

## **INVESTIGACION SOBRE RETENCION DE MERCURIO Y PLOMO EN FILTROS EKOFIL**

Con relación a la pregunta sobre el comportamiento del filtro EKOFIL frente a la presencia de metales pesados contaminantes tales como Mercurio y Plomo en agua de consumo humano, adjuntamos el artículo que resume la muy reciente investigación de laboratorio desarrollada en la Universidad Santiago de Cali - Colombia en el marco de un convenio realizado con nosotros y apoyado por Colciencias para evaluar la respuesta del filtro ante la presencia de residuos de Mercurio y Plomo en fuentes de aguas a las que recurren comunidades y poblaciones en muchos lugares de Colombia. En el resumen de dicho estudio, que fue presentado por los investigadores de USACA en el Encuentro Internacional de Ingeniería Sanitaria realizado en Guayaquil, Ecuador en Noviembre de 2018, se puede leer lo siguiente:

**"Entre las tecnologías de tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico, también conocidas como tecnologías en el punto de consumo (POU), se encuentran los filtros de olla cerámica empleados comúnmente por comunidades de países en desarrollo con dificultades de acceso al agua potable. Este sistema de tratamiento ha sido ampliamente investigado para la eliminación de patógenos y reducción de turbiedad. En el presente estudio se evaluó el nivel de eficiencia de estos sistemas para eliminar metales pesados (mercurio y plomo). Los sistemas de filtración fueron operados durante 100 días y alimentados con agua sintética con concentraciones promedio de  $0.05 \pm 0.04$  mg Hg/L y  $0.15 \pm 0.08$  mg Pb/L. Se alcanzaron eficiencias de remoción del 90% de mercurio y 93% de plomo, mostrando la alta capacidad adsorbente de la olla cerámica y su potencialidad de uso en la reducción del riesgo químico."**

Para ratificar lo anterior, este mismo estudio termina con la siguiente conclusión que transcribimos literalmente:

**"Los filtros de olla cerámica, usados como sistemas de tratamiento de agua a nivel doméstico, y evaluados en el presente estudio, evidenciaron sus características adsorbentes debidas al material de la olla, constituido principalmente de arcilla roja. Se lograron reducciones superiores al 90% en las concentraciones de mercurio y plomo, lo que permite el cumplimiento de la reglamentación de calidad de agua y la reducción del riesgo químico."**

Por razones de presentación del informe científico, en el mismo no se hace alusión a la marca de los filtros de arcilla en particular, sino a la tecnología de filtración con vasijas de barro, pero el estudio fue realizado con filtros EKOFIL suministrados por nosotros para dicho propósito.

# ELIMINACIÓN DE MERCURIO Y PLOMO EN FILTROS DE OLLA CERÁMICA USADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Andrea Pérez-Vidal<sup>1</sup>; Jorge Antonio Silva-Leal<sup>2</sup>; Maria Camila Bacca-Jordán<sup>3</sup>; Giovanna Andrea Giraldo-Tenorio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniera Sanitaria, Msc, PhD. Docente Titular. Facultad de Ingeniería. Universidad Santiago de Cali. Email: andrea.perez00@usc.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniero Biotecnológico, MSc, PhD. Vicerrector Académico. Universidad Santiago de Cali. Email: jorge.silva04@usc.edu.co

<sup>3</sup> Estudiante de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería. Universidad Santiago de Cali. Email: camilabaccajordan@hotmail.com; samgiova-2@hotmail.com

## Resumen

Entre las tecnologías de tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico, también conocidas como tecnologías en el punto de consumo (POU), se encuentran los filtros de olla cerámica empleados comúnmente por comunidades de países en desarrollo con dificultades de acceso al agua potable. Este sistema de tratamiento ha sido ampliamente investigado para la eliminación de patógenos y reducción de turbiedad. En el presente estudio se evaluó el nivel de eficiencia de estos sistemas para eliminar metales pesados (mercurio y plomo). Los sistemas de filtración fueron operados durante 100 días y alimentados con agua sintética con concentraciones promedio de  $0.05 \pm 0.04$  mg Hg/L y  $0.15 \pm 0.08$  mg Pb/L. Se alcanzaron eficiencias de remoción del 90% de mercurio y 93% de plomo, mostrando la alta capacidad adsorbente de la olla cerámica y su potencialidad de uso en la reducción del riesgo químico.

**Palabras claves:** filtro de olla cerámica; agua potable; adsorción; metales pesados.

## Abstract

Among the household technologies available to water treatment, also known as Point of Use (POU), there are the ceramic pot filters which are commonly used by communities in developing countries with difficulty accessing drinking water. This treatment system has been extensively researched for the elimination of pathogens and the reduction of turbidity. In this study, the efficiency level to eliminate heavy metals (mercury and lead) by these systems was evaluated. The filtration systems were operated for 100 days and fed with synthetic water composed of  $0.05 \pm 0.04$  mg Hg / L and  $0.15 \pm 0.08$  mg Pb /L. The mercury removal efficiency achieved was 90% and lead was 93% of lead. This showed the high adsorbent capacity of the ceramic pot and its potential for use in the reduction of chemical risk.

**Key words:** ceramic pot filter; drinking-water; adsorption; heavy metals.

## Introducción

El suministro de agua segura para consumo humano exige la implementación de medidas preventivas y correctivas, además de esfuerzos colectivos oportunos para prevenir los posibles impactos ocasionados por deficiencias de la calidad del agua

entregada a la población (INS, 2013).

Las diferentes investigaciones realizadas en el campo de la salud ambiental han ratificado que el consumo de agua insalubre y malas condiciones de saneamiento e higiene, son factores de riesgo microbiológico causantes de enfermedades diarreicas (OMS, 2013). Además de este tipo de riesgo, es necesario considerar los riesgos asociados a la presencia de sustancias de naturaleza química, las cuales pueden llegar a las fuentes de agua como resultado de las actividades domésticas, agrícolas e industriales que se realizan sobre las cuencas de abastecimiento (Bueno-Zabala et al., 2014; Pérez-Vidal et al., 2016a).

El riesgo químico se relaciona principalmente con la presencia de contaminantes que afectan la salud del ser humano después de largos periodos de exposición, siendo posible encontrar en las fuentes de abastecimiento diversos compuestos inorgánicos (plomo, metales pesados, cobre, zinc, asbesto etc.) e orgánicos (hidrocarburos, plaguicidas, fertilizantes, subproductos de la desinfección – SPD, entre otros) (OMS, 1998; AWWA, 1999).

De acuerdo con la WHO (2011), los contaminantes químicos del agua pueden clasificarse en función de su fuente de origen como se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación de las sustancias químicas en función de su origen**

Fuente	Ejemplo de fuentes
Natural	Rocas, suelos, configuración geológica y el clima
Fuentes industriales y núcleos habitados	Minería (industrias extractivas), industrias de fabricación y procesamiento, aguas residuales, desechos sólidos, escorrentía urbana, fugas de combustible etc.
Actividades agropecuarias	Estiércoles, fertilizantes, plaguicidas, prácticas de ganadería intensiva
Tratamiento del agua o materiales en contacto con el agua de consumo	Coagulantes, subproductos de la desinfección (SPD), material de las tuberías
Plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud	Insecticidas usados para el control de larvas de insectos vectores de enfermedades
Cianobacterias	Lagos eutróficos

Fuente: adaptado de WHO, 2011

Entre los contaminantes químicos de gran importancia se encuentran los metales pesados, usualmente descargados en los subproductos industriales, entre los cuales se destacan arsénico

(As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), considerados como causantes de daños a la vida de las plantas, animales y seres humanos, cuando sus concentraciones superan ciertos umbrales críticos (Pinochet et al., 2002). Los metales pesados se caracterizan por su alta toxicidad lo que representa un gran riesgo para la salud de los consumidores, especialmente en grupos como bebés, infantes, ancianos y personas en situación de vulnerabilidad (WHO, 2011; Mir et al., 2016 y Xiang et al., 2016).

Los metales pesados se asocian con múltiples efectos adversos en la salud; siendo varios los órganos y sistemas que se ven afectados tales como, riñón, pulmón, hígado, sistema gastrointestinal y hematopoyético, pero principalmente el sistema nervioso central y periférico, lo que ocasiona disfunción renal tubular, proteinuria, insuficiencia renal crónica, arterosclerosis aórtica y coronaria, incremento en colesterol y ácidos grasos, bronquitis con daño progresivo alveolar, fibrosis secundaria y enfisema (Nava-Ruiz y Méndez-Armenta, 2011).

A nivel doméstico se han documentado diversos métodos de tratamiento de agua que pueden agruparse como i) Sistemas basados en la aplicación de calor o Luz Ultravioleta (hervir el agua; radiación solar; desinfección solar; lámparas UV), ii) Tratamientos químicos (coagulación, floculación y precipitación; Adsorción; Intercambio iónico; desinfección química) y iii) Métodos físicos de remoción (sedimentación o clarificación; Filtración con membranas, Filtros cerámicos; Filtros con medio granular o arena; Aireación) (Sobsey, 2002; Peter-Varbanets et al., 2009).

Entre los métodos físicos, el filtro de olla cerámica, conocido también como Filtrón, se ha diseñado principalmente para la eliminación de patógenos y reducción de turbiedad con reconocidos y eficientes resultados (Lantagne, 2001; Campbell, 2005; Bielefeldt et al., 2009; Vidal, 2010; Lerman, 2012; Pérez-Vidal, et al., 2016). Sin embargo, estos sistemas pueden resultar también viables en la remoción de metales pesados mediante fenómenos de adsorción y retención al interior de la olla (Ludeña y Tinoco, 2010; Niquen y Vasquez, 2010; Guerra y Hiyagon, 2012).

El principal material con el cual se elaboran las ollas cerámicas es arcilla, la cual se caracteriza por su alto contenido de óxidos e hidróxidos de hierro con gran capacidad de adsorción de metales traza (Acevedo-Sandoval et al., 2004). La cinética de adsorción puede depender de factores como la concentración de los iones metálicos en la solución, dosis de adsorbente, pH y tiempo de contacto, y no depende del tamaño de partícula de adsorbente (Aguilar, 2010).

Con el presente estudio se evaluó la eficiencia de reducción de mercurio y plomo en filtros de olla cerámica de fabricación nacional (Colombia), comúnmente empleados en zonas rurales y con problemas de calidad de agua para consumo humano.

## Objetivo

Evaluar la eficiencia de eliminación de mercurio y plomo en

filtros de olla cerámica usados como alternativa de tratamiento de agua a nivel doméstico.

## Metodología

La metodología de la investigación se estructuró en dos etapas: i) ajuste de las características del agua sintética y ii) Operación y seguimiento de los sistemas de filtración. Para el diseño experimental se emplearon duplicados de los sistemas, los cuales fueron operados durante un periodo de 100 días.

### Ajuste de las características del agua sintética

Siguiendo las recomendaciones de la EPA (1987), diariamente se preparaba el agua sintética ajustando la Turbiedad < 5 UNT con Caolín (0.02 g caolín/l) y los Sólidos Disueltos Totales en 100mg/L con NaCl grado comercial (0.1g NaCl/l). Para la adición de mercurio y plomo se prepararon soluciones concentradas de 10 mgHg/L y 100 mgPb/l usando patrones o solución estándar a una concentración de 1000mg/L marca Merck®.

Durante los primeros 42 días del estudio se dosificaron concentraciones de mercurio alrededor de 0.01 mg/L y de 0.1 mg/L para plomo; estas dosis fueron fijadas asumiendo un incremento de 10 veces el valor máximo permitido en la reglamentación nacional (MPS y MAVDT, 2007) y lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011). Para la siguiente fase del estudio comprendida entre los días 43 a 100, se incrementaron las dosis de mercurio a 0.1 mg/L y de plomo a 0.3 mg/L.

### Operación y seguimiento de los sistemas de filtración

Una vez culminada la etapa de ajuste del agua sintética, se procedió a la puesta en marcha y operación de los sistemas de filtración adicionando diariamente un volumen de 7,5 litros por filtro. Este volumen correspondió a la capacidad de la olla cerámica y a su vez respondía al requerimiento mínimo de agua sugerido por Howard & Bartram (2003) para el consumo humano y preparación de alimentos por persona, considerando las necesidades de las mujeres lactantes.

Para el seguimiento de los sistemas de filtración se realizaron las mediciones de las variables descritas en la Tabla 2 tanto en el afluente como efluente de los sistemas.

**Tabla 2. Variables de seguimiento**

Variable	Unidades	Frecuencia	Método*
pH	Unidades	Diaria	Electrométrico
Conductividad	µS/cm	Diaria	SM2510B
Turbiedad	UNT	Diaria	Nefelométrico SM2130B
Mercurio	mg/l	2 veces/mes	Espectrofotometría de SM3112B
Plomo	mg/l	2 vez/mes	Espectrofotometría SM3111B

\*APHA et al., (2012).

## Resultados y discusión

### Características del agua sintética

La Tabla 3 describe la variación promedio del agua sintética a lo largo del estudio, destacándose que el valor de conductividad fue medido como indicador indirecto de la concentración de los sólidos disueltos totales - SDT (Spellman, 2013); para ello se construyó una curva de correlación entre conductividad y SDT la cual permitió definir que un valor promedio de  $223 \pm 18.7 \mu\text{s}/\text{cm}$  correspondía una concentración de SDT cercana a  $100 \text{ mg}/\text{L}$ .

**Tabla 3. Características del agua sintética a lo largo del estudio**

Variable	Unidad	Valor
pH	Unidades	6.51 – 7.88
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}$	$194 \pm 74$
Turbiedad	UNT	$2.3 \pm 0.6$
Mercurio	$\text{mg}/\text{L}$	$0.05 \pm 0.04$
Plomo	$\text{mg}/\text{L}$	$0.15 \pm 0.08$

El agua sintética presentó un valor medio de pH cercano a la neutralidad y los valores de conductividad, turbiedad y metales variaron dentro de los rangos previamente definidos en la metodología.

Se resalta que las concentraciones de metales empleadas en el estudio fueron superiores a las reportadas en fuentes superficiales contaminadas por metales pesados (Dimas et al., 2015; Reyes et al., 2016; Gębka et al., 2018) e incluso lo reglamentado para aguas naturales (Mancilla et al., 2012). Esto se decidió con el objetivo de lograr identificar el grado de eficiencia de remoción en los sistemas y teniendo en consideración que los límites de detección de las técnicas analíticas correspondían a los valores reglamentarios ( $0.001 \text{ mg}/\text{L}$  y  $0.01 \text{ mg}/\text{L}$ ) (MPS y MAVDT, 2007).

Cabe anotar que la presencia de metales pesados como mercurio y plomo ha sido identificada en diferentes fuentes superficiales del mundo, superando en algunos casos los límites reglamentarios (Bueno-Zabala et al., 2014; Gębka et al., 2018). Estos metales pueden llegar a las fuentes de abastecimiento superficial y subterráneas por actividades industriales, minería ilegal, deposición atmosférica seca, entre otros (Pérez-Vidal et al., 2016a; Streets et al., 2018).

En el caso particular de la minería de Oro en Colombia, algunas fuentes de abastecimiento de agua se encuentran impactadas con Mercurio por la escorrentía generada durante esta actividad (Pérez-Vidal et al., 2016a), concentrándose la problemática en las zonas rurales con presencia de minería ilegal; esta situación se agrava con los problemas de cobertura de acueducto y calidad de agua para consumo humano, característicos de la zona rural (SPD 2013; Carrasco, 2016).

### Operación y seguimiento de los sistemas de filtración

La Tabla 4 sintetiza los resultados obtenidos durante los 100 días de operación de los sistemas de filtración de olla cerámica y su comparación frente a la reglamentación de calidad de agua para consumo humano.

**Tabla 4. Resultados de operación de los filtros de olla cerámica**

Variable	Unidad	Filtro 1	Filtro 2*	Norma
pH	unidades	6.78 – 8.74	6.87 – 8.47	6.5 – 9.0
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}$	$201 \pm 67$	$199 \pm 66$	$< 1000$
Turbiedad	UNT	$0.96 \pm 0.6$	$0.92 \pm 0.4$	$2.0^{(1)}$
Mercurio	$\text{mg}/\text{L}$	$< 0.001 - 0.01$	$< 0.001 - 0.019$	$0.001^{(1)}$
Plomo	$\text{mg}/\text{L}$	$< 0.01 - 0.01$	$< 0.01 - 0.01$	$0.01^{(1,2)}$

\*Duplicado

(1) MPS y MAVDT (2007)

(2) WHO (2011)

En el efluente filtrado se incrementó ligeramente el pH del agua filtrada, como resultado de la alcalinidad que puede aportar la arcilla (Lantagne, 2001). En lo que respecta a la conductividad y turbiedad se observó cumplimiento de la reglamentación nacional.

Con relación a los metales pesados, los resultados muestran una evidente reducción de las concentraciones de mercurio y plomo comparadas con el agua sintética, logrando eficiencias promedio de reducción de 90% para mercurio y 93% para plomo e incluso el cumplimiento de la normatividad a pesar de las altas concentraciones que presentó el agua sintética.

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los alcanzados por Ludeña y Tinoco (2010) y Guerra y Hiyagon (2012), quienes obtuvieron eficiencias entre 50-100% para mercurio y 98.6% para plomo respectivamente. La reducción de estos metales en la olla cerámica puede deberse a la capacidad adsorbente de la arcilla. Este material se caracteriza por la presencia de nanopartículas basadas en hierro las cuales se emplean en la eliminación de metales pesados (Prathna et al., 2018).

De acuerdo con Guerra y Hiyagon (2012) la capacidad de adsorción en las arcillas está directamente relacionada con sus características texturales (superficie específica y porosidad) y pueden presentarse dos procesos: absorción (retención por capilaridad) y adsorción (interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y la sustancia adsorbida, denominada adsorbato).

Teniendo en cuenta que el uso de sistemas domésticos conocidos como POU (Point of Use), por su bajo costo y facilidad de manejo, representan una solución inmediata tanto para situaciones de emergencia o desastre como para la provisión de agua a comunidades rurales alejadas y dispersas que, previsiblemente, no podrán disponer en un futuro mediano de sistemas de acueducto con sus plantas de tratamiento de agua convencionales (López & Schiffer, 2012), resulta de gran relevancia demostrar que además del control del riesgo microbiológico, característico en los filtros de olla de cerámica (Pérez-Vidal et al., 2016b), se puede mitigar el riesgo químico por presencia de metales pesados como mercurio y plomo.

### Conclusiones

Los filtros de olla cerámica, usados como sistemas de tratamiento de agua a nivel doméstico, y evaluados en el presente estudio, evidenciaron sus características adsorbentes debidas al material de la olla, constituido principalmente de

arcilla roja. Se lograron reducciones superiores al 90% en las concentraciones de mercurio y plomo, lo que permite el cumplimiento de la reglamentación de calidad de agua y la reducción del riesgo químico.

### Referencias Bibliográficas

Acevedo-Sandoval, O.; Ortiz-Hernández, E.; Cruz-Sánchez, M.; Cruz-Chávez, E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, vol. 22, (4), pp. 485-497.

Aguilar-Gonzalez, M.A (2010). Desarrollo de nuevos de adsorbentes basados en titanatos de potasio y su aplicación en la remoción de iones de plomo y níquel de aguas contaminadas. Tesis de doctorado. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, México.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22 Edition. United States: APHA, AWWA, WEF.

AWWA. *Water Quality and Treatment* (1999). A handbook of community water supplies. 1° edición. Vol1 y USA.

Bielefeldt, A.R., Kowalski, K., & Summers, R.S. (2009). Bacterial Treatment Effectiveness of Point-Of-Use Ceramic Water Filters. *Water Research*, (43)14, 3559-3565.

Bueno-Zabala, K. Pérez-Vidal, A.; Torres-Lozada, P. (2014). Identificación de peligros químicos en cuencas de abastecimiento de agua como instrumento para la evaluación del riesgo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Vol 13, No. 24, pp 59 – 75.

Campbell, E. (2005). Study on Life Span of Ceramic Filter Colloidal Silver Pot Shaped (CSP) Model. Disponible en: <http://www.potterswithoutborders.com/2011/06/study-on-life-span-of-ceramic-filter-colloidal-silver-pot-shaped-csp-model/>

Carrasco W. (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista Ingeniería* 44, 46-53.

Dimas, M.J.J.; Garza, M. N.D.; Treviño y, D. B. M. (2015). Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco Guerrero, México *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 1, pp. 113-118.

Environmental Protection Agency [EPA]. (1987). Guide standard and protocol for testing microbiological water purifiers. Registration Division. Office of pesticide program. Criteria and Standards division, Office of drinking water.

Gębka, K.; Beldowska, M.; Saniewska, D.; Kuliński, K.; Beldowski, J. (2018). Watershed characteristics and climate factors effect on the temporal variability of mercury in the southern Baltic Sea rivers. *Journal of environmental sciences*, *in press*.

Guerra-Alarcón, A.; Hiyagon-Arroyo, G. (2012). Tratamiento de agua para remoción de plomo aplicando nanotecnología. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Howard, G., Bartram, J. (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. World Health Organization. WHO/SDE/WSH/03.02. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/wsh0302/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/en/)

Lantagne DS [Internet]. Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver-Impregnated Ceramic Filter. Report 1: Intrinsic Effectiveness. Report 2: Field investigation; 2001. Disponible en <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other%20Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele%20Lantagne,%2012-01.pdf>

Jerma, D.A. (2012). Filtros cerámicos una alternativa de agua segura. Facultad de Ciencias Ambientales. Tesis de Maestría en Ecotecnología. Universidad Tecnológica de Pereira

López, L., & Schiffer, A. (2012). Manual de requerimientos mínimos para intervenciones en agua, saneamiento e higiene en emergencias. Ed. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, AECID. NIPO: 502-12-015-4

Ludeña, J.C.; Tinoco, F. (2010). Formulación de pasta roja para la elaboración de un filtro cerámico purificador de agua y verificación de su efectividad filtrante. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Técnica Particular de Loja, Perú.

Mancilla-Villa, O. R.; Ortega-Escobar, H.; Ramírez-Ayala, C.; Uscanga-Mortera, E.; Ramos-Bello, R.; Reyes-Ortigoza, A. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28 (1) 39-48.

Ministerio de Protección Social [MPS], & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2007). 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. Bogotá D.C. República de Colombia

Mir Mohammad Ali, Mohammad Lokman Ali, Md. Saiful Islam & Md. Zillur Rahman. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, Volume 5, May 2016, Pages 27-35.

Nava-Ruíz, C., y Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién (Mex)*, 16(3), 140-147.

Niquen-Inga, M.I.; Vasquez-García, A.C. (2010). Adsorción de metales pesados (plomo cadmio y mercurio) presentes en aguas del río Tumbes utilizando filtros cerámicos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.

OMS - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Basic environmental health. WHO/EHG/98.19, 1998.

Perez-Vidal, A.; Torres-Lozada, P.; Escobar, J.C. (2016). Hazard identification in watersheds based on water safety plan

approach: case study of Cali-Colombia. *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol.15, No. 4, pp. 861-872

waste recycling area. *Chemosphere*, Volume 148, April 2016, Pages 408-415, ISSN 0045-6535, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.078>.

Perez-Vidal, A.; Díaz-Gómez, J.; Castellanos-Rozo, J.; Usaquen-Perilla, O. (2016b). Long-term evaluation of the performance of four point-of-use water filters. *Water Research* 98 (2016), pp 176 -182.

Peter-Varbanets M, Zurbrügg C, Swartz C, Pronk W. Review. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research* 2009; 43(2):245-265

Pinochet, D.; Aguirre, J.; Quiroz, E. (2002). Estudio de la lixiviación de cadmio, mercurio y plomo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agro sur* 30 (1), Valdivia.

Prathna T.C.; Sharma, S.K.; Kennedy, M. (2018). Nanoparticles in household level water treatment: An overview. *Separation and Purification Technology* 199 (2018) 260–270

Reyes, Y.; Vergara, I.; Torres, O.; Díaz, M.; González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N° 2, pp. 66-77.

Sobsey, M. (2002). *Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply*. WHO, Geneva. WHO/SDE/WSH/02.07.

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/WSH02.07.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/WSH02.07.pdf)

Spellman, F. R. (2013). *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. CRC Press.

SSPD (2013). Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Informe técnico. Santa fe de Bogotá, Colombia, 69 pp. [en línea]. [http://www.superservicios.gov.co/content/download/4989/47298\\_01/02/2017](http://www.superservicios.gov.co/content/download/4989/47298_01/02/2017)

Streets, D.; Lu, Z.; Levin, L.; F.H. ter Schure, A.; Sunderland, E. (2018). Historical releases of mercury to air, land, and water from coal combustion. *Science of the Total Environment* 615 (2018) 131–140

Vidal, S.M. (2010). Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medida por pruebas fisicoquímicas y microbiológicas. Facultad de Tecnología. Tesis de Tecnología Química. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.

World Health Organization [WHO]. (2011). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Fourth edition. ISBN 978-92-4-154815-1. Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf)

Xiang Zeng, Xijin Xu, H.Marike Boezen & Xia Huo. (2016). Children with health impairments by heavy metals in an e-