

# EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MERCURIO Y PLOMO EN EL FILTRO EKOFIL- PLUS USADO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA A NIVEL FAMILIAR.

Bacca Jordán Maria Camila<sup>(1)</sup>  
camilabaccajordan@hotmail.com

Giraldo Tenorio Giovanna Andrea<sup>(1)</sup>  
samgiova-2@hotmail.com

Jorge Antonio Silva Leal<sup>(2)</sup>  
jorge.silva04@usc.edu.co

**Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Bioingeniería (1)**  
**Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Director de trabajo de grado, Programa de Bioingeniería (2)**

## Resumen

La poca disponibilidad de acceso al agua potable ha generado que se exploren diferentes formas y técnicas de tratamiento de agua destinada para consumo humano, logrando así que su empleo no genere riesgos; por ello la empresa REPLACOL ha construido filtros cerámicos que contribuyen a la potabilización de este preciado y vital recurso. De acuerdo a lo anterior mencionado, se generó este proyecto de investigación el cual tuvo como objetivo medir la efectividad de los filtros de arcilla EKOFIL PLUS, para la remoción de Mercurio y Plomo y dar cumplimiento con lo establecido por la Resolución 2115/2007 (MAVDT, 2007). Para ello se realizó la comparación y el análisis de factores influyentes en la calidad del agua, proveniente de la mezcla sintética del agua con dichos metales. Para esto, durante 91 días se operaron cuatro filtros, dos filtros Ekofil y dos filtros Ekofil plus, bajo condiciones controladas de laboratorio, midiendo en diferentes momentos variables como pH, conductividad, turbiedad y las dos variables de respuesta Hg y Pb. Los resultados mostraron una remoción superior al 90% del efluente filtrado en cuanto a metales pesados y valores que oscilan dentro de los límites permisibles para variables como pH, Conductividad y turbiedad, los cuales tuvieron un porcentaje de remoción de 96%.

Palabras Clave: Filtro casero; Olla Cerámica, Metales pesado (Mercurio y Plomo).

## Abstract

The limited availability of access to drinking water has led to the exploration of different forms and techniques of water treatment for human consumption, thus ensuring that its use does not create risks, for this reason the company REPLACOL has constructed ceramic filters that contribute to the potabilization on this precious and vital resource. According to the above, this research project was generated which aimed to measure to the effectiveness of EKOFIL PLUS clay filters, in terms of removal of mercury and lead complying with the norm 2115/2007 (MAVDT, 2007). This was done by comparing and analyzing factors influencing water quality from the synthetic mixture of the fluid with these metals. For this, during X days four filters, two Ekofil filters and two Ekofil plus filters were operated, under controlled laboratory conditions, measuring at different intervals pH, conductivity, turbidity, and the two response variables Hg and Pb. The results showed a removal of more than 90% of the filtered effluent in terms of heavy metals and values that oscillate within permissible limits for variables such as pH, conductivity and turbidity; which had a removal percentage of 96%.

Keywords: *Home filter; Ceramic Pot, Heavy Metals (Mercury and Lead).*

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua potable se define como aquel recurso que asegura las características de calidad físicas, químicas, microbiológicas, radiológicas y organolépticas propuestas en la reglamentación y que la hacen apta para el consumo humano este recurso es esencial para vivir por ello todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio, suficiente, inocuo y accesible (MPS, 2007; WHO, 2011). En materia de seguridad del agua, uno de los pilares indubitables es que el acceso a este, sea a través de fuentes mejoradas que protejan adecuadamente el agua de la contaminación exterior, en particular de la materia fecal (ej. redes de acueducto, agua embotellada); por otro lado, las fuentes de agua no mejoradas son aquellas que no garantizan su seguridad ya que están expuestas a la contaminación (ej. Agua superficial) (WHO, 2012).

Los problemas de calidad de agua para consumo humano continúan siendo un reto para el sector de agua potable y

saneamiento. Anualmente cerca de 1.5 millones de personas mueren en el mundo, en su mayoría niños menores de cinco años, a causa de enfermedades relacionadas con el consumo de agua no segura o que presenta deficiencias en saneamiento (Prüss-Üstün et al., 2008). De acuerdo a la OMS actualmente el 91% de la población tiene acceso a fuentes mejoradas de agua potable (OMS, 2015), y en Colombia durante el periodo 2010-2015, la cantidad de personas que podían acceder a suministros de agua potable incrementó; indicando que 91,4 de cada 100 personas tuvieron acceso a agua de calidad para el consumo humano, cuando en el 2000 solo 88,4 de 100 lo tenían (Pereira, Urrego & Martínez, 2017). Se destaca que de acuerdo al Censo Nacional de población y vivienda del 2018, de los 48.258.494 de Colombianos (DANE, 2019) el 23% de la población se encuentra en la zona rural, del cual el 54% cuenta con un saneamiento oportuno; zonas como la Costa Atlántica, Orinoquia y Amazonia son las más afectadas en el acceso de agua potable debido un abastecimiento ineficaz en el suelo rural (Echavarría-Molina & Anaya-Morales, 2018).

La calidad del agua está estrechamente relacionada con el ambiente físico y la salud humana. En nuestro país el sistema de agua, sanidad e higiene sugiere uno de los mayores costos anuales, por lo que el inventario de contaminantes productos de las actividades antropogénicas, generan un escenario de polución y deterioro del medio ambiente y el desarrollo de enfermedades emergentes (MADS, 2012). Esta perspectiva sanitaria vislumbra que para el año 2025, 1.800.000 de personas vivirán en regiones con escasez del recurso agua y dos tercios de la población mundial residirán bajo condiciones de estrés hídrico, generando conflictos de orden social como enfermedades, ambiental como pérdida de la biodiversidad y político-económico entorno a la competencia por el agua como activo y fuente de todas las cadenas de producción (Míguez, 2015). Por otra parte, los diferentes estudios realizados en el campo de la salud ambiental han expuesto que el consumo de agua en malas condiciones de saneamiento e higiene, constituyen factores de riesgo que causan enfermedades diarreicas (OMS, 2013). El 88% de los casos de diarrea en el mundo, se atribuyen al consumo de agua no segura o deficiencias en higiene y saneamiento que causan la muerte anual de 1.5 millones de personas, siendo en su mayoría niños menores de cinco años (Prüss-Üstün et al., 2008).

De acuerdo a estudios realizados, se ha establecido que la tasa de contaminación del recurso hídrico es aproximadamente de 2.000 millones de m<sup>3</sup>/día, principalmente ocasionada por metales pesados los 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 ya sea por acción del hombre o de forma natural, representando un peligro potencial para la salud humana (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)(Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)(Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)(Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)(Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)(Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016), el recurso hídrico contaminado por metales pesados presenta una alta toxicidad, lo cual supone un alto riesgo para la salud de los consumidores, especialmente en grupos como bebés, infantes, ancianos y personas en situación de vulnerabilidad (Reyes et al., 2016); este ocasiona un impacto considerable en la salud evidenciada en diferentes afecciones y enfermedades algunas como convulsiones, cáncer, daños en el sistema gastrointestinal, renal, hematopoyético y hasta daño neuronal, causado por la interferencia de los metales en los procesos celulares, que lleva a las células a procesos de necrosis o apoptosis en el sistema nervioso central y periférico.(Nava-Ruiz & Méndez-Armenta, 2011; Reyes et al., 2016).

La organización Mundial de la Salud (OMS), determinó la máxima concentración de iones de metales pesados en el recurso hídrico debe estar en un rango de 0.01 a 1 ppm (OMS, 2003); sin embargo, se reportan concentraciones de iones de metales pesados de hasta 450 ppm en los efluentes (Pinzón-Bedoya & Cardona-Tamayo, 2010). En Colombia la situación de contaminación de los cuerpos de agua por presencia de metales pesados, se presenta mayormente en las áreas mineras nacionales, donde se existen concentraciones de 0.33 mg/L de plomo que excede el valor máximo permisible que corresponde a 0.20 mg/L estipulados en las normativas nacionales como la resolución 631 de 2015 y 0.01 mg/L según la resolución 2115 de 2007 (MADS, 2015; Sánchez & Corredor, 2015).

El Mercurio es un contaminante de relevancia mundial, que afecta los ecosistemas y la salud humana (Gonzalez, 2012). El suelo y el agua son los principales receptores de este metal, ya que al entrar en contacto con ellos, las bacterias metanógenas transforman el Hg en MeHg (metilmercurio) incorporándolo en las cadenas tróficas; constituyendo así una fuente de contaminación para el hombre (González, 2012). Su toxicidad depende de la fase química en la que este se encuentre, siendo el metilmercurio una de las más elevadas, afectando principalmente el sistema nervioso y cardiovascular, además de su alto nivel cancerígeno (Reyes et al., 2016). Por otro lado, se encuentra el Plomo (Pb) que está presente de forma natural en la corteza terrestre y en pequeñas cantidades - 0.002% (Covarrubias & Peña, 2017), es usado en la fabricación de tuberías, baterías, minería, pinturas y está presente en los desechos de la combustión de carbón y petróleo. El Pb es un tóxico acumulativo y altamente peligroso para la salud, que afecta el sistema hematopoyético y

Evaluación de la eficiencia de remoción de Mercurio y Plomo en el filtro EKOFIL PLUS usado en el tratamiento de agua a nivel familiar. Bioingeniería, (2018)

nervioso causando la muerte (Cisneros, 2005). Se destaca que el grado de intoxicación varía según la edad del individuo y nivel de exposición (Reyes et al., 2016).

La escasez de agua, su contaminación por actividades de urbanización, agricultura, turismo, desarrollo industrial, el vertimiento de aguas residuales y otros residuos generan una crisis hídrica que imposibilitan las condiciones de saneamiento, higiene y de agua potable de calidad ; sumado al deficiente sistema sanitario el cual origina el 75% de las enfermedades diarreicas en los países no desarrollados (Vásquez, 2005); la ingesta de metales pesados producen efectos leves y comunes, como infecciones, irritación de la piel y las mucosas, hasta algunos más graves que pueden afectar el sistemas inmunológico, endocrinológico o neurológico, hasta causar alteraciones genéticas o cáncer (Londoño et al, 2016). La enfermedad de Minamata por ejemplo, es un síndrome neurológico permanente ocasionado por ingesta de Mercurio, se denomina así porque fue el resultado de un brote de envenenamiento por Metilmercurio producido en la década de los años 50, en la ciudad de Minamata, Japón, esta enfermedad incluye síntomas como ataxia, alteración sensorial, debilidad, parálisis y hasta la muerte. Es por ello que para aumentar el acceso de agua potable en las áreas rurales y con deficiencia de potabilización, se requiere de tecnologías de fácil operación, de bajo costo y con aceptación social que permitan disminuir los riesgos potenciales para la salud humana (Pérez et al., 2016), estas tecnologías son conocidas como tratamiento de agua a nivel doméstico o tratamiento del agua en el lugar de consumo - POU que contribuyen en gran medida a la protección de la salud pública en situaciones en las que el agua de consumo de diversas fuentes, incluso las presentes en tuberías u otras fuentes mejoradas, no se tratan adecuadamente o se contaminan durante su distribución o almacenamiento (OMS, 2012).

De acuerdo al estudio realizado por la Universidad del Nariño en el 2014, se determinó la cantidad de metales pesados presentes en el Rio Cauca, mediante el análisis las concentraciones en tejidos de pescados, los resultados obtenidos fueron comparados con los límites establecidos por el Programa de las Naciones Unidas Para el Medio ambiente - PNUMA que establece el contenido de metales en organismos marinos, esta investigación reportó cantidades elevadas de Hg que oscilan entre 0.0005-0.102 ppm, siendo el nivel letal  $10^{-4}$  ppm, mientras que para el Pb se reportó una concentración  $< 0.1$  ppm, teniendo en cuenta que el limite establece como nivel letal 0.02 ppm (Lozada J, 2014). Sin embargo, mediante el estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia con sede en Palmira- Valle en el presente año, se analizaron 10 cuencas hidrográficas del departamento representadas en zonas de influencia como son Yumbo, Jamundí, Arroyohondo, Lili Meléndez, Cañaveralejo, Guachal, Guabas, Sonso, Guadalajara, San Pedro y Tuluá, evidenciándose que los niveles de metales como Plomo, Arsénico, Cadmio, Mercurio, entre otros, se encuentran de manera general dentro de los rangos permisibles, es decir no representan niveles tóxicos que afecten a los cultivos o fuentes hídricas (UNAL, 2019).

A nivel doméstico se han documentado algunos métodos de tratamiento para remover turbiedad y microorganismos patógenos, estos métodos 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 cómo: coagulación, floculación y precipitación; Adsorción; Intercambio iónico; desinfección química y iii) Métodos físicos de remoción cómo sedimentación o clarificación; Filtración con membranas, Filtros cerámicos; Filtros con medio granular o arena; Aireación (Jouravlev, 2004 ; Sobsey, 2004). Se ha comprobado que este los sistemas anteriormente nombrados constituyen una barrera eficaz en la remoción en término de contaminantes, incluido el Hg y Pb, especialmente en los métodos de filtración qué gracias al grado de porosidad y espesor del filtro generan remoción de contaminantes y/o patógenos, para la eficacia de remoción de los filtros para metales pesados como Pb y As, algunos estudios describen una remoción del 20% y 95% respectivamente (Soriano Ortiz, 2014). En Colombia existen reportes de estudios relacionados con filtros de velas cerámicas (Clasen et. al, 2005; Perez Vidal et. al, 2014) y ollas cerámicas (Lerma, 2012; Vidal Henao, 2010) que ratifican el potencial de estas tecnologías, sin embargo señalan ciertas limitaciones asociadas con su proceso de fabricación y efectividad para eliminar sustancias toxicas como metales pesados que disminuyen su efectividad.

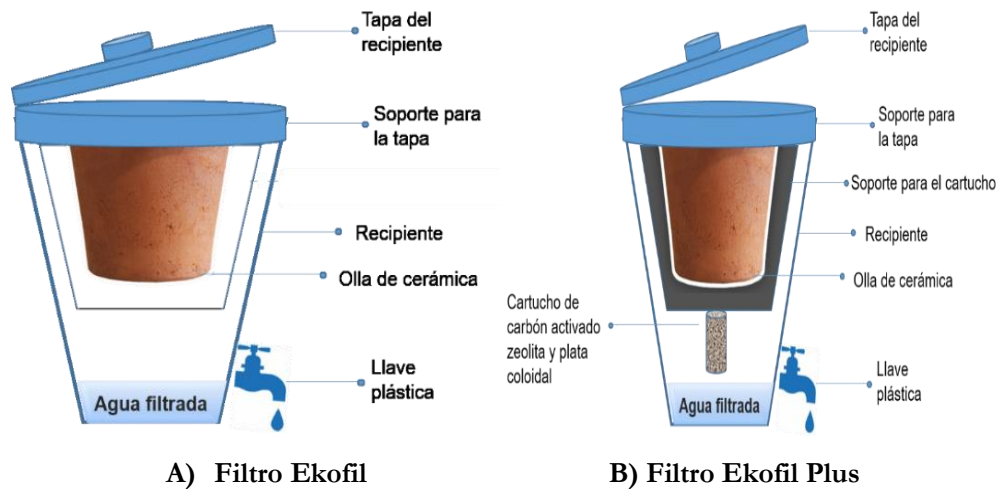
La poca disponibilidad de acceso al agua potable ha generado que se exploren cada vez más, diferentes formas y técnicas de tratamiento de agua destinada para consumo humano. Esto se debe a que los métodos usados a nivel domiciliario logran disminuir la falta de agua potable, por ello se ha establecido el uso de procesos viables y económicos en su adquisición e implementación. La empresa Vallecaucana REPLACOL realiza la fabricación de filtros de olla cerámica llamados EKOFIL, que en su versión PLUS incorpora una columna de carbón activado impregnado de plata coloidal, estos filtros cerámicos, contribuyen a la potabilización del recurso hídrico. Bajo este escenario ha surgido este proyecto de investigación el cual busca evaluar la efectividad de los filtros de arcilla EKOFIL PLUS, en términos de remoción de Mercurio y Plomo para que cumplan con lo establecido por la resolución 2115/2007 (MAVD/T, 2007). Se espera que con el desarrollo de este tipo de proyectos de investigación se brinde a la empresa la posibilidad de contar con

resultados científicos que soporten el desempeño y efectividad en la implementación de sus sistemas de filtración en términos de remoción de Hg y Pb. A su vez se generará nuevo conocimiento en una línea de investigación en la cual aún existen temas por explorar a nivel nacional e internacional, lo que permitirá fortalecer el trabajo del grupo de investigación GIEIAM en el área ambiental.

## 2. METODOLOGÍA

El desarrollo experimental de la investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Santiago de Cali, con cuatro filtros de la empresa REPLACOL, dos que corresponden al modelo tradicional Ekofil que sirvieron como filtros de control, y dos de EKOFIL PLUS con los que se estudió la remoción de sustancias de interés sanitario. La metodología del estudio se estructuró en 3 Etapas: 1) Ajuste del sustrato sintético, 2) Operación y seguimiento de los filtros y 3) Análisis de los resultados. En la Figura 1A se muestra el esquema de composición del filtro de control, en el que se puede observar la unidad filtrante de olla de cerámica impregnada con planta coloidal, que permite la microfiltración a través de sus porosidades. En la Figura 1B se observa el esquema de composición del filtro Ekofil Plus el cual, además de la unidad de micro filtración conformada por un cartucho de carbón activado y zeolita.

Figura 1. Composición del filtro.



Adaptado de: Ekofil de Replacol

### 2.1 Ajuste del sustrato sintético:

Siguiendo las recomendaciones de la EPA (1987), diariamente se preparó 7.5 Litros de 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 los metales pesados mercurio y plomo se prepararon soluciones concentradas de 10 mgHg/L y 100 mgPb/l, usando patrones o soluciones estándar a una concentración de 1000mg/L marca Merck®. Se destaca que durante los primeros 42 días del estudio, se usaron concentraciones de 0.01 mg/L para Mercurio y 0.1 mg/L para Plomo, estas dosis eran 10 veces más altas de lo que permite la reglamentación Nacional en la Resolución 2115 de 2007 (MAVDT, 2007), pero debido a que en los reportes expedidos por el laboratorio externo, algunas veces los valores de concentración de estos metales eran indetectables (especialmente para el plomo), por ello se decidió incrementar las concentraciones a 0.1 mg/L para Mercurio y 0.3 mg/L para Plomo, durante los días restantes de estudio, evaluando una condición extrema y crítica de operación.

### 2.2 Operación y seguimiento de los filtros:

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 responde al requerimiento mínimo de agua sugerido por Howard & Bartram (2003) para el consumo humano y preparación de alimentos por persona.

Se recolectaron muestras diariamente de las variables de respuesta en el laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Santiago de Cali y con el fin de medir y validar resultados se enviaron cada 15 días a un laboratorio externo especializado muestras de Pb y Hg. En la Tabla 1 se especifica la frecuencia de medición de las variables objeto de estudio

Evaluación de la eficiencia de remoción de Mercurio y Plomo en el filtro EKOFIL PLUS usado en el tratamiento de agua a nivel familiar. Bioingeniería, (2018)

y en la Figura 3 se evidencia el diseño experimental que se usó en la investigación; se destaca que el sistema se alimentó con un sustrato sintético formado por metales pesados y compuestos orgánicos.

**Tabla 1. Variables de medición**

VARIABLES	UNIDADES	MÉTODO*	FRECUENCIA	A/E
pH**	Unidades	4500-H+B	Diaria	A/E
Conductividad**	μS/cm	2510B	Diaria	A/E
Turbiedad**	UNT	2130B	Diaria	A/E
Plomo	mg/l	SM3111B	2 veces al mes	A/E
Mercurio	mg/L	SM3112B	2 veces al mes	A/E

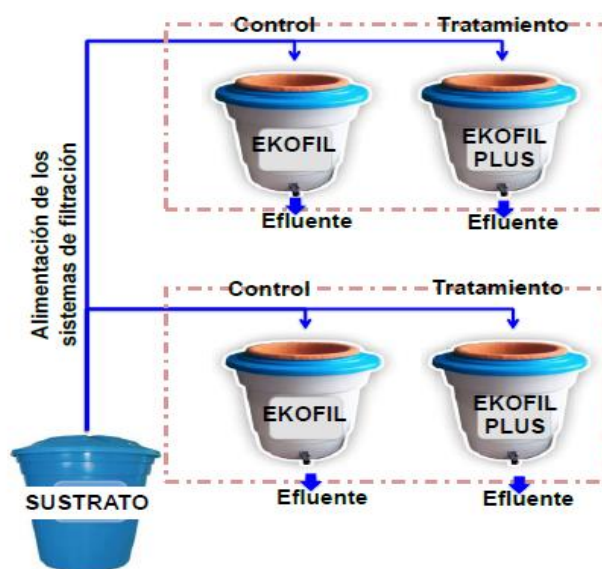
\* American Public Health Association [APHA], (2012).

\*\*Mediciones INSITU

A: Afluente

E: Efluente

**Figura 2. Esquema del diseño experimental**



Adaptado de: Ekofil de Replacol

### 2.3 Análisis de resultados:

Como variables de respuesta se decidió elegir los metales pesados, específicamente Mercurio y Plomo, para el análisis de estas se usaron herramientas de la estadística para establecer diferencias significativas, así como también se graficaron los datos haciendo uso de la aplicación de Microsoft Office denominada Excel.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Ajuste del sustrato sintético

En la Tabla 2 se muestra la variación promedio que tuvo el agua sintética durante el estudio, es importante resaltar que el valor de conductividad fue medido como indicador indirecto de la concentración de los sólidos disueltos totales - SDT (Spellman, 2003).

**Tabla 2. Características del agua sintética a lo largo del estudio.**

Variable	Unidad	n	Valor
pH*	Unidades	91	6.51-7.88
Conductividad*	uS/cm	91	194±74
Turbiedad*	UNT	91	2.3±0.6
Mercurio	mg/L	10	0.09±0.07
Plomo	mg/L	10	0.15±0.06

n = Número de muestras  
 \*Mediciones INSITU

En cuanto a resultados obtenidos, el agua sintética presentó valores de pH cercanos a la neutralidad y los valores de conductividad, turbiedad y metales variaron dentro de los rangos definidos por la normatividad Colombiana. Se evidenció que para los primeros 39 días, la concentración de plomo en el efluente filtrado era indetectable, pues se añadió una dosis muy baja por lo que se decidió incrementarla para poder evidenciar resultados de remoción. Como se indicó anteriormente las concentraciones de metales pesados con que se alimentaron los sistemas fueron elevadas, esto con el fin de identificar el grado de eficiencia de los filtros en la remoción de estos.

### 3.2 Operación y seguimiento de los filtros

La Tabla 3 sintetiza los datos que se obtuvieron de los sistemas en cuanto a variables de control (Conductividad, pH, Turbiedad) y de respuesta (Mercurio, Plomo), comparando la versión equipada con la barra de carbón activado (Ekofil Plus), con la normal (Ekofil) y los límites establecidos por la normativa.

**Tabla 3. Resultados de Operación de los filtros.**

Variable	Unidad	n	Ekofil	Ekofil Plus	Norma**
pH*	Unidades	91	6,78 – 8,74	6,87 – 8,47	6,5 – 9,0
Conductividad*	uS/cm	91	210 ± 70	199 ± 66	< 1000
Turbiedad*	UNT	91	0,99±0,8	0,92±0,40	2,0
Mercurio	mg/L	10	<0,001±0,013	<0,001±0,01	0,001
Plomo	mg/L	10	<0,01±0,01	<0,01	0,01

n= 91

\*Medición INSITU

\*\* Resolución 2115 de 2007 (MAVDT, 2007)

Se evidenció un incremento en el pH, el cual se presume ser producto de la alcalinidad que aporta la arcilla (Lantagne DS, 2001). Respecto a conductividad y turbiedad, estuvieron muy por debajo de los límites máximos permitidos, cumpliendo de esta manera con la reglamentación. A continuación, en la Figura 3 se muestran imágenes del seguimiento de los sistemas de filtración:

**Figura 3. Composición de los sistemas y preparación del sustrato sintético**



- A) Filtro con el agua sintética
- B) Incorporación de Metales pesados Pb y Hg
- C) Montaje experimental

- D) Limpieza del filtro
- E) Medición de variables de interés

### 3.3 Análisis de resultados

De acuerdo a una de las variables de control, la conductividad - CE a lo largo del estudio presentó valores dentro de los límites establecidos en la Resolución 2115 de 2007 (MAVDT, 2007), que indica que el agua para consumo humano debe tener una conductividad máxima de 1000 uS/cm. El valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos- SDT, por ello cuanto más alta es la concentración de SDT, mayor será el valor de conductividad en la solución, debido a que aquellos sólidos que se ionizan, tienden a aumentar la CE, por esto se concluye que la reducción de SDT estuvo en el mismo rango de la CE. En la Tabla 4 se muestra la variación que tuvo las variables de control.

**Tabla 4. Comportamiento del pH, Conductividad y Turbiedad en el estudio**

Parámetro	Punto de muestreo			
	Agua cruda	Filtro Ekofil	Filtro Ekofil Plus	
<b>Conductividad</b> uS/cm	Promedio	20	140	130
	DS	6	50	50
	Min	11	91	91
	Max	510	240	290
<b>pH</b> Unidades	Min	6,8	6,30	6,43
	Max	7,08	6,8	6,9
<b>Turbiedad</b> UNT	Promedio	0,47	0,46	0,48
	DS	0,03	0,04	0,04
	Min	0,4	0,35	0,37
	Max	0,53	0,52	0,57
<b>Mercurio</b> mg/L	Min	0.07	<0,001	<0,001
	Max	0.09	0,013	0,01
<b>Plomo</b> mg/L	Min	0.06	<0,01	<0,01
	max	0.15	0,01	-

n= 91

DS: Desviación estándar

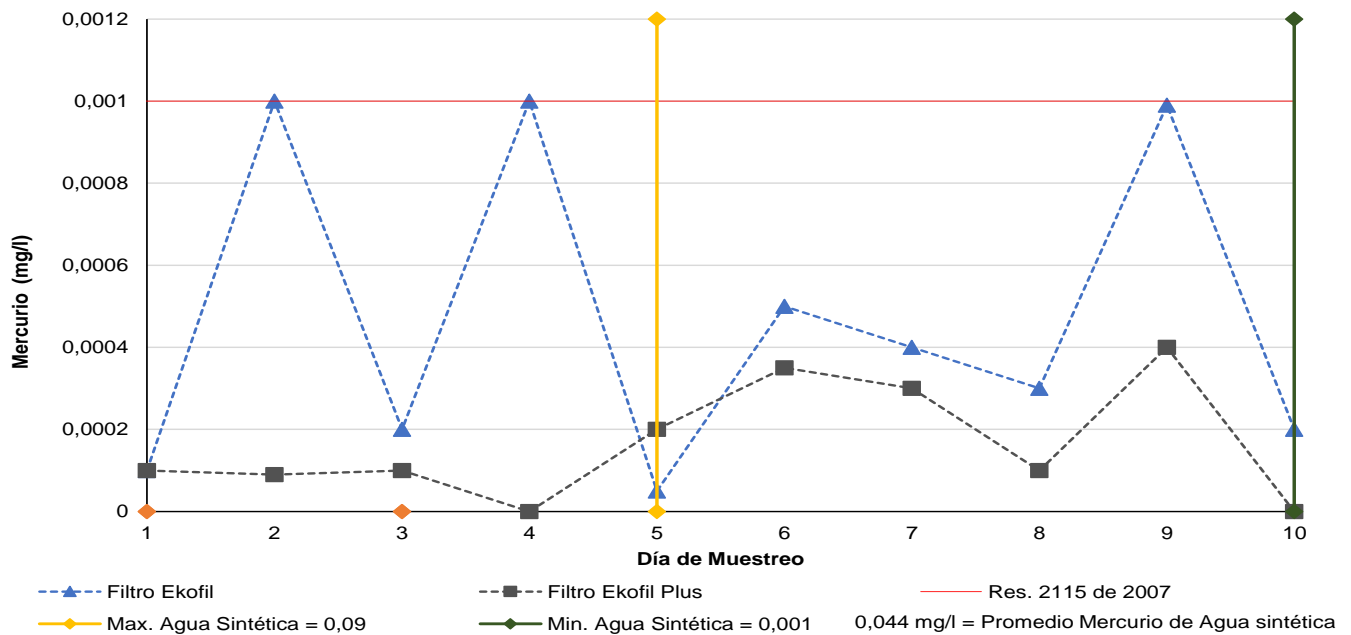
En cuanto al pH, el agua sintética tuvo concentraciones entre 6,51 y 7,88 unidades, y se observó durante la filtración valores que oscilaron entre 6,43 unidades y 7,1 unidades, evidenciando una remoción y cumpliendo con la reglamentación Res. 2115 de 2007 (MAVDT, 2007). Se destaca que en el efluente del filtro Ekofil Plus, se evidenciaron valores de pH cercanos a la neutralidad, en el orden de 6.9 unidades, se presume que esto fue consecuencia del desgaste que va teniendo por su uso y la alcalinidad que aporta la arcilla (Lantagne, 2001). Para la turbiedad los datos obtenidos cumplieron con el límite establecido, ya que se obtuvo valores de turbiedad por debajo de 2 UNT, indicando una remoción de turbiedad de 98% para el filtro Ekofil Plus y 94% para el filtro Ekofil.

Con relación a los metales pesados, se observó que los filtros Ekofil presentaron valores cercanos al límite permisible en la remoción de Mercurio y Plomo, lo cual demuestra que no es un sistema tan efectivo para eliminar metales pesados, problema que se relaciona con la ausencia de la barra de carbón que brinda un refuerzo en la filtración, algunos estudios reportan la gran capacidad de adsorción del carbón activado debido a las áreas porosas que van desde 500 hasta 1.500 m<sup>2</sup>/g, permitiendo eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio ambiente acuático (Rubio et. al, 2015).

La remoción para el filtro Ekofil Plus fue superior al 90% demostrando que el cartucho de carbón activado promovió la reducción de metales pesados, para el filtro Ekofil como se mencionó anteriormente no se evidenció una remoción considerable, su disminución osciló entre un 80% y 83%, mientras que otros filtros que incorporan pastillas cerámicas, como por ejemplo los sistemas Condorhuasi de Argentina, presentaron porcentajes de remoción entre 86% y 98% (Delgado, 2010). En la Figura 4 se muestra la eficiencia de remoción de Mercurio del agua de la versión Ekofil Plus. Sin

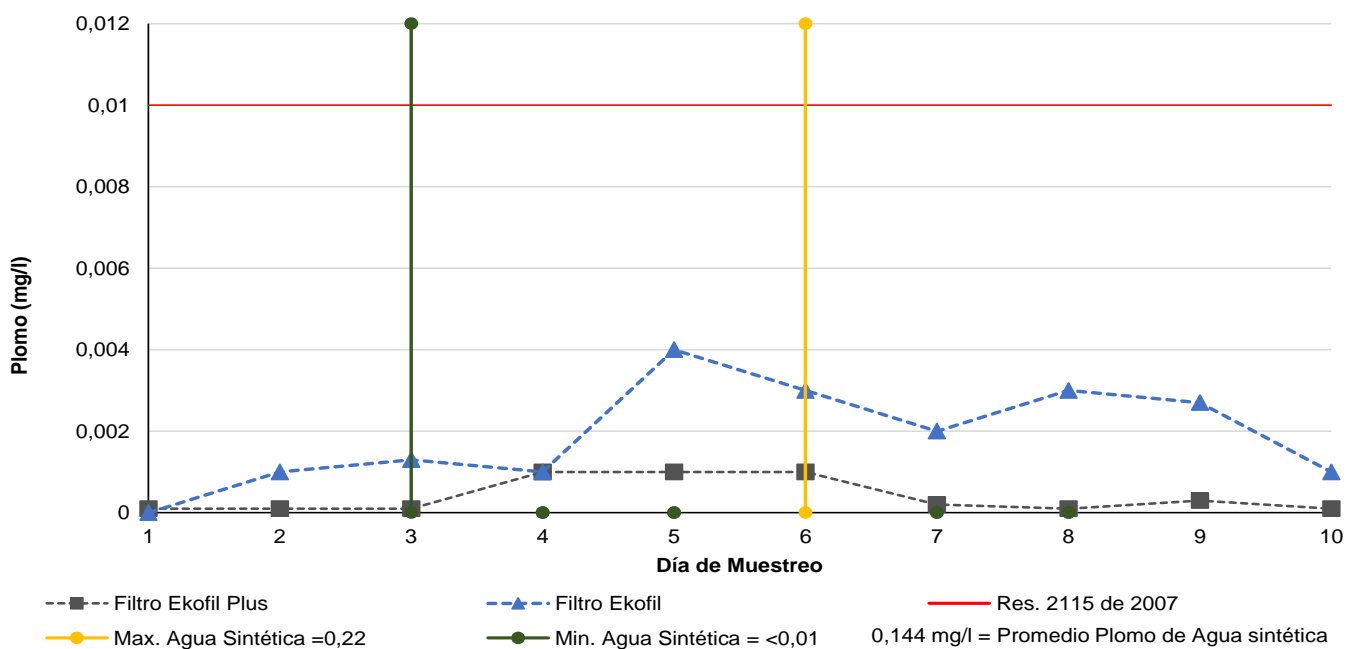
embargo, se muestran datos atípicos de Mercurio en el agua sintética debido al proceso de la conformación del mismo (Muestra 1 y 3), de acuerdo al valor promedio obtenido del agua sintética de este parámetro se evidencia una reducción desde 0.044 mg/L a una concentración <0,001mg/L del filtro Ekofil Plus.

**Figura 4. Eficiencia de remoción de Mercurio**



En la Figura 5 se evidencia la variación de Plomo en los sistemas de filtración donde se observó la superioridad de la versión Plus de los sistemas, es importante aclarar que al inicio de las muestras las concentraciones detectadas eran bajas porque el agua sintética no tenía la concentración suficiente como se mencionó antes. Se destaca que para los días 3, 4, 5, 7 y 8 se presentó valores de plomo en el agua sintética <0.001 demostrando de esta manera la efectividad de la barra de carbón activado, aunque es importante aclarar que la muestra 3 corresponde al periodo en que la concentración de este metal era demasiado baja.

**Figura 5. Eficiencia de Remoción de Plomo**



Los resultados mostraron que ambos sistemas lograron eliminar gran parte de los metales presentes en el agua, logrando eficiencias de remoción del 93% para Plomo y 90% para Mercurio. Pues de acuerdo con Guerra e 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). Existen diferentes estudios sobre sistemas de filtración de ollas cerámicas, por ejemplo, los realizados por Ludeña & Tinoco (2010) y Guerra e Hiyagon (2012), quienes obtuvieron resultados similares a los alcanzados en esta investigación, pues ellos reportaron eficiencias de remoción entre 50-100% para mercurio y 98.6% para plomo. La reducción de estos metales en la olla cerámica puede ser producto de 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).

Para finalizar se destaca que el agua filtrada, para todos los parámetros sometidos a estudio cumplieron con la reglamentación Nacional que debe cumplir el agua para consumo humano. Desde el punto de vista económico, los sistemas de filtración son una gran herramienta para tratar el agua debido a su facilidad de manejo y costo, por lo que serían ideales para implementarse en comunidades alejadas de centros urbanos.

#### 4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del sustrato sintético se encontró que cumplió con los valores estimados para su conformación, aunque se destaca que en la adición de los metales pesados Hg y Pb deben ser exactos para evitar alteraciones en los resultados.

Los filtros de olla cerámica, usados como sistemas de tratamiento de agua a nivel doméstico, y evaluados en el presente estudio, mostraron sus características adsorbentes debidas al material de la olla, constituido principalmente de arcilla, por ello se recomienda que cada vez que se alimenten los sistemas de filtración se lave la vasija con abundante agua antes de llenarla con el nuevo sustrato, pues las porosidades de la arcilla pueden taparse y no cumplir eficazmente su función.

Los resultados del agua filtrada en términos de pH, Conductividad y Turbiedad se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la Resolución 2115 de 2007, garantizando las características fisicoquímicas del agua para consumo humano. Para el pH se presentó valores alrededor de la neutralidad debido a la alcalinidad que aportó la arcilla del filtro cerámico al agua filtrada; parámetros como la conductividad y turbiedad también estuvieron acordes a los límites establecidos.

El porcentaje de remoción de metales pesados fue superior al 90% en el sistema Ekofil Plus demostrando que la presencia de cartucho de carbón activado promueve la reducción de estos parámetros, para el filtro Ekofil se presentó una remoción de metales pesados entre un 80% y 83%, se presume que a pesar que la remoción fue considerable la ausencia del cartucho de carbón activado hizo que no se presentará una remoción similar al de la versión Plus.

Entorno a la remoción del plomo, mediante la praxis se evidenció que la presencia de dicho metal disminuyo un 93% para el filtro Ekofil Plus, acudiéndole la remoción a la capacidad adsorbente de la arcilla. Por consiguiente, el sistema de filtración con olla cerámica para la eliminación de plomo reporta un porcentaje de eliminación efectivo.

Como estrategia para mejorar el desempeño de los sistemas de filtración en términos de remoción de sustancias de interés sanitario, se recomienda al fabricante evaluar y estandarizar los métodos de fabricación de la vasija de arcilla, ya que este es un proceso manual, por lo que varían algunas características entre cada vasija fabricada.

## 5. REFERENCIAS

Cisneros, B. E. J. (2005). Libros MEXICO. In E. L. S.A. (Ed.), *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Mexico.

Clasen, Parra, S., B., & S., C. (2005). Household-based ceramic water filters for the prevention of diarrhea: A randomized, controlled trial of a pilot program in Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 73(4), 790–795.

Covarrubias, S. A., & Peña Cabrales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7–21. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>

González., M. G. D. A. D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Arch Argent Pediatr*, 110(3)(3), 259–264

Guerra Alarcón Alfredo, H. A. (2012). Tratamiento de agua para remoción de plomo aplicando nanotecnología. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3362>

Howard, G., Bartram, J. (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. World Health Organization. WHO/SDE/WSH/03.02.

Jouravlev, A. (2004). Recursos Naturales E Infraestructura: Los Servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. In CEPAL-SERIE Recursos Naturales e Infraestructura (Vol. 74). Disponible en: <https://doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000>

Lantagne, D. S. (2001). Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver-Impregnated Ceramic Filter: Intrinsic Effectiveness and Field Performance in Rural Nicaragua. *Filtration*, 1–79. Disponible en: <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele Lantagne, 12-01.pdf>

Lerma, D. (2012). Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura. 1–73. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2710/6281683L616.pdf;jsessionid=955C1D6009979CD8CCD5939D5EC4609F?sequence=1>

Lozada J. (2014). Presencia de metales pesados en tejido de peces. *Universidad de Nariño*, 1–11. Retrieved from <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1563/1901>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible - MADS. (2012). Diagnostico Nacional de Salud Ambiental.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible - MADS. (2015). Resolución 631 de 2015 Artículo 1o. 2015(49). Disponible en: [http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_minambienteds\\_0631\\_2015.htm](http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_0631_2015.htm)

Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución Numero 2115. Minambiente, 23. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Nava-Ruiz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140–147.

Organización de las Naciones Unidas - OMS. (2012). Centro de Prensa. Who, 318.

Pereira, D., Urrego, J., & Martínez, N. (2017). Informe sectorial: Agua potable y Saneamiento básico. Findeter, 13.

Pérez-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.

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

Evaluación de la eficiencia de remoción de Mercurio y Plomo en el filtro EKOFIL PLUS usado en el tratamiento de agua a nivel familiar. *Bioingeniería*, (2018)

Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>

Rubio, D. I. C., Calderón, R. A. M., Gualtero, A. P., Acosta, D. R., & Rojas, I. J. S. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 73–90.

Sobsey, M. D. (2004). Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply. *World Health*, 8(11), 1–83. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>

Soriano Ortiz, F. H., & Soriano Ortiz, F. H. (2014). Eficiencia del filtro de arcilla en la purificación del agua para consumo humano en Cajamarca. Universidad Privada Del Norte. Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/6813>

Spellman, F. R., & Water. (2003). *Water and Wastewater Handbook of Treatment Plant Operations*. In Crc (Vol. 23). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(12\)00252-6](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(12)00252-6)

Pérez-Vidal, A. Ph, D., Gómez, J. D., Paola, G., & Rojas, G. (2014). *Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano*. 8, 11–20.

UNAL. (2019). Metales pesados en suelos del Valle no representan riesgo. *Unimedios*, (Cvc), 1–2. Retrieved from <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/metales-pesados-en-suelos-del-valle-no-representan-riesgo.html>

Vidal Henao, S. M. (2010). Evaluación de la efectividad del filtro de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medida por pruebas físicoquímicas y microbiológicas. *Repositorio UTP*, 76.

World Health Organization. (2011). Guidelines for Drinking-water Quality 4th ed., WHO, Geneva, p. 340. *World Health Organization*. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)

World Health Organization. (2012). Progress on Drinking Water and Sanitation: 2012 Update. *Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*