

El Río Lerma como una referencia para la restauración del Río Bogotá



TRABAJO DE GRADO

RÍO LERMA COMO UNA REFERENCIA PARA LA RESTAURACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ

FERNANDA MANCERA HENAO

TUTOR: JUAN MANUEL GONZÁLEZ GUZMÁN

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2017

RÍO LERMA COMO UNA REFERENCIA PARA LA RESTAURACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ

The Lerma River as a reference for the restoration of the Bogota River

Luisa Fernanda Mancera Henao
Programa ingeniería civil. u1101742@unimilitar.edu.co,
Universidad Militar Nueva Granada

Juan Manuel González Guzmán
Docente investigador Grupo Producción, Innovación y Tecnología,
juan.gonzalez@unimilitar.edu.co,
Universidad Militar Nueva Granada

Resumen

El río Lerma es uno de los ríos más importantes y extensos de México, el cual se ha visto afectado en las últimas décadas por grandes vertimientos de aguas residuales, tanto industriales como domésticas aumentado las concentraciones de metales pesados, debido a esta problemática, en los últimos años se han implementado metodologías de biorremediación y fitorremediación para transformar los metales pesados del afluente a lo largo de la cuenca. Por otra parte, el río Bogotá es uno de los cuerpos de agua más contaminados de Colombia, presentando al igual que el río Lerma altas concentraciones de metales pesados, es por esto que se ha decidido estudiar los resultados obtenidos en México con el fin de formular un método para la recuperación del río Bogotá¹.

Palabras clave: Contaminación hídrica, metales pesados, biorremediación, fuentes de contaminación, fitorremediación.

Abstract

The Lerma River is one of the most important and extensive rivers in Mexico, which has been affected in recent decades by large discharges of untreated wastewater, increasing the concentrations of heavy metals, due to this problem in recent years methodologies have been implemented to transform the heavy metals of the tributary. The Bogotá River is one of the most contaminated water bodies in Colombia, presenting as well as in the river Lerma high concentrations of heavy metals. This is why it has been decided to study the results obtained in Mexico in order to formulate a method for the recovery of the Bogotá River.

Keywords: Water pollution, Heavy metals, bioremediation, sources of pollution, phytoremediation.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una gran preocupación por la contaminación que generan las personas a través de las redes de alcantarillado domésticas, industriales y pluviales en las fuentes hídricas, debido al vertimiento de desechos entre los cuales se encuentran los de tipo inorgánico como los metales pesados, los cuales son agentes contaminantes altamente tóxicos y de gran

dificultad para degradar. Esto, ha hecho que sea necesario implementar técnicas para recuperar estos contaminantes y transformarlos de manera que no afecte las fuentes hídricas y especialmente el medio ambiente.

El río Lerma es uno de los ríos más contaminados en México, puesto que en las últimas décadas se han vertido en él aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento y residuos proveniente de la actividad

¹ Producto derivado del proyecto ING 2099 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la UMNG - Vigencia 2016.

antrópica. Es así que desde la década de los noventa el río presenta muy baja biodiversidad, subsistiendo en él, solamente las plantas acuáticas que resisten a la carga contaminante que allí se presenta. Es por esto que se han indagado diferentes alternativas para el tratamiento del río llegando a la conclusión de implementar sistemas biológicos, utilizando organismos que ayuden a la recuperación como una posible solución [1], proceso conocido como fitorremediación.

De igual manera el río Bogotá, el cual recorre la Sabana de Bogotá, es el río más contaminado de Colombia debido a que en las últimas décadas ha estado expuesto a grandes agentes contaminantes por la industria del cuero en su cuenca alta, afectando la fauna que se encuentra en su cauce. Es por esto que se han realizado estudios a los diferentes agentes contaminantes existentes en el río, entre los que se encuentran el contenido de metales pesados, los cuales generan problemas al medio ambiente y al recurso hídrico [2]

Los metales pesados se pueden transformar siguiendo dos alternativas dependiendo del estado de oxidación en el que se encuentren: una corresponde a la movilización del metal, lo que significa que pasa de un estado insoluble (fase sólida) a un estado soluble, proceso conocido como lixiviación microbiana, y la otra por inmovilización del metal, lo que significa que pasa de un estado soluble a uno insoluble [3]. Esta última fase es la mejor opción para la descontaminación, debido a que los metales se encuentran disueltos a lo largo de la cuenca; ambos procesos de mejoramiento son de tipo de biorremediación.

El objetivo del presente artículo es hacer una revisión de las diferentes fuentes de contaminación y el estado tanto del río Lerma y de esta manera hacer una comparación para poder formular un método para su restauración para el río Bogotá.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Metales Pesados

Los metales pesados están presentes de forma natural en el medio ambiente, aunque algunos son importantes para el desarrollo biológico de algunas especies en el agua en concentraciones altas los metales pesados se pueden convertir en contaminantes, esto sucede usualmente por alteraciones generadas por la actividad antrópica. En general, puede ocurrir en la extracción minera, el

vertimiento de efluentes industriales a cuerpos de agua, refinamiento de metales, el uso de plaguicidas entre otros [4].

2.2. Contaminación Hídrica

Todos los cuerpos de agua se pueden ver afectados por varios tipos de contaminantes, estos, al estar en contacto con el agua, pueden alterar su calidad y composición química, dando lugar a una situación conocida como contaminación del agua o contaminación hídrica, la cual se produce cuando los contaminantes se vierten directa o indirectamente en los cuerpos de agua. Según la Organización Mundial de la Salud el agua está contaminada “cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural” [5].

Los cuerpos de agua también se ven afectados por los residuos domésticos, residuos de las actividades agropecuarias, residuos industriales como aquellos obtenidos en las explotaciones mineras y de la industria manufacturera [6].

2.3. Fuentes de contaminación hídrica

Las fuentes de contaminación se han clasificado según su procedencia en tres grupos:

2.3.1. Fuentes Domésticas:

Son los residuos que provienen de lugares públicos y privados, como por ejemplo las aguas derivadas del uso en las viviendas. Debido al rápido crecimiento de la población en las zonas aledañas a la ciudad, no existen redes que estén conectadas a los sistemas de alcantarillado, por lo que dichas aguas se vierten directamente en los cuerpos de agua por los alcantarillados pluviales [7].

2.3.2. Fuentes Industriales:

La actividad industrial incluye todos los procesos que constituyen desde exploración, explotación, transformación y obtención de productos finales que son dirigidos al consumidor final. Muchas de estas industrias vierten gran cantidad de aguas residuales a los ríos, sin haber realizado un tratamiento previo [7]. En otros casos, estas fuentes generan gran cantidad de contaminantes de tipo químico, los cuales provienen de minas, pesticidas, desechos líquidos industriales y compuestos radiactivos [8]

2.3.3. Fuentes naturales:

Se genera contaminación por el arrastre de materia orgánica en descomposición, así como productos

inorgánicos generados por la erosión en los suelos [7].

2.4. Proceso para tratar aguas residuales

2.4.1. Procesos físicos:

Generalmente son utilizados como pre-tratamiento donde se busca separar sustancias de gran tamaño mediante métodos físicos como es el caso de un desordenador [9].

2.4.2. Procesos químicos:

Los procesos químicos son aquellos donde se eliminan los contaminantes del agua agregando productos químicos, como es el caso de la coagulación y la floculación [9].

2.4.3 Procesos biológicos:

Este proceso se caracteriza por utilizar microorganismos para eliminar componentes solubles del agua, es decir que se aprovecha la capacidad de los microorganismos de absorber los nutrientes disueltos en el agua para su crecimiento y desarrollo. [10].

3. SOLUCIÓN EN LA RECUPERACIÓN HÍDRICA DEL RÍO LERMA

El río Lerma es uno de los ríos más grandes e importantes en México, su extensión abarca aproximadamente el 3% del territorio mexicano con un área de 54.400 Km², su longitud es de 705 km

desde su cuenca alta en el Valle de Toluca hasta su desembocadura en el lago de Chapala [11]. La cuenca del río se encuentra en una zona tropical, con temperatura promedio de 21 °C [12] y una precipitación media anual de 730 mm.

Debido a que la población colindante al río ha crecido en gran medida, se ha generado una gran problemática, pues el río se ha convertido en el receptor final de las aguas residuales y el 64% del total de dichas aguas se vierten sin ningún tipo de tratamiento [13]. Adicionalmente existen cientos de industrias y empresas que rodean el río, que de igual forma vierten grandes cantidades de desechos sin el tratamiento adecuado [12].

El efluente ha contado con una alta carga de contaminantes desde la década de los años ochenta, entre otros los que se encuentran los metales pesados, motivo por el cual se declaró como zona inadecuada para la vida [14]. En la década de los noventa se estimó que la contaminación en la zona había provocado la pérdida de plantas hidrófitas emergidas y sumergidas, así como de la vegetación microscópica [15]. Por estas razones, el cauce presenta baja diversidad biológica y únicamente subsisten la biodiversidad que puede resistir a los niveles de contaminación [16] como por ejemplo: *Berula erecta*, *Eichhornia crassipes*, *Hydrocotyle ranunculoides* *Juncus effusus*, *Lemna gibba* y *Schoenoplectus validus*. [17].

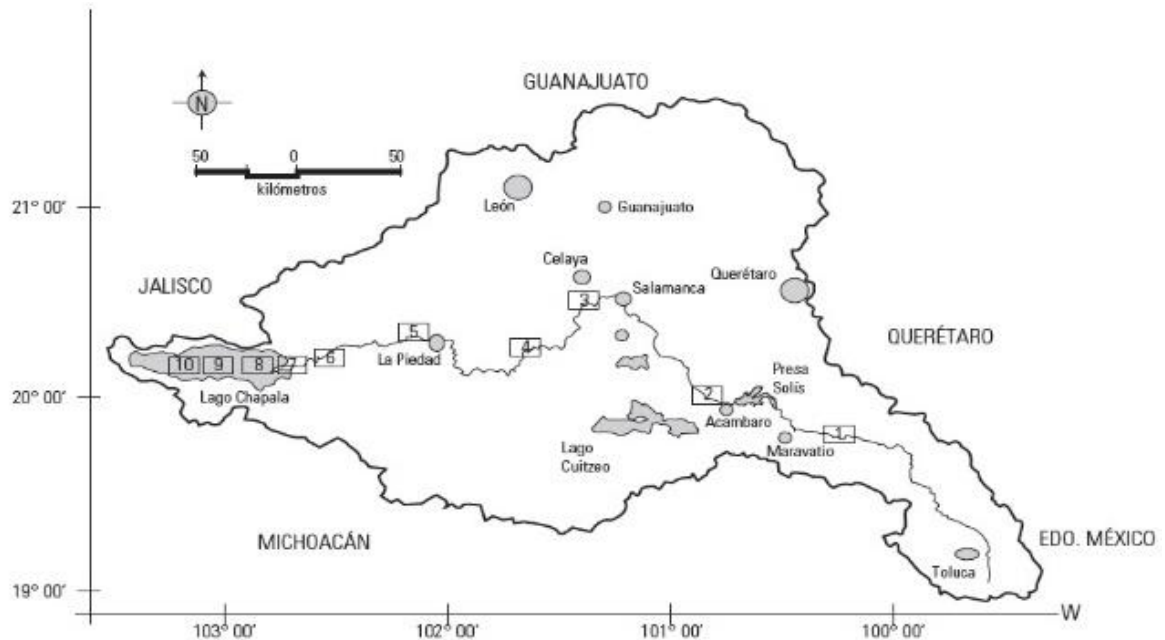


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo a lo largo del curso del río Lerma y lago de Chapala. Fuente: INEGI (1993).

Figura 1. Ubicación río Lerma. Fuente. [18]

Teniendo en cuenta que las industrias manejan una alta cantidad y variedad de contaminantes en sus aguas residuales, que son vertidos en los cauces sin ningún tipo de tratamiento debido al alto costo, ha surgido la necesidad de innovar e investigar en nuevas metodologías para tratar [1].

Procesos biológicos, como la fitorremediación donde se usan plantas acuáticas para acumular contaminantes presentes [19], se ha planteado como un tratamiento alternativo secundario o terciario de aguas residuales. Se ha demostrado que las plantas acuáticas contribuyen a la reducción del Nitrógeno, Fósforo, sólidos suspendidos, metales pesados, entre otros [20].

De acuerdo a lo analizado en el río Lerma el tipo de plantas que pueden ser utilizadas es *Hydrocotyle ranunculoides* o sombrerillo. Esta planta no solo favorece la recuperación del río, sino que es una de las más abundantes en las cercanías de este [21]. Adicionalmente crece en cuerpos de agua con alta

concentración de materia orgánica, nitratos y fósforos [22]. Al implementarla en el río Lerma fue posible identificar su capacidad de bioacumular metales pesados principalmente en las estructuras sumergidas, debido a las necesidades biológicas de la planta y por tanto puede ser utilizada en procesos de fitorremediación. [23].

4. EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN EL RÍO BOGOTÁ, COLOMBIA

El río Bogotá nace en el centro del país, en el páramo de Guacheneque el cual está ubicado en el municipio de Villa Pinzón y recorre cerca de 380 km hasta su desembocadura en el Río Magdalena [24]. En cuanto a las características climatológicas la cuenca presenta precipitaciones entre 400 y 2200 mm anuales, variando en gran medida a lo largo de su recorrido, la temperatura en la cuenca varía entre 9 y 15 °C aunque en los tramos finales puede alcanzar temperaturas de hasta 30 ° [25].

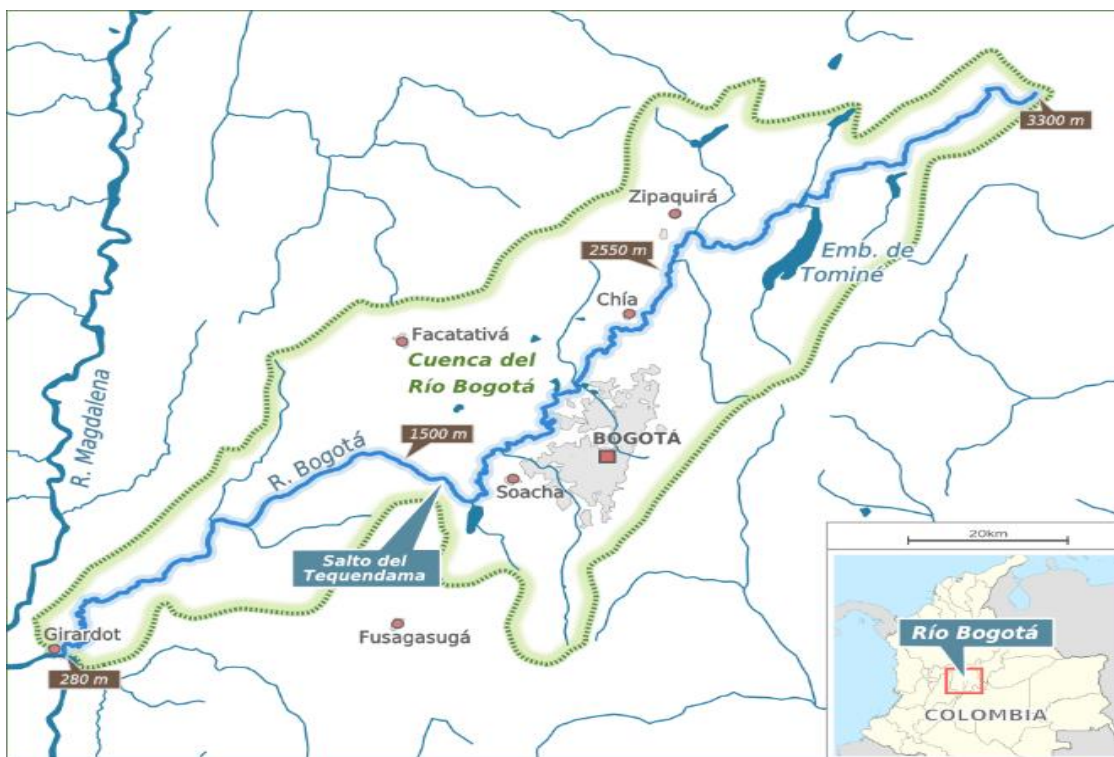


Figura 2. Ubicación río Bogotá. Fuente. [26]

Desde la cuenca alta del río Bogotá hasta su desembocadura, el río cuenta con grandes aportes de aguas residuales, lo que hace que el río tenga altos niveles de contaminación biológica, química y física, representando grandes riesgos para la salud de los habitantes que se encuentran en su cuenca. En la cuenca alta y media, la calidad del agua se ve afectada por 640 vertimientos, de los cuales el 70% provienen de industrias, 10% son de origen agrícola y pecuario, 18% alcantarillados y el 2% restante de plantas de tratamiento municipales. La cuenca baja maneja todo el vertimiento de aguas residuales domésticas las cuales contaminan en gran parte por el manejo de detergentes [25].

Diagnostico general:

La calidad del agua en el río es continuamente monitoreada, cuenta con 24 puntos de control donde se realizan muestreos que caracterizan el agua.

Entre la desembocadura del río Juan Amarillo y Alicachín (embalse del Muña) la contaminación es alta, alcanzando una DBO con valores de 143 mg/l y carga orgánica de 403 ton O₂/día, adicionalmente el cauce se encuentra contaminado por sustancias tóxicas, como los metales pesados: Cadmio, Cromo Y Plomo. [27].

La contaminación del río Bogotá va en aumento, teniendo en cuenta lo siguiente: “entre 1991-1996 la DBO₅ aumentó en 125% aguas abajo del Juan Amarillo y en 53% agua abajo del Tunjuelo, mientras que, aguas arriba del Juan Amarillo, frente a la localidad de Suba, la contaminación orgánica se incrementó entre 167% y 239%, debido a las descargas de aguas negras de los desarrollos del este sector”. [28].

Debido al monitoreo constante a lo largo del río Tunjuelo, afluente del río Bogotá, se identificó que la presencia de metales pesados ha incrementado debido a la cantidad de industrias que se encuentran en Bogotá, siendo el Cromo el metal con mayor presencia, por ello, es de vital importancia controlar la contaminación por metales pesados [29].

TABLAS COMPARATIVAS PARAMETROS

RIO BOGOTA

RIO LERMA

Campana de Muestreo		Parámetros fisicoquímicos						
		DQO	DBO	PT	NT	Anilinas	SAAM	Fenoles
Sequia		-0.082	0.122	0.004	0.327	-0.051	0.083	0.033
Lluvia		0.251	0.295	0.293	0.072	-0.011	-0.142	-0.086

Campana de Muestreo		Metales Pesados							
		Al	As	Cu	Cr	Fe	Hg	Mn	Zn
Sequia		-0.200	0.352	-0.091	-0.236	-0.171	-0.042	-0.204	-0.157
Lluvia		0.0340	-0.032	-0.025	-0.032	-0.029	-0.260	-0.073	-0.261

Metal	Campana de muestreo	Q1 (mg L ⁻¹)	Mediana (mg L ⁻¹)	Q3 (mg L ⁻¹)	Máximo (mg L ⁻¹)	Valor de referencia ¹ (mg L ⁻¹)
Al	S*	0.138	0.770	2.088	7.400	5.0 ^{oe}
	L	ND	ND	0.103	4.780	
As	S*	0.010	0.010	0.013	0.030	0.2
	L	ND	ND	0.002	0.020	
Cr	S*	ND	0.010	0.010	0.460	1.0
	L	ND	ND	0.010	0.010	
Cu	S*	ND	0.013	0.040	0.110	4.0
	L	ND	ND	0.006	0.100	
Fe	S*	0.260	0.765	2.240	8.860	5.0 ^{oe}
	L	ND	ND	0.288	3.790	
Hg	S*	ND	0.001	0.001	0.004	0.01
	L	ND	ND	0.002	0.003	
Mn	S*	0.030	0.050	0.133	1.010	—
	L	ND	ND	0.042	0.440	
Zn	S*	0.478	0.100	0.152	0.560	10.0
	L	ND	0.002	0.045	0.460	

Parámetro	Cuenca				
	Alta - Superior	Alta - Inferior	Media	Baja - Superior	Baja - Inferior
DBO (mg/L)	20-70	70-150	200-270	100-200	100-200
SST (mg/L)	20-100	20-100	100-200	+200	100-200
OD (mg/L)	+6	2-6	0-2	4-6	0-2
C. Totales (NMP/100 ml)	10 ³ - 10 ⁵	10 ³ - 10 ⁵	10 ⁵ - 10 ⁹	10 ⁵ - 10 ⁹	10 ⁵ - 10 ⁸
Cadmio (mg/L)	0.003	0.000	0.003	0.008	0.009
Cromo (mg/L)	0.021	0.005	0.041	0.050	0.033
Níquel (mg/L)	0.016	0.016	0.029	0.050	0.028
Plomo (mg/L)	0.025	0.019	0.032	0.034	0.034

Fuente: Estudio "Propuesta de Metodología para la determinación de los objetivos de calidad de la cuenca del río Bogotá" CAR, 2006

Figura 3

5. METODOLOGÍAS DE RECUPERACIÓN

Como los metales pueden transformarse dependiendo del estado de oxidación en el que se encuentre permitiendo la movilización o inmovilización del metal, a continuación se detallan algunos métodos de recuperación de fuentes hídricas afectadas por estos [3]:

5.1. Fitorremediación:

La fitorremediación es un proceso biológico el cual se beneficia de la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el agua como los metales pesados, esto, cuando se llevan a cabo los mecanismos fisiológicos básicos de las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición [19].

La fitorremediación se puede manejar como una herramienta de contención, como por ejemplo la fitoestabilización. Esta permite disminuir la afectación de contaminantes en el suelo a través de la absorción y acumulación de estos por las raíces de las plantas, evitando su migración a las aguas subterráneas o al aire [30], siendo más efectiva en suelos de textura fina con alto contenido de materia orgánica [31]. Se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial, además tiene como

Figura 4

ventajas sobre otros métodos de remediación de suelos como: menor costo, fácil de aplicar y estéticamente agradable. [19].

5.2. Biotransformación:

Este proceso implica cambios químicos sobre el metal pesado, ya sea en el estado de oxidación o metilación, dando como resultado compuestos menos solubles [32].

En la biotransformación se utilizan microorganismos para transformar contaminantes en los ecosistemas, utilizando las propiedades catabólicas de los microorganismos para su [3], por lo cual debe tener una afinidad por los metales pesados, sin que estos sean tóxicos, de lo contrario causarían la muerte del microorganismo.

5.3 Biolixiviación:

La biolixiviación se da por medio de la acción microbiana, el microorganismo usa el metal como alimento, utilizando la transferencia de electrones para su beneficio liberando metales sin necesitar energía externa.

Es un proceso que cuenta con grandes ventajas, puesto que es económico, no deteriora el medio ambiente y permite la recuperación de metales a partir de minerales. [33].

5.4 Biosorción:

Este proceso aprovecha las propiedades de determinados tipos de biomasa, material orgánico de origen vegetal o animal, los cuales acumulan contaminantes. [34]. Este proceso se puede llevar a cabo por métodos fisicoquímicos, como la adsorción y el intercambio iónico.

Esta metodología tiene dos fases, una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente) el cual contiene las sustancias disueltas que van a ser sorbidas [35].

CONCLUSIONES

El Río Lerma y el Río Bogotá son dos cauces importantes que tienen una problemática en común, la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales sin tratar, la cual ha generado con el paso de los años, la pérdida de la mayor parte de la biodiversidad, y por lo cual se ve la necesidad desarrollar procesos de recuperación de los cauces, como es el caso del Río Lerma, en el cual se ha implementado una metodología de remediación biológica, la fitorremediación, la cual involucra cierto tipo de plantas y aprovecha su capacidad de absorber, acumular o estabilizar contaminantes como los metales pesados, de forma rápida y económica.

El problema de contaminación que actualmente tiene el Río Bogotá, necesita de soluciones que sean efectivas, económicas y que se puedan emplear sin ningún tipo de inconveniente a lo largo del río, es por esto que teniendo en cuenta los procesos llevados a cabo en el Río Lerma, en México, y verificando los resultados obtenidos con la fitorremediación, se puede decir que este proceso biológico, se podría llevar a cabo en el Río Bogotá, para estabilizar contaminantes como los metales pesados, obteniendo muy buenos resultados, en muy poco tiempo y a un costo relativamente bajo.

REFERENCIAS

[1] Ambiental, I. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Revista Química Viva*.

[2] Barton, C., Marx, D., Adriano, D., Jun-Koo, B., Newman, L., Czapka, S., Blake, J. 2005. Phytostabilization of a landfill containing coal combustion waste. *Environmental Geosciences*. 12: 251-265.

[3] Bueno S., López A. & Márquez M. (1980). Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del río Lerma. *Anales del Instituto de ciencias del mar y limnología*, UNAM, México.

[4] Biosorción, una alternativa para reducir la contaminación. (2015). recuperado <http://prometeo.educacionsuperior.gob.ec/biosorcio-n-una-alternativa-para-reducir-la-contaminacion/>

[4] Celis J., Junod J. y Sandoval M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoría, Ciencia, Arte y Humanidades* 14, 17-25.

[5] Cañizares-Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *REVISTA LATINOAMERICANA DE MICROBIOLOGÍA-MÉXICO-*, 42(3), 131-143.

[6] De Cundinamarca, C. A. R. (2012). Río Bogotá Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental. *Corporación Autónoma Regional CAR. Evaluación Ambiental y Plan de Gestión Ambiental* versión final.

[7] Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

[8] Diagnóstico cuenca del Río Lerma. (2015). Comisión de la cuenca del Río Lerma Gobierno del estado de México. Recuperado de: <http://cuencalerma.edomex.gob.mx/diagnostico>

[9] Forero, A. R., Mantilla, J. F. G., & Martínez, R. S. (2009). Accumulation of lead, chromium, and cadmium in muscle of capitán (*Eremophilus mutisii*), a catfish from the Bogotá River basin. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 57(2), 359-365.

[10] Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. *Ingeniería Hidráulica en México*, 10(3), 55-69.

[11] Instituto nacional de ecología y cambio climático (INECC), Gobierno del estado de México.

Recuperada en: (<http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>)

[12] Israde Alcántara, I., García, V. S., Mejía, N. A., Ector, L., Uriza, E. C., & Cantú, M. M. (2006). Diatomeas del río Lerma, estimación de la calidad del agua de un río fuertemente contaminado. Resultados preliminares.

[13] López-Hernández, Martín, Ramos-Espinosa, María Guadalupe, & Carranza-Fraser, Jorge. (2007). Análisis multimétrico para evaluar contaminación en el río Lerma y lago de Chapala, México. *Hidrobiológica*, 17(Supl. 1), 17-30. Recuperado en 31 de enero de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01888972007000400003&lng=es&tling=es

[14] OMS. Recuperado de <http://www.who.int/es/>

[15] Padmavathiamma, P. K., Li, L. Y. 2007. Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*. 184: 105-126.

[16] Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2003). El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis. Universidad Autónoma de Baja California. Ed. Plaza y Valdés, México.

[17] Pérez Preciado A. (EPAM LTDA), 1996. "(Perfil ambiental de Santafé de Bogotá)". Corporación Misión Siglo XXI.

[18] Pérez, G. S. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economía y Desarrollo*, 1(1), 80-98.

[19] Pérez Preciado A. El problema del río Bogotá en el informe del libro: Bogotá-Cundinamarca: expansión urbana y sostenibilidad. CAR. 2000.

[20] Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. (2006). Alcaldía de Bogotá.

[21] Río Bogotá, descripción del Río. (s.f). Instituto de estudios urbanos. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <https://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/011211.htm>.

[22] Rodríguez, Y., Blázquez, M. L., Ballester, A.,

González, F., & Muñoz, J. A. (2001). La biolixiviación al comienzo del siglo XXI. *Revista de metalurgia*, 37(5), 616-627.

[23] Singh, O. V., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R., & Jain, R. K. (2003). Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61(5-6), 405-412.

[24] Soto, C., Gutiérrez, S., Rey-León, A., & González-Rojas, E. (2010). Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo. *NOVA*, 8(14).

[25] Tratamiento biológico de aguas residuales. (Sin fecha). Recuperado de <http://blog.condorchem.com/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>.

[26] Tratamientos químicos en la depuración de aguas. (Sin fecha). Recuperado de <https://quimica-biologia-12-13.wikispaces.com/Tratamientos+qu%C3%ADmicos+en+la+depuraci%C3%B3n+de+aguas>.

[27] Valdivia-Barrientos, M., Poblano-Bata J., Zarazúa Ortega G., Ávila-Pérez P., Tejeda-Vega S., Ortiz-Ontiveros H., Arredondo-Huitrón S. "Estimación de la biomasa de plantas acuáticas del Curso Alto del Río Lerma", (2011).

[28] Valdivia M. (2011). Evaluación de la capacidad fitorremediadora a metales pesados de una especie vegetal del Curso Alto del Río Lerma. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, México.

[29] AMBIENTAL, I. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Revista Química Viva*.

[30] Warriar, R. R. and Saroja, S. (2008): Histochemical studies on water hyacinth with particular references to water pollution. *International Journal of Integrative Biology*, 3(2):96-99.

[31] Wang W., Gorsuch W. y Huges J. (1997). Plants for environmental studies. Lewis Publishers. New York, EUA. 563p.

[32] Zarazúa, G. (2008). Evaluación de las contribuciones naturales y antropogénicas de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb y su distribución en el agua y sedimento en el Curso Alto

del Río Lerma (Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México).

[33] Zarazúa, G., Avila, P., Tejeda, S., Valdivia, B., Macedo, M., & Zepeda, G. (2013). Evaluation of the heavy metals Cr, Mn, Fe, Cu, Zn and Pb in water pennywort (*Hydrocotyle ranunculoides*) from the upper course of the Lerma River, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(2), 17-24.

[34] Figura 1. López-Hernández, M., Ramos-Espinosa, M.G., & Carranza-Fraser, J. (2007). Análisis multimétrico para evaluar contaminación en el río Lerma y lago de Chapala, México. *Hidrobiológica*, 17, 17-30.

[35] figura 2. Recuperado de <http://mtssc.com/index.php/enlaces/diagnostico-del-rio-bogota/37-mapa-del-rio-bogota>.

36. Figura 3: Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E. M., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., & Avelar-González, F. J. (2011). Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río san pedro en el estado de Aguascalientes. *Universidad y ciencia*, 27(1), 17-32.

37 figura 4
<http://www.hannacolombia.com/blog/item/340-contaminacion-del-rio-bogota>