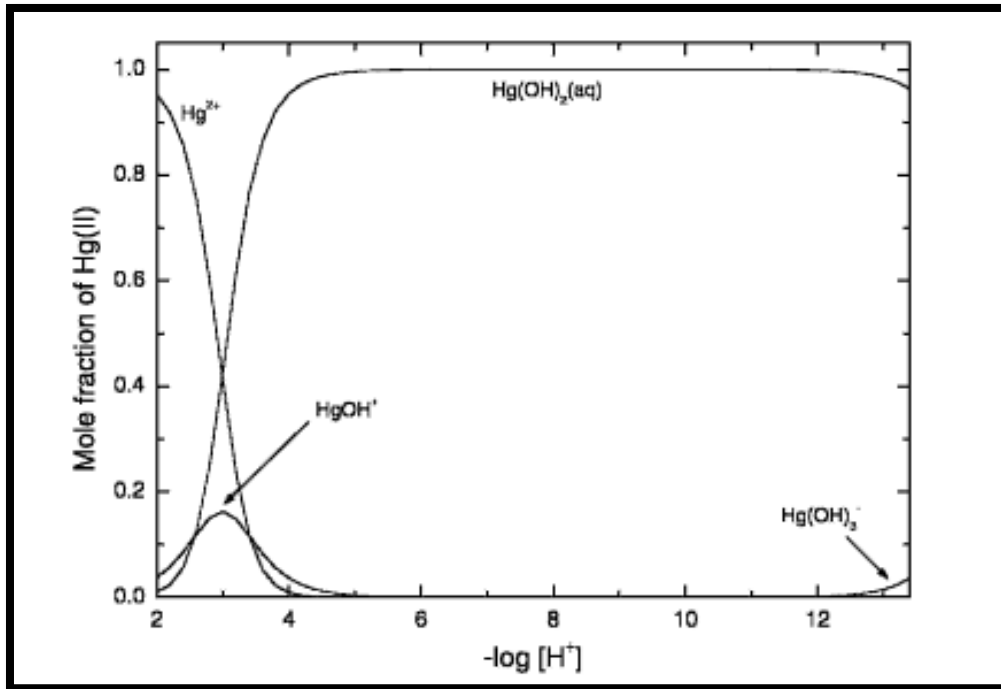


Fuente: García, Vanessa et al.¹⁵¹

De acuerdo con el diagrama de especiación del plomo el pH óptimo para encontrarlo en su estado de oxidación +2, que es el estado asimilable por *Pseudomonas aeruginosa* está entre 0 y 5.

¹⁵¹ García, Vanessa et al. Op. Cit., p. 40

Anexo B. Diagrama de especiación del mercurio (Hg)



Fuente: Surface Complexation Modelling.¹⁵²

De acuerdo con el diagrama de especiación del mercurio el pH óptimo para encontrarlo en su estado de oxidación +2, que es el estado asimilable por *Pseudomona aeruginosa* está entre 2 y 4.

¹⁵² Surface Complexation Modelling. [En línea]. 2016. [Consultado el 17 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=tEUrAJZKRHcC&pg=PA26&dq=mercury+speciation+diagram&hl=es&sa=X&ved=0CCQQ6AEwAGoVChMIgYCCg5GdxwIVBpQeCh1aNA58#v=onepage&q=mercury%20speciation%20diagram&f=false>>


Anexo C. Cronograma de trabajo

Actividades	Meses											
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Redacción anteproyecto de investigación	X	X										
Aprobación del anteproyecto.			X									
Revisión del estado del arte acerca de la calidad del agua en el río Magdalena en Girardot Cundinamarca.				X								
Fermentación de la cepa <i>Pseudomona aeruginosa</i> .					X							
Desorción del carbón activado granular					X							
Inmovilización de la cepa <i>Pseudomona aeruginosa</i> en carbón activado granular.					X							
Toma de muestras en el Río Magdalena: en las coordenadas mencionadas anteriormente					X							
Creación de condiciones experimentales a partir de soluciones de sales puras de nitrato de mercurio ($Hg(NO_3)_2$) y de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$).					X							

Aplicación del método de destoxificación a las muestras tomadas y a las muestras creadas.					X							
Análisis de resultados						X	X	X	X	X		
Redacción de resultados			X	X	X	X	X	X	X	X		
Realización de correcciones							X			X	X	
Sustentación												X

Anexo D. Resultados análisis de laboratorio

INFORME N° 51-A15 (15188) Daniel Cubillos 2015-12-28

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC_F_116
		Versión: 1
	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS	Fecha de vigencia: (18-11-2013)

LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS

1. Información del cliente

Nombre y Apellido: DANIEL CUBILLOS
 Cédula o NIT: 11366512
 Dirección: CLL 7 2-05 INTERIOR 6 CASA 3 MADRID
 Dpto: CUNDINAMARCA
 Municipio: GIRARDOT
 Tel tipo/Celular: 3214295583
 Tipo de análisis: Hg-Pb



PROSPERIDAD PARA TODOS

Número de solicitud
51

2. Información de la muestra

Finca: NO INDICA
 Tipo de agua: RIO
 Tipo deiego: NO INDICA

Fecha de recepción: 2015-12-07
 Fecha de reporte: 2015-12-28

Jamer Ricardo Jiménez. (7882)
 Líder Unidad de Laboratorio
 de suelos


CODIGO LABORATORIO	DETERMINACIÓN ANALÍTICA		
	UNIDADES	Mercurio (Hg) mg/l	Plomo (Pb) mg/l
	MÉTODOS	SM3120 B Modificado	SM3120 B Modificado
IDENTIFICACION		VALORES	
A15-15188	DESENOCA DURA ANTES	1.2	0.9

OBSERVACIONES:

Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia.
 Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma.
 Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA
 KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)
 TEL: 6042000 - 4957300 FAX: 6042000

INFORME N° 51-A15 (15188) Daniel Cubillos 2015-12-28

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC_F_116
		Versión: 1
	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS	Fecha de vigencia: (18-11-2013)

LABORATORIO DE QUIMICA DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS

1. Información del cliente

Nombre y Apellido: DANIEL CUBILLOS
 Cédula o NIT: 11366512
 Dirección: CLL 7 2-05 INTERIOR 6 CASA 3 MADRID
 Dpto: CUNDINAMARCA
 Municipio: GIRARDOT
 Tel. fijo/Celular: 3214295583
 Tipo de análisis: Hg-Pb



Ministerio de Agricultura
 Organización Nacional de
 Promoción y Fomento Agrario

PROSPERIDAD
 PARA TODOS

Número de solicitud

51

2. Información de la muestra

Finca: NO INDICA
 Tipo de agua: RIO
 Tipo de riego: NO INDICA

Fecha de recepción: 2015-12-07
 Fecha de reporte: 2015-12-28

Jamer Ricardo Jiménez. (7882)
 Líder Unidad de Laboratorio
 de suelos

CODIGO LABORATORIO	DETERMINACIÓN ANALÍTICA	
	UNIDADES	VALORES
	MÉTODOS	
	Mercurio (Hg)	Plomo (Pb)
	mg/l	mg/l
	SM3120 B Modificado	SM3120 B Modificado


IDENTIFICACION	VALORES
A15-15188 DESENBOCADURA EN	1.3 1.0

OBSERVACIONES:

Los resultados son válidos únicamente para la muestras en referencia
 Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma.
 Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA
 KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)
 TELÉFONOS: 4227300, extensión 1414

INFORME N° 51-A15 (15188) Daniel Cubillos 2015-12-28

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC_F_116
		Versión: 1
	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS	Fecha de vigencia: (18-11-2013)

LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS

1. Información del cliente

Nombre y Apellido: DANIEL CUBILLOS
 Cédula o NIT: 11366512
 Dirección: CLL 7 2-05 INTERIOR 6 CASA 3 MADRID
 Dpto: CUNDINAMARCA
 Municipio: GIRARDOT
 Tel. fijo/Celular: 3214295583
 Tipo de análisis: Hg-Pb



Número de solicitud
51

2. Información de la muestra

Finca: NO INDICA
 Tipo de agua: RIO
 Tipo de riego: NO INDICA

Fecha de recepción: 2015-12-07
 Fecha de reporte: 2015-12-28

Jamer Ricardo Jiménez. (7682)
 Líder Unidad de Laboratorio
 de Suelos


CODIGO LABORATORIO	UNIDADES	DETERMINACIÓN ANALÍTICA	
		Mercurio (Hg)	Plomo (Pb)
		mg/l	mg/l
METODOS		SM3120 B Modificado	SM3120 B Modificado
IDENTIFICACION		VALORES	
A15-15188	DESDE DOCA DURA DESPUES	1.2	1.1

OBSERVACIONES:

Los resultados son validos unicamente para la muestras en referencia
 Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma.
 Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA
 KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)
 TELÉFONOS: 4227300, extensión 1414

INFORME N° 63-A15 (15188) Daniel Cubillos 2015-12-18

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA		Código: VC_F_116
			Versión: 1
	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS		Fecha de vigencia: (18-11-2013)
LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS			
1. Información del cliente Nombre y Apellido: DANIEL CUBILLOS Cédula o NIT: 11396512 Dirección: CLL 7 2-05 INTERIOR 6 CASA 3 MADRID Dpto: CUNDINAMARCA Municipio: GIRARDOT Tel. fijo/Celular: 3214295583 Tipo de análisis: Hg-Pb			
			Número de solicitud 63
2. Información de la muestra Finca: NO INDICA Tipo de agua: RIO Tipo de riego: NO INDICA Fecha de recepción: 2015-12-18 Fecha de reporte: 2016-01-03			
			Jamer Ricardo Jiménez. (7852) Líder Unidad de Laboratorio de suelos
DETERMINACIÓN ANALÍTICA			
CODIGO LABORATORIO	UNIDADES	Mercurio (Hg) mg/l	Plomo (Pb) mg/l
	MÉTODOS	SM3120 B Modificado	SM3120 B Modificado
IDENTIFICACIÓN		VALORES	
A15-15188			
	ítem	Hg total	Pb total
	Antes CA	0,62	0,68
	Antes PS	0,6	0,59
	Antes CAPs	0,25	0,22
	En CA	0,61	0,67
	En Ps	0,7	0,71
	En CAPS	0,23	0,22
	Después CA	0,66	0,67
	Después Ps	0,69	0,68
	Después CAPs	0,29	0,27
OBSERVACIONES:			


Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia

Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma

Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA
 KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)
 TELÉFONOS: 4227300, extensión 1414
 E-MAIL: ypaezc@corpoica.org.co

INFORME N° 63A15 (15188) Daniel Cubillos 2015-12-18

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC_F_116
		Versión: 1
	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS	Fecha de vigencia: (18-11-2013)

LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS

1. Información del cliente

Nombre y Apellido: DANIEL CUBILLOS
 Cédula o NIT: 11366512
 Dirección: CLL 7 2-05 INTERIOR 6 CASA 3 MADRID
 Dpto: CUNDINAMARCA
 Municipio: GIRARDOT
 Tel. fijo/Celular: 3214295583
 Tipo de análisis: Hg-Pb



PROSPERIDAD
PARA TODOS

Número de solicitud

63

2. Información de la muestra

Finca: NO INDICA
 Tipo de agua: RIO
 Tipo de riego: NO INDICA

Fecha de recepción: 2015-12-18
 Fecha de reporte: 2016-01-03

Jamer Ricardo Jiménez. (7882)
 Líder Unidad de Laboratorio
 de suelos

CÓDIGO LABORATORIO	DETERMINACIÓN ANALÍTICA							
	UNIDADES	Mercurio (Hg)		Plomo (Pb)				
		METODOS	mg/l	mg/l				
IDENTIFICACION	VALORES							
A15-15188								
	Concentración	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
	Muestras							
	CAPsHg	0,22	0,6	1,1	3,1	5,1	12,5	19,4
	CAHg	0,47	1,8	3,2	5,3	7	13,25	19,7
	PsHg	0,4	1,5	3,3	5,9	8,5	13,25	19,7
	CAPsPb	0,2	0,58	0,9	2,95	4,9	12,2	19,1
	CAPb	0,44	1,5	3,1	5,1	6,4	13	19,3
	PsPb	0,41	1,5	3	5,25	8,12	13,3	19,1
OBSERVACIONES:								

Los resultados son válidos únicamente para la muestras en referencia
 Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma
 Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA
 KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)

