

Fitorremediación de aguas contaminadas con componentes de amalgama de la preclínica de odontología de la Universidad Antonio Nariño, Ibagué (Colombia)

Guiselle Negover Briñez Vásquez 1
 Carlos Eduardo Solano Aconcha 2
 Juan David Sandoval Echavarría 3
 Angie Lorena Rojas Lomelin 4
 Gilberto Agudelo Jiménez 5

Phytoremediation of contaminated water with amalgam components of the preclinical dentistry of the Universidad Antonio Nariño, Ibagué Colombia

RESUMEN

Objetivo: remover componentes de amalgama de aguas contaminadas mediante fitorremediación. **Métodos:** se llevó a cabo un estudio descriptivo retrospectivo, en que fueron recolectados 12 litros de aguas de remoción de obturaciones de amalgama en 144 dientes artificiales en la preclínica de odontología. Se analizó agua sin fitorremediar (control), y se mantuvieron ocho litros para fitorremediación en el Laboratorio de Ciencias Básicas y un análisis semanal con dos especies de plantas acuáticas: *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*. Mediante espectrofotometría de absorción atómica, se determinó la concentración de metales pesados en miligramos por litro. El análisis se llevó a cabo mediante estadística descriptiva, comparación con prueba t y ANOVA de una vía con el complemento de Excel XLSTAT. **Resultados:** tras el proceso, el porcentaje estimado de remoción de componentes de amalgama fue superior al 50%. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0.05$; $g l = 11$; $p = 0.4269$). **Conclusiones:** se logró la remoción parcial de componentes de amalgama de aguas contaminadas a través del proceso de fitorremediación.

Palabras clave: agua; amalgama dental; contaminantes del agua; purificación del agua; mercurio.

ABSTRACT

Objective: remove amalgam components from contaminated water by phytoremediation. **Methods:** a retrospective descriptive study was carried out, in which 12 liters of amalgam filling removal water were collected in 144 artificial teeth in the preclinical dentistry. Water was analyzed without phytoremediation (control), and eight liters were maintained for phytoremediation in the Laboratory of Basic Sciences and a weekly analysis with two species of aquatic plants: *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*. The concentration of heavy metals in milligrams per liter was determined by atomic absorption spectrophotometry. The analysis was carried out using descriptive statistics, comparison with t-test and one-way ANOVA with the Excel XLSTAT add-in. **Results:** after the process, the estimated removal percentage of amalgam components was greater than 50%. There were no statistically significant differences between treatments ($\alpha = 0.05$; $g l = 11$; $p = 0.4269$). **Conclusions:** the partial removal of amalgam components from contaminated water was achieved through the phytoremediation process.

Key words: water; dental amalgam; water pollutants; water purification; mercury.

1 Bióloga. Magíster en Ciencias Biológicas. Docente Universidad Antonio Nariño Sede Ibagué, Colombia.

Contacto gbrinez@uan.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-5967-8057>

2 Odontólogo. Magíster en Salud Pública. Docente Universidad Antonio Nariño Sede Ibagué, Colombia.

Contacto carlos.solano@uan.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-7871-9280>

3 Odontólogo. Universidad Antonio Nariño Sede Ibagué, Colombia

Contacto juasandoval@uan.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-4341-4487>

4 Odontóloga. Universidad Antonio Nariño Sede Ibagué, Colombia

Contacto lomelin.95@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2275-9029>

5 Odontólogo. Universidad Antonio Nariño Sede Ibagué, Colombia

Contacto beto1925@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8852-8883>

CITACIÓN SUGERIDA

Briñez Vásquez G, Solano Aconcha C, Sandoval Echavarría J, Rojas Lomelin A, Agudelo Jiménez G. Fitorremediación de aguas contaminadas con componentes de amalgama de la preclínica de odontología de la Universidad Antonio Nariño, Ibagué Colombia. *Acta Odontol Col* [en línea] 2019 [fecha de consulta: dd/mm/aaaa]; 9(2): 59 - 70. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actaodontocol/article/view/79359>

DOI <https://doi.org/10.15446/aoc.v9n2.79359>

Recibido	Aprobado	Publicado
27/04/2019	28/06/2019	15/07/2019



Introducción

La presencia de metales pesados —tales como mercurio, plata, cobre, y estaño— en las amalgamas dentales surge como un tema imperioso en salud pública, pues los pacientes se exponen a ellos inadvertidamente para obtener los beneficios de las obturaciones en este tipo de material. Sin embargo, los riesgos que el uso de estos metales conlleva para el paciente, para el personal de salud y para el ambiente resultan difíciles de ponderar.

Según Tabea (1826), una amalgama dental originalmente se constituía por una combinación simple de plata y mercurio —llamada en ese entonces “pasta de plata”—, y era utilizada para hacer restauraciones permanentes. Esta combinación ha sido un material de uso frecuente en odontología durante los últimos 150 años, a pesar de los riesgos y las controversias que han sido descritos en relación con su composición (1).

Sin embargo, desde su fundación —en 1859—, la Asociación Dental Americana (ADA) tuvo entre sus principios defender el uso de la amalgama dental como un material de obturación seguro (2). Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó en 2005 un documento en el cual sostiene que el mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por mercurio se produce en el agua debido a que allí el metal-mercurio se acumula en grandes concentraciones y niveles más elevados (3). Finalmente, en septiembre de 2006, la Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos convocó a una reunión para incluir el uso del mercurio en las amalgamas entre las preocupaciones en salud (3).

La fitorremediación es un proceso mediante el cual se remueven, se reducen, se transforman y se estabilizan contaminantes, en suelos y en aguas, a través de las plantas. Algunas de ellas utilizan sus raíces, sus tallos o sus hojas para realizar tal proceso, que tiene lugar por medio de reacciones químicas propias del metabolismo de aquellas (4). El concepto de fitorremediación empezó a surgir con propiedad hacia la década de 1990 con los desarrollos de Ilya Raskin (5); y, en 2011, Alejandro Mentaberry, al describir algunas alternativas actuales para eliminar la contaminación por metales pesados, sugiere la fitorremediación como una de las soluciones más efectivas y de menor costo (6).

Debido a la toxicidad de los metales que componen la amalgama —y, en especial, la del mercurio— y al impacto ambiental que generan sus residuos, se han realizado estudios en diferentes países del mundo —Pakistán (7), Brasil (8), Venezuela (9), e Irán (10)— en los que se concluye que existe correlación entre los desechos de amalgama dental generados en los consultorios odontológicos y la contaminación de las aguas con metales que se desprenden de tales amalgamas encontrada en cada uno de estos lugares. Estos estudios también mencionan que gran cantidad de los malos manejos de estos desechos ocurren por inobservancia de las normas establecidas por las disposiciones emitidas sobre la materia, tales como la ley de agua limpia —promulgada por la United States Environmental Protection Agency (EPA) (12)—, el Convenio de Minamata (13), y las estipulaciones formuladas tanto por la OMS (11) como por la Asociación Dental Americana (14). En México, se comprobó que los niveles de mercurio en las aguas residuales de las clínicas odontológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México sobrepasan los límites permitidos por la legislación mexicana (15).

En Colombia, el manejo de los residuos de metales pesados en los distintos sitios donde son utilizados (16), incluidos los consultorios odontológicos (17), está reglamentado. Sin embargo, según un estudio realizado en Antioquia, el porcentaje de incumplimiento de estas disposiciones se encuentra alrededor del 50% (18).

La contaminación de las aguas residuales por la presencia de metales pesados constituye un grave problema ambiental debido a la toxicidad de estos y a sus repercusiones fisiológicas tanto en seres humanos como en animales. Por este motivo, debería evitarse que la amalgama llegue a estas aguas y produzca metal-mercurio (MeHg), ya que es un elemento neurotóxico (17).

En la Universidad Antonio Nariño, Sede Ibagué, los residuos de las amalgamas dentales removidas en la preclínica eran desechados sin tener en cuenta las implicaciones ambientales derivadas. Por ello, fue necesario llevar a cabo un estudio orientado a conocer la cantidad de metales pesados presentes en las aguas residuales de las mismas y su concentración; y, sobre todo, a determinar el porcentaje de remoción de tales metales que puede alcanzarse a través de fitorremediación —alternativa ecológica para el manejo de residuos que emerge como posible solución al problema planteado—.

Métodos

Se llevó a cabo un estudio descriptivo, retrospectivo realizado entre septiembre y octubre de 2016 en la Universidad Antonio Nariño, Sede Ibagué. Para la realización de esta investigación fueron necesarios los siguientes pasos:

1. Recolección de macrófitas acuáticas utilizadas: se recolectaron dos especies, a saber, *Eichhornia crassipes* —o “buchón de agua”— y *Pistia stratiotes* —o “lechuga de agua”—. Se recolectó, además, agua en sus respectivos hábitats, los cuales generalmente son aguas tranquilas o en ligero movimiento (19). Las dos especies escogidas son capaces de descontaminar aguas residuales con metales pesados (20).
2. Recolección de dientes artificiales y remoción de amalgama dental: se tomaron 144 dientes artificiales encontrados en modelos articulados con bisagra. Estos dientes presentaban obturaciones con amalgama en cavidades Black tipo I y II. En la preclínica de la Universidad Antonio Nariño, Sede Ibagué, se procedió a retirar dichas obturaciones con fresa redonda de carburo y pieza de alta velocidad.
3. Envío de muestras de agua para análisis antes del proceso de remediación: se enviaron dos muestras de aguas recolectadas de los hábitats de cada una de las plantas y una muestra de agua residual de amalgama dental. Tales muestras fueron enviadas al laboratorio Chemical Laboratory CHEMILAB S.A.S. en Bogotá (Colombia), de acuerdo con una guía de preservación y envío de muestras facilitada por el laboratorio. Esta guía exige que las muestras sean enviadas en recipientes nuevos —de plástico o de vidrio— de un litro de capacidad, aciduladas con ácido nítrico (HNO₃), con un pH inferior a 2, y refrigeradas. Cada muestra debe ser rotulada, embalada y enviada junto a un Formato de Preservación de Muestras para Análisis, brindado también por el laboratorio (21).

Se cumplió con el protocolo de conservación y envío de muestras al laboratorio en mención: se utilizaron botellas plásticas de 1 litro, las muestras fueron acidu-

ladas, rotuladas, embaladas, y enviadas en una nevera de poliestireno expandido hasta CHEMILAB, donde fueron analizadas. El método de análisis implementado para cada muestra se describe en el inciso f.

4. Remediación de aguas residuales provenientes de la remoción de amalgama dental: en el Laboratorio de Ciencias Básicas se acondicionaron las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en recipientes de plástico de 40 cm x 30 cm x 10 cm, donde se dispusieron junto con las aguas residuales que serían objeto de descontaminación. Las aguas se mantuvieron durante 20 días con el fin de evitar la evaporación de las muestras.
5. Envío de muestras de agua para análisis durante y después del proceso de remediación: con el propósito de verificar en cada período la eficacia del proceso de depuración de contaminantes, se realizó el envío de muestras a CHEMILAB S.A.S., en observancia del mismo protocolo descrito en el inciso c., con una periodicidad semanal (aproximadamente).
6. Análisis de muestras: las muestras fueron analizadas de acuerdo con los métodos estandarizados utilizados por CHEMILAB, los cuales están acreditados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (22). Tales métodos se describen a continuación: para matriz agua, el análisis de Cobre Total, Estaño Total y Plata Total se realizó mediante Digestión Ácido Nítrico-Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama directa Aire-Acetileno, método SM 3030 E modificado, 3111B; el análisis de Mercurio Total se realizó mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica- Vapor frío, método SM 3112B (22). Estos métodos son referenciados en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA-AWA-WEF, 21st edition 2005, y Environmental Protection Agency- USEPA (22).
7. Obtención de resultados y análisis de datos: CHEMILAB envió los resultados de los análisis vía correo electrónico. Para el análisis de los datos, se utilizó estadística descriptiva por medio de análisis de normalidad, medias y varianzas, realizado a través del complemento XLSTAT de análisis estadístico para Excel, y se llevó a cabo un análisis ANOVA por medio del programa estadístico PAST, los dos de acceso libre.

Consideraciones éticas

Según el Artículo 11 de la Resolución N° 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia (23), el presente estudio fue clasificado como una investigación de riesgo mínimo. Adicionalmente, este estudio contó no solo con el aval del Comité de Ética de la Universidad Antonio Nariño, sino también con las autorizaciones respectivas para el acceso a los Laboratorios de Preclínica y de Ciencias Básicas de la mencionada institución. Esta investigación no se llevó a cabo con las aguas residuales de amalgamas realizadas en seres humanos debido a que estas suponen varias restricciones y limitaciones en cuanto a bioseguridad y almacenamiento; por ello, se decidió trabajar con modelos dentales.

Resultados

De acuerdo a la Resolución N° 0631 del 07 de marzo 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Capítulo VI, Artículo 14, se encuentran las concentraciones límites permisibles en aguas residuales de consulta odontológica general y especializada, para los metales pesados mercurio y cobre, las cuales son establecidas en miligramos por litro (mg/L): para mercurio es de: 0,01 mg/L; para cobre es de: 1,0 mg/L (24); en la anterior resolución no se observa una concentración máxima permisible para plata y estaño, por lo que se tomó de referencia el límite de cuantificación de dichos metales utilizado por el laboratorio: para metal plata es de 0,05 mg/L; y para estaño es de 1,0 mg/L.

Estos valores fueron tenidos en cuenta para el análisis de los resultados. En la Tabla 1 se describen las concentraciones de metales pesados encontradas antes del proceso de fitorremediación.

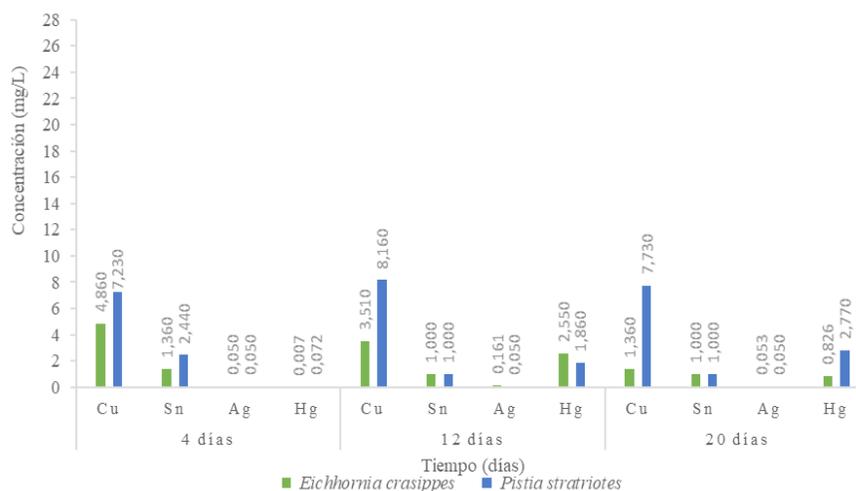
Tabla 1. Estadística descriptiva de las concentraciones de metales pesados encontradas antes del proceso de fitorremediación.

Metal pesado	Símbolo	Concentración (mg/L)			
		Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	Desviación estándar
Cobre	Cu	3,140	0,100	0,860	1,520
Estaño	Sn	1,000	1,000	1,000	0
Plata	Ag	0,050	0,050	0,050	0
Mercurio	Hg	0,006	0,001	0,002	0,002

De acuerdo con los valores relacionados en la Tabla 1, las mediciones antes del inicio del proceso de fitorremediación permitieron determinar que la concentración de cobre superó el valor máximo permisible en aguas residuales establecido por la legislación colombiana (24), mientras que los demás metales pesados considerados —mercurio, plata y estaño— se mantuvieron dentro de los límites permisibles referidos.

Durante y después del proceso de fitorremediación, las concentraciones de metales pesados obtenidas de las aguas en estudio se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Concentración de metales pesados en aguas de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* durante y después del proceso de fitorremediación.



Como se puede observar, el proceso de fitorremediación varió según la especie de planta. Por una parte, los metales tratados con *Pistia stratiotes* exhibieron el siguiente comportamiento: el cobre mostró cambios mínimos con respecto a la concentración obtenida en las aguas estudiadas hasta los 20 días, el metal plata mantuvo su concentración en los valores mínimos de cuantificación; el estaño vio disminuida su concentración con el paso de los días y se mantuvo en los valores mínimos evaluables; y el mercurio mostró un incremento en su concentración hasta el día 20.

Por otra parte, los metales tratados con la planta *Eichhornia crassipes* se comportaron de la siguiente forma: el cobre vio disminuida su concentración en las aguas tratadas hasta los 20 días, el metal plata mostró una concentración intermitente, pues esta aumentó en el día 12 —con respecto al día 4—, disminuyó el día 20; el estaño aquí también vio disminuida su concentración con el paso de los días y el mercurio vio aumentada su concentración hasta el día 12, que disminuyó desde entonces hasta el día 20.

Si bien algunas concentraciones alcanzadas por los metales pesados superan los límites máximos establecidos para aguas residuales mencionados al comienzo de este apartado, se pudo evidenciar que, en el caso del mercurio y el estaño, dichas concentraciones disminuyeron al final del tratamiento con respecto a los valores iniciales encontrados; mientras que las concentraciones de cobre y plata se comportaron de manera inestable a lo largo del tratamiento, evidencia que se discutirá más adelante.

Tanto los valores máximos y mínimos de las concentraciones de los metales pesados estudiados en aguas tratadas con las dos plantas propuestas como los promedios de las concentraciones y la desviación estándar durante y después del tratamiento de fitorremediación se pueden observar en la Tabla 2. El porcentaje de efectividad de remoción de cada metal pesado evaluado se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2. Estadística descriptiva de las concentraciones de metales pesados en aguas de *Eichornia crassipes* y *Pistia stratiotes* después del proceso de fitorremediación.

Metal pesado	Pistia stratiotes		Eichornia crassipes	
	±DS (mg/L)	Máx.-Mín. (mg/L)	±DS (mg/L)	Máx.-Mín. (mg/L)
Cu	7,706-0,379	8,160-7,230	3,123-1,428	4,860-1,360
Sn	1,360-0,720	2,440-1,000	1,090-0,180	1,360-1,000
Ag	0	0,050-0,050	0,161-0,155	0,161-0,050
Hg	1,567-1,120	2,770-0,072	0,887-1,1634	2,550-0,007

Tabla 3. Porcentaje de efectividad de remoción de metales pesados para las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*

Metal pesado	Pistia stratiotes		Eichornia crassipes	
	Máx.-Mín. (mg/L)	Efectividad	Máx.-Mín. (mg/L)	Efectividad
Cu	8,160-7,230	11,398%	4,860-1,360	72,017%
Sn	2,440-1,000	59,017%	1,360-1,000	99,927%
Ag	0,050-0,050	0%	0,161-0,050	68,945%
Hg	2,770-0,072	97,401%	2,550-0,007	99,126%

Se debe tener en cuenta que, como puede apreciarse en la Tabla 3, el cálculo del porcentaje de remoción de mercurio, plata, cobre y estaño para cada una de las especies utilizadas en el proceso de fitorremediación se realizó a partir de los valores máximos y mínimos de las concentraciones encontradas en dicho proceso.

De acuerdo con la anterior estimación, las dos plantas utilizadas en esta investigación fueron efectivas hasta el día 20 de tratamiento para disminuir las concentraciones de mercurio, estaño, plata y cobre en aguas residuales, a pesar de la inestabilidad del comportamiento de las concentraciones de los metales cobre y estaño, fenómeno explicado más adelante. En la Tabla 4 se relaciona el resultado de la prueba estadística utilizada.

Tabla 4. Resultado prueba ANOVA en programa estadístico PAST.

Varianza	Suma de cuadrados	df	Cuadro medio	F	P(suma)
Entre grupos	22,3708	2	11,1854	0,9371	0,4269
Dentro del grupo	107,428	9	11,9365		
Total	129,799	11			
α	0,05				

De acuerdo con la prueba aplicada en el análisis estadístico, con un valor de P igual a 0,429 ($\alpha = 0,05$; $g = 11$), se considera que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los porcentajes de remoción de metales pesados en los dos tratamientos. Esto significa que los resultados obtenidos en los dos tratamientos sugieren que no hay una planta que realice el proceso de remoción mejor que la otra.

Discusión

Los odontólogos y demás profesionales de la salud están en la obligación de preservar los recursos naturales, así como también de reducir el impacto ambiental causado por los desechos tóxicos que generan sus procedimientos. En este contexto, cualquier esfuerzo o acción orientada a reducir o evitar el daño ambiental resulta pertinente.

La investigación realizada por González Arreaga *et al.*, determinó que los niveles de mercurio presentes en el agua residual proveniente de remoción de amalgamas dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional Autónoma de México, superan los límites establecidos por la legislación mexicana. Este estudio fue realizado con pacientes en las clínicas odontológicas de la Facultad, y se analizaron las muestras en dos grupos: mercurio en sedimento y mercurio disuelto en agua (15). En contraste, la presente investigación estudió muestras de agua recolectada de dientes artificiales, y se analizó el mercurio total en agua; análisis que arrojó concentraciones superiores a los valores máximos permisibles para aguas residuales establecidos por la legislación colombiana. Sin embargo, también se pudo evidenciar la disminución de la concentración no solo de mercurio, sino también de los demás metales pesados considerados —plata, cobre y estaño—, generada a través del proceso de fitorremediación.

En un estudio realizado en Perú se señala que la efectividad de remediación de cobre al utilizar la planta *Pistia stratiotes* es del 70% en seis horas, en un proceso realizado en piscinas de vidrio y análisis de aguas por medio de espectrofotometría. La remediación se logra al modificar una serie de condiciones en las que la planta puede mantenerse viva y llevar a cabo el proceso de remediación. De ellas, la condición más importante es el pH del agua, el cual debe ser igual a 5 para que la planta lleve a cabo la remediación del metal sin afectar su metabolismo —pues las enzimas que hacen parte de la planta no soportan un pH inferior a 4, con el cual los procesos celulares más importantes se ven afectados (25)—.

Además, un estudio realizado en Chile menciona que el cobre en agua puede remediarse en un período corto mediante la modificación de las condiciones en que se encuentra, como lo es el pH del agua. No obstante, el cobre puede aumentar su concentración de manera significativa con el transcurso del tiempo, por lo que sería necesario realizar un proceso de filtración para así aumentar la efectividad del tratamiento (26).

En el presente estudio, a pesar de que las aguas se mantuvieron en recipientes plásticos y fueron analizadas mediante espectrofotometría, durante la realización del proceso no se llevó un control del pH de las aguas residuales de amalgama dental ni la filtración de los sedimentos remanentes, previo al protocolo de análisis. Así, es posible que los problemas que tuvieron las plantas utilizadas para remediar las concentraciones de cobre y de plata se hayan debido tanto a la falta de acondicionamiento previo de las aguas residuales con el pH ideal como a la ausencia de filtración de las mismas, adicional a la capacidad de saturación de las especies vegetales.

Delgadillo López *et al.*, de acuerdo con una revisión de la literatura, destacan la eficacia de la fitorremediación para disminuir la contaminación por metales pesados en distintas áreas del planeta, entre ellas, las aguas residuales. Por tratarse de un proceso amigable, que demanda tecnologías muy favorables en su relación costo-beneficio, los autores reco-

miendan la implementación de esta técnica a gran escala para contribuir con la descontaminación del ambiente (4). En la presente investigación se pudo demostrar, con un protocolo de fácil aplicación, la capacidad fitorremediadora de las plantas *Eichornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, que alcanzó una efectividad estimada superior al 50% en la remoción de metales —con excepción del cobre para la planta *Pistia stratiotes*, resultados explicados anteriormente—.

A modo de conclusión, puede afirmarse que se logró la remoción parcial de componentes de amalgama de aguas contaminadas a través del proceso de fitorremediación. A pesar de las limitaciones encontradas durante el proceso, se logró un porcentaje de efectividad estimada superior al 50% en los tratamientos con las dos plantas.

Agradecimientos

Agradecemos no solo a la sección administrativa y académica de la Universidad Antonio Nariño, que permitió el desarrollo de esta investigación, sino también a los integrantes de la comunidad universitaria, quienes asistieron a la socialización de los resultados y las charlas de cuidado del agua. Del mismo modo, agradecemos a las odontólogas Lucía Marín Parra y Martha Susana Vásquez por su colaboración y revisión del manuscrito.

Contribuciones de los autores

Guiselle Negover Briñez Vásquez realizó edición del artículo, el diseño e idea original del estudio y el análisis estadístico de los datos. Carlos Eduardo Solano Aconcha participó como revisor metodológico. Juan David Sandoval Echavarría realizó la consecución de material biológico, los procedimientos de preclínica, edición del artículo, elaboración de resultados y discusión. Angie Lorena Rojas Lomelin se encargó de la consecución del material biológico, de los procedimientos en la preclínica, y del manejo de muestras en el laboratorio. Gilberto Agudelo Jiménez realizó procedimientos de preclínica, transporte y envío de muestras.

Conflictos de interés

Los autores de la presente investigación declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

1. Pecora J, Silva R, Souza R, Guimaraes L, Shuhama T. Recycling of dental amalgam residues for the recovery of mercury and silver. *Rev Fola Oral* 1998; 4(14): 234-237.

2. Mutis M, Pinzón J, Castro G. Las amalgamas dentales: ¿un problema de salud pública y ambiental? revisión de la literatura. *Universitas Odontológica* 2011; 30(65): 63-70.
3. Pinzón J. Avances en materiales dentales. *Revista Dossier Public Health and Environmental Problem* 2011; (70).
4. Delgadillo A, González C, Prieto F, Villagómez J, Acevedo O. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2011; 14(2): 597-612.
5. De la Rosa M. Fitorremediación: una nueva opción para el rescate de ambientes contaminados. *Naturaleza y tecnología* 2006; 1(2): 28-33. Disponible en: <http://www.naturalezaytecnologia.com/index.php/nyt/article/view/65>
6. Mentaberry A. Fitorremediación, curso de agrobiotecnología. Buenos Aires, Argentina, año 2011. [Fecha de consulta: 14/06/2019] Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf.
7. Kefi I, Saquib A, Fareed M. Amalgam waste disposal in dental hospitals of Peshawar. *Oral & Dental Journal* 2012; 32(3): 540-542.
8. Lima J, Pinheiro F, Nóbrega S, Pinheiro V. Solid waste management in private dental practices. *Rev Gaúcha Odontol* 2012; 60(1): 33-39.
9. Bello N, Urbáez S. Manejo y disposición de desechos de mercurio en clínicas odontológicas públicas del estado Monagas, Venezuela. *Rev Cient Udo Agríc* 2012; 12(2): 497-503.
10. Danaei M, Karimzadeh P, Momeni M, Palenik C, Nayebi M, Keshavarsi V, et al. The Management of dental waste in dental offices and clinics in Shiraz, Southern Iran. *Int J Occup Environ Med* 2014; 5(1): 18-23.
11. Organización Mundial de la Salud. El Mercurio y la Salud. Centro de prensa Organización Mundial de la Salud [Fecha de consulta: 14/06/2019]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
12. United States – Environmental Protection Agency. Introducción a la ley de agua limpia. Watershed Academy Web. [Fecha de consulta: 14/06/2019] Disponible en: https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion_a_la_Ley_de_Aqua_Limpia.pdf
13. ONU – Programa de las naciones unidas para el medio ambiente. Convenio de Minamata sobre el mercurio. Textos y anexos [en línea]. [Consultado: 14/06/2019]. Disponible en: <http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP1%20version/Minamata-Convention-booklet-sp-full.pdf>

14. **American Dental Association.** Best management practices for amalgam waste. Member Center [Fecha de consulta: 14/06/2019]. Disponible en: http://www.ada.org/~media/ada/member%20center/files/topics_amalgamwaste_brochure.ashx
15. **González Arreaga M, González J, Flores Maldonado D, Salas A, Robles Valderama E, Baca López M, et al.** Contaminación del agua por mercurio proveniente de la remoción de amalgamas. *The Journal Of American Dental Association en español*; 5(4): 42.
16. **República de Colombia.** Decreto 351 De 2014. Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Bogotá D.C: Diario Oficial No. 49069 del 19 de febrero de 2014. [Fecha de consulta: 14/06/2019]. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur-Mantenimiento/normas/Norma1.jsp?i=56755>
17. **República de Colombia – Ministerio del Medio Ambiente.** Resolución 1164 de 2002. Por la cual se adopta el manual de procedimientos para la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares. Bogotá D.C: Diario Oficial No. 45009 de noviembre 25 de 2002. [Fecha de consulta: 14/06/2019]. Disponible en: http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_75992041d66cf034e0430a010151f034
18. **Pérez J, Trujillo M, Castro G, Gómez G.** Modelación multicriterio del nivel de prevención de contaminación por mercurio en entidades odontológicas. *Revista Chilena de Ingeniería* 2015; 23(1): 128-144.
19. **Benítez R, Calero V, Peña E, Martín J.** Evaluación de la cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). *Rev Bio Agro* 2011; 9(2): 66-73.
20. **Gobierno de España – Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.** Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, *Pistia Stratiotes*. [Fecha de consulta: 14/06/2019] Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/pistia_stratiotes_2013_tcm7-307089.pdf
21. **Chemilab Laboratory.** Guía corta de muestreo de aguas. [Fecha de consulta: 14/06/2019] Disponible en: <http://www.chemilab.com.co/wp-content/uploads/2014/06/Muestreo-de-Aguas2.pdf>
22. **República de Colombia – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.** Resolución 2016 de 2014. Por la cual se extiende el alcance de la acreditación a la sociedad CHEMICAL LABORATORY-CHMILAB SAS, para producir información cuantitativa, física, química y microbiológica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes. Bogotá D.C: 2014.

23. [República de Colombia – Ministerio de Salud](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF). Resolución 8430 de 1993. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. [Fecha de consulta 18/01/ 2019]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
24. [República de Colombia – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible](https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf). Resolución 0631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C: Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015. [Fecha de consulta 18/01/ 2019]. Disponible en: https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
25. [Torres G, Navarro A, Lagusasco J, Campos K, Cuizano N](#). Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante Pistia Stratiotes (Lechuga de Agua). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 2007; 3(1): 13-20.
26. [Sancha A, Lira L](http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/sancha.pdf). Presencia de cobre en aguas de consumo humano: causas, efectos y soluciones. *Universidad de Chile* [Fecha de consulta: 14/06/2019]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/sancha.pdf>