

EFFECTIVIDAD DE LOS LECHOS FILTRANTES EN LA REDUCCIÓN DE SULFATOS Y CARBONATO DE CALCIO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

Effectiveness of filter beds in the reduction of sulphates and calcium carbonate in water for human consumption.

^{1,3}Marco Pino-Vallejo* , ¹Franklin Vásconez Basantes , ¹Martha Pazmiño Montero , ²Patricia Andrade Orozco .

¹Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento Ciencias de la Tierra y de la Construcción, Sangolquí, Ecuador.

²Universidad Nacional de Chimborazo, Ingeniería Ambiental, Riobamba, Ecuador.

³Instituto Superior Tecnológico República Federal de Alemania, Desarrollo Ambiental, Riobamba, Ecuador.

*marcopinovallejo@hotmail.com

Resumen

Los habitantes del poblado de Salache, Cotopaxi-Ecuador, consumen agua de fuentes subterráneas. Con la finalidad de conocer la calidad del agua se realizó pruebas de laboratorio determinándose que el agua contiene 450 mg L⁻¹ de sulfatos, así como 520 y 583 mg CaCO₃ L⁻¹ de alcalinidad y dureza respectivamente. La norma ecuatoriana indica que los sulfatos deben encontrarse en 200 mg L⁻¹, y que la alcalinidad al igual que la dureza no deben sobrepasar los 500 mg CaCO₃ L⁻¹. Mediante pruebas experimentales de filtración descendente se comprobó la efectividad individual de los materiales filtrantes arena, zeolita y resina catiónica de ácido fuerte, en la remoción de las concentraciones de sulfatos y carbonato de calcio. La filtración en lecho de arena redujo las concentraciones de alcalinidad a 340 mg CaCO₃ L⁻¹, dureza a 225 mg CaCO₃ L⁻¹ y sulfatos a 315 mg L⁻¹. El lecho de zeolita, redujo la alcalinidad a 280 mg CaCO₃ L⁻¹, dureza a 257 mg CaCO₃ L⁻¹ y sulfatos a 320 mg L⁻¹. La resina catiónica de ácido fuerte tuvo mayor efectividad reduciendo la alcalinidad a 198 mg CaCO₃ L⁻¹, la dureza a 180 mg CaCO₃ L⁻¹ y sulfatos a 120 mg L⁻¹.

Palabras claves: Filtro descendente, Captación, Intercambio iónico, Adsorción.

Abstract

The inhabitants of the town of Salache, Cotopaxi-Ecuador consume water from underground sources. In order to know the quality of the water, laboratory tests were carried out, determining that the water contains 450 mg L⁻¹ of sulfates, as well as 520 and 583 mg CaCO₃ L⁻¹ of alkalinity and hardness, respectively. The Ecuadorian standard indicates that sulfates must be at 200 mg L⁻¹, and that alkalinity as well as hardness must not exceed 500 mg CaCO₃ L⁻¹. Through experimental tests of downward filtration, the individual effectiveness of the filter materials sand, zeolite and strong acid cationic resin, in removing the concentrations of sulfates and calcium carbonate, was verified. The sand filtration results allowed the removal of alkalinity concentrations to 340 mg of CaCO₃ L⁻¹, hardness to 225 mg of CaCO₃ L⁻¹ and sulfates to 315 mg L⁻¹. The zeolite bed reduced alkalinity to 280 mg of CaCO₃ L⁻¹, hardness to 257 mg of CaCO₃ L⁻¹ and sulfates to 320 mg L⁻¹. The strong acid cationic resin was more effective in reducing alkalinity to 198 mg of CaCO₃ L⁻¹, hardness to 180 mg of CaCO₃ L⁻¹ and sulfates to 120 mg L⁻¹.

Keywords: Downward filter, Capture, Ion exchange, Adsorption.

Fecha de recepción: 28-06-2021

Fecha de aceptación: 03-09-2021

Fecha de publicación: 13-10-2021

I. INTRODUCCIÓN

El agua de consumo humano deber ser abastecida a la población de manera suficiente, segura y accesible (1). La Organización Mundial de la Salud, asegura que alrededor de 1.2 billones de personas no tienen acceso al agua potable (2). Existen sitios con disponibilidad de agua pero con indicios de contaminación que puede provocar enfermedades al ser consumida (3). En varios países de América Latina y el Caribe, las enfermedades ocasionadas por el consumo de agua no potabilizada se encuentran entre las diez causas más frecuentes de mortalidad (4). Para que el agua pueda ser consumida debe ser sujeta a procesos de tratamiento para su potabilización, como la captación, canalización, floculación, decantación, filtración, cloración o desinfección, alcalinización y distribución con el fin de lograr que sus características físicas y químicas cumplan con las normativas estipuladas (5,6).

El Gobierno del Ecuador tiene como meta lograr que la población logre el acceso universal y equitativo al agua potable para el año 2030, siendo éste uno de los Objetivos de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (7). Las cifras estadísticas según la medición de indicadores de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) realizadas por el Instituto Nacional de Estadística indican que en el Ecuador el 67.80 % de los ecuatorianos tienen acceso al agua por medio de tubería, pozo, manantial protegido o agua embotellada (8).

En el poblado de Salache, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, el agua que se suministra a sus 3250 habitantes es obtenida de tres fuentes subterráneas ubicadas en el sector denominado San Agustín. Al igual que el agua superficial, la composición química del agua del subsuelo es muy variable, esto dependerá de la localización y de la profundidad del acuífero (9). El caudal que proveen los pozos (8.01 L s^{-1}), es conducido mediante tuberías a un tanque de almacenamiento para luego ser distribuida a la población.

La composición química del agua subterránea es el resultado de continuos procesos de interacción entre el agua de precipitación que se infiltra en el terreno y la litología por donde circula (10). Con la finalidad de conocer la calidad del agua se realizó pruebas de laboratorio determinándose que el agua contiene 450 mg L^{-1} de sulfatos, así como

520 y $583 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ de alcalinidad y dureza respectivamente. Según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico, los sulfatos deben encontrarse en concentraciones no mayores a 200 mg L^{-1} y la alcalinidad al igual que la dureza no deben tener concentraciones mayores a $500 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ (11).

El consumo de agua con una concentración sulfato de sodio y sulfato de magnesio en el orden de más de 100 mg L^{-1} tiene en el ser humano un efecto laxante y en concentraciones superiores a los 200 mg L^{-1} favorece a la corrosión de los metales (12). El carbonato de calcio en concentraciones mayores a los $500 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ puede producir asperezas en la piel, cálculos renales, aumentar la incidencia de ataques cardíacos, anomalías del sistema nervioso y varios tipos de cáncer (13).

La investigación tiene por objetivo comprobar la efectividad de los lechos filtrantes de arena, zeolita y resina catiónica ácido fuerte en la remoción de las concentraciones de sulfatos y carbonato de calcio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en Salache, Cotopaxi-Ecuador (0983333 E; 786167 S). Para determinar la efectividad individual de los lechos filtrantes (arena, zeolita y resina catiónica) en la remoción de las concentraciones de carbonato de calcio y sulfatos disueltos en el agua, se construyó un filtro experimental de flujo descendente. Este tipo de filtro trabaja a gravedad permitiendo que el agua atraviese el lecho filtrante pudiendo generar cavidades que se llenan y unen entre sí, formando conductos de un tamaño mayor al de los poros circundantes en los cuales se deposita el material en suspensión, pudiendo incrementar su tamaño hasta atravesar todo el lecho filtrante (14).

2.1. Conformación del filtro descendente

Para la construcción del filtro descendente, se utilizó un tubo de PVC de 200 mm de diámetro interno y 2 m de largo. En un extremo superior, se instaló el regulador de caudal y en el inferior, se incorporó el sistema de drenaje, compuesto de un obturador de PVC al que se le realizaron 22 orificios de 10 mm de diámetro y se acopló una malla plástica de 1/16" con el objetivo de retener

la capa de soporte y el material del lecho filtrante. Para recolectar el agua filtrada el equipo se colocó sobre un recipiente con capacidad de 5 L, como se ilustra en la Figura 1.

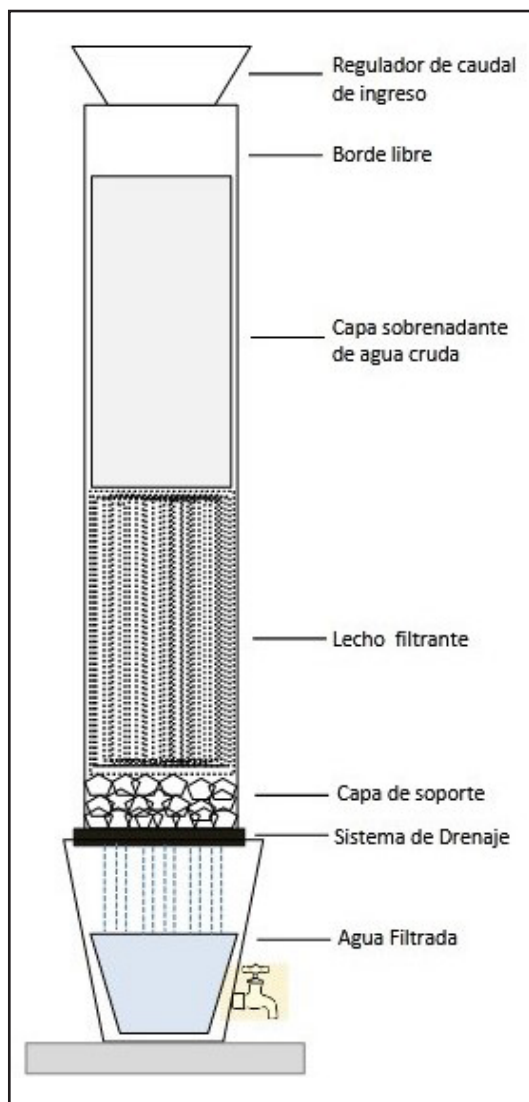


Figura 1. Estructura del filtro descendente

2.2. Configuración de los medios granulares

Los ensayos de tamizado para establecer el tamaño de partícula de los materiales: a) capa de soporte; y b) medios filtrantes, se realizaron en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

a) Capa de soporte: Es una capa de material pétreo granular grueso cuya función es evitar que el material filtrante pase a través de los drenajes del filtro (15). En el filtro experimental se utilizó piedra de $\frac{3}{4}$ " con un volumen de 0.05 m^3 , con una altura de cama de 0.025 m .

b) Medios filtrantes: Son materiales granulares con dimensiones moleculares que les permite captar los sólidos presentes en el agua por procesos de absorción o intercambio iónico. Para que sea eficaz la filtración, se requiere que los sólidos puedan penetrar profundamente dentro del lecho filtrante y no bloquearlo en la superficie (16). A continuación se describen los materiales utilizados como medios filtrantes:

- **Arena:** Compuesto por sílice generalmente en forma de cuarzo su diámetro de partícula va desde 0.10 a 3 mm . Este tipo de material tiene la capacidad de captar dentro de su estructura porosa sólidos suspendidos, compuestos orgánicos e inorgánicos, virus y bacterias (17). Para la experimentación en el filtro descendente se colocaron 0.16 m^3 de arena de río lavada de $\sim 0.425 \text{ mm}$, Tamiz No. 40, con una altura de cama de 0.80 m .

- **Zeolita:** Son aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalinotérreos predominantemente de sodio y calcio (18). Las zeolitas son formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares de 3 a 13 nm con una estructura microporosa que tiene una fuerza de cohesión compensada que es la responsable de las propiedades de adsorción de los sólidos (19). Para la experimentación en el filtro descendente se utilizaron 0.16 m^3 de zeolita (Clinoptilolita) con un tamaño de partícula de $\sim 3 \text{ nm}$, Tamiz N° 6, con una altura de cama de 0.80 m .

- **Resinas catiónicas de poli estireno:** Se caracterizan por intercambiar iones positivos (cationes), funcionan en soluciones con cualquier pH y se destina a aplicaciones de suavizado de agua, como primera columna de des ionización en los des mineralizadores o para lechos mixtos (20). Las resinas tienen una morfología corrugada definida de tipo esférica y de acuerdo a su composición permiten intercambiar los iones indeseables que se encuentran disueltos en el agua por iones deseables que están presentes en la resina (21,22,23). Las resinas catiónicas de poli estireno se clasifican en: a) Resinas catiónicas ácido fuerte, b) Resinas catiónicas ácido débil, c) Resinas aniónicas base fuerte y, d) Resinas aniónicas base débil (24). Considerando los parámetros fisicoquímicos del agua de Salache se utilizó en el filtro descendente 0.16 m^3 de resina catiónica de poli estireno de tipo ácido fuerte de $< 0.315 \text{ mm}$, Tamiz N° 45, con una altura de cama de 0.80 m .

2.3. Proceso de filtración

Es el paso de un fluido a través de un medio poroso el mismo que retiene la materia que se encuentra en suspensión (25). El proceso de filtración se realizó in situ, el agua cruda se recolectó directamente del tanque de almacenamiento de la comunidad de Salache.

Tiempo de Retención hidráulica (TRH): Es un proceso continuo, considerado como el tiempo en el que un fluido permanece en un espacio, se define como el cociente entre volumen total del fluido (V) en litros y el caudal a tratar (Q) en L min⁻¹, se calcula con la ecuación (26).

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Se ingresó al filtro un flujo constante de 0.67 L min⁻¹ de agua cruda, manteniendo un sobrenadante de 10 L. Previo al proceso experimental, se pasaron 20 litros de agua cruda por cada lecho filtrante. El tiempo de retención hidráulica durante el procedimiento tuvo un promedio de 20 minutos en cada lecho filtrante, en base a este tiempo se tomaron 5 muestras identificándolas como M1, M2, M3, M4 y M5.

2.4. Efectividad del proceso de filtración

Para determinar el porcentaje de remoción de las concentraciones de carbonato de calcio y sulfatos, posterior a la filtración se utilizó la ecuación (27):

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100 \quad (2)$$

Donde: VPi = Valor de Parámetro inicial y VPf = Valor del Parámetro final (VPf).

El análisis físico-químico de las muestras se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnico de la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado - Regional Yanahurco. Para la Alcalinidad se utilizó el método de titulación (2340-B), para la Dureza el método titulométrico de EDTA (2340-C) y para los Sulfatos el método Turbidimétrico (4500-SO₄²⁻E).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados de los análisis físico-químicos del agua filtrada en de cada medio filtrante. Las concentraciones de las muestras se

encuentran en función del tiempo de retención hidráulica y la eficiencia de los materiales filtrantes en porcentajes de remoción.

Alcalinidad: Entre los iones alcalinotérreos los más comunes en las aguas naturales son el Ca²⁺ y el Mg²⁺, que se originan debido a los procesos de disolución de minerales calcáreos, como la calcita CaCO₃ o la dolomita MgCa(CO₃)₂ (28). El agua que consumen los pobladores de la comunidad de Salache tiene 520 mg L⁻¹ de CaCO₃. El límite máximo permisible según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico es de 500 mg L⁻¹ de CaCO₃.

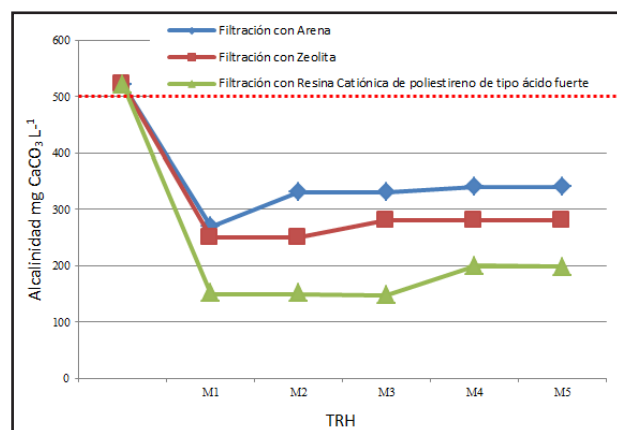


Figura 2. Tiempo de retención hidráulica y concentración de alcalinidad.

En la Figura 2, se tiene la representación de los resultados de laboratorio del agua filtrada, en donde se puede apreciar que la resina cationica ácido fuerte es el medio filtrante que tiene mayor afinidad con el carbonato de calcio reduciendo por intercambio iónico la concentración de alcalinidad a 198 mg L⁻¹. El proceso zeolítico adsorbe el carbonato de calcio y lo estabiliza en 280 mg L⁻¹ mientras que el lecho de arena, es el medio filtrante con menor capacidad de captación del mineral, regulando la concentración en 340 mg L⁻¹.

Lecho Filtrante	Alcalinidad en mg L ⁻¹ de CaCO ₃		
	VPi	VPf	% Remoción
Arena	520	340	35
Zeolita	520	280	46
Resina Catiónica ácido fuerte	520	198	62

Tabla 1. Efectividad del proceso de filtración en la remoción de alcalinidad

En la Tabla 1, se exponen los resultados de la efectividad del proceso de filtración, concluyendo que los materiales utilizados reducen a niveles permisibles la alcalinidad del agua. La resina cationica de ácido fuerte alcanza el 62% de remoción de carbonato de calcio, seguido de la zeolita

y la arena con 46% y 35% respectivamente.

Dureza: Se considera agua dura aquella que contiene minerales, sobre todo carbonatos de calcio CaCO_3 y carbonatos de magnesio MgCO_3 y bicarbonatos de calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ y bicarbonatos de magnesio $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (29). El agua que consumen los pobladores de la comunidad de Salache contiene 583 mg L^{-1} de CaCO_3 , este valor la clasifica como agua muy dura. El límite máximo permisible según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico es de 500 mg L^{-1} de CaCO_3 .

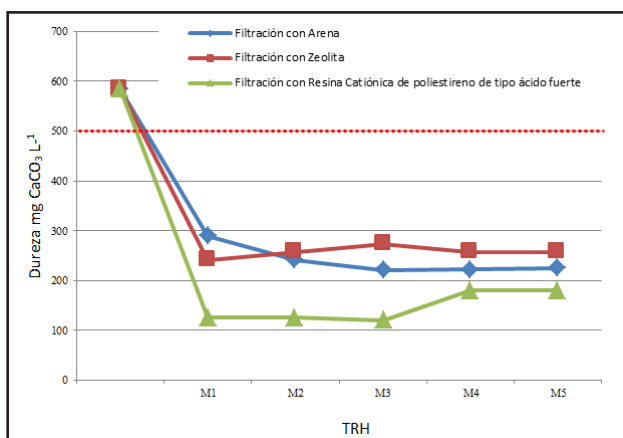


Figura 3. Tiempo de retención hidráulica y concentración de dureza.

En la Figura 3, se ilustran los datos de laboratorio de las muestras filtradas, comprobándose que el intercambio iónico de la resina estabiliza la dureza del agua a 180 mg L^{-1} . El medio poroso de la arena es apropiado para ablandar el agua reduciendo su concentración a 225 mg L^{-1} . Con menor funcionalidad se encuentra el proceso zeolítico, fijando la concentración de carbonato de calcio en 257 mg L^{-1} .

Lecho Filtrante	Dureza en mg L^{-1} de CaCO_3		
	VPi	VPf	% Remoción
Arena	583	225	61
Zeolita	583	257	56
Resina Catiónica ácido fuerte	583	180	69

Tabla 2. Efectividad del proceso de filtración en la remoción de dureza.

En la Tabla 2, los resultados revelan que los tres lechos filtrantes reducen a niveles permisibles las concentraciones de dureza. Se considera a la resina catiónica ácido fuerte como un material efectivo para tratar concentraciones elevadas de dureza con un 69% de remoción.

Sulfatos: El ión sulfato, SO_4^{2-} , se encuentran en el agua subterránea cuando está atraviesa por

menas de sulfato o de esquistos, corresponden a sales moderadamente solubles a muy solubles (30). El agua que consumen los pobladores de la comunidad de Salache contiene 450 mg L^{-1} . El límite máximo permisible según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico es de 200 mg L^{-1} .

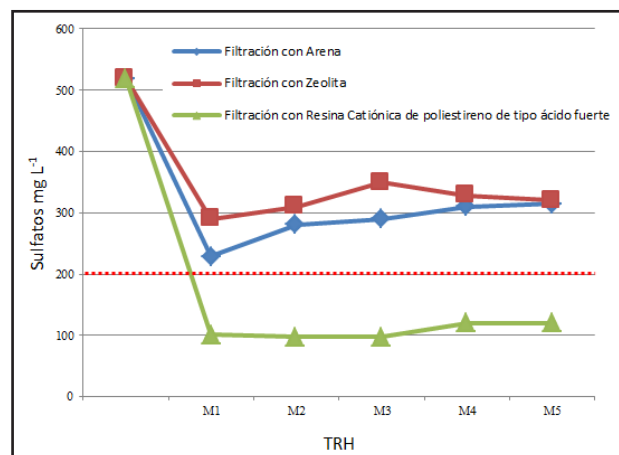


Figura 4. Tiempo de retención hidráulica y concentración sulfatos.

En la Figura 4, se observan los resultados del agua filtrada, verificándose una elevada afinidad de retención de sulfatos en el lecho de resina catiónica, reduciendo su concentración a 120 mg L^{-1} . La filtración del agua en medio poroso de arena y el proceso zeolítico no logran estabilizar la concentración de sulfatos.

Lecho Filtrante	Sulfatos en mg L^{-1}		
	VPi	VPf	% Remoción
Arena	450	315	30
Zeolita	450	320	29
Resina Catiónica ácido fuerte	450	120	73

Tabla 3. Efectividad del proceso de filtración en la remoción de dureza.

A partir de los resultados expuestos en la Tabla 3, se concluye que los tres lechos filtrantes reducen las concentraciones de sulfatos, sin embargo las concentraciones de las muestras de agua obtenida de los lechos de arena y de zeolita no cumplen con los límites permisibles. La resina catiónica ácido fuerte tiene una remoción del 73% de sulfatos, cumpliendo con la concentración permisible por la norma ecuatoriana.

IV. CONCLUSIONES

El agua que se suministra a la población de Salache, se clasifica como muy dura debido a su alta concentración de carbonato de calcio.

La filtración en lecho de arena redujo las concentraciones de carbonato de calcio a niveles permisibles, excepto la concentración de sulfatos.

El proceso de filtración en lecho de zeolita, fija las concentraciones de carbonato de calcio a niveles aptos para el consumo humano, pero no es

funcional en la remoción de sulfatos.

La filtración en lecho de resina catiónica ácido fuerte presenta mayor efectividad en la remoción de las concentraciones de carbonato de calcio y sulfatos, cumpliendo con los valores que establece la norma haciendo NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico.

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera agenda. Ginebra, 2011. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
2. Organización de las Naciones Unidas. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás, Paris, 2019. Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
3. Rodríguez J, Ortiz D, Rodríguez E, Santos E. Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleífera. Rev. Lasallista de Investigación, 15(2), pp. 121-122, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22507/rli.v15n2a9>.
4. Del Puerto Rodríguez A, Rojas M, Iglesias A. Calidad del agua y enfermedades de transmisión digestiva. Revista Cubana de Medicina General Integral. 1999; 15(5):595-502.
5. Gutiérrez-Rosero J, Ramírez-Fajardo I, Rivas R, Linares B, Paredes D. Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 2014; 13 (5), p.248.
6. Cogollo J. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de Aluminio. Rev. DYNA.2010; 78(165), p.1.
7. Secretaria Técnica Planifica Ecuador. Informe de avance del cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, Quito, Planifica Ecuador. 2019, p.245.
8. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Medición de los indicadores de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) en Ecuador, Quito, INEC.2019, 29p.
9. Orozco, C., Pérez, A., González, N., Rodríguez, F. J. y Alfayate, J. M. Contaminación ambiental: Una visión desde la química. Ed. Thomson, España. 2003, p. 31, 41-62.
10. González-Abraham A, Fagundo-Castillo J, Carrillo-Rivera J, Rodríguez-Estrella R. Geoquímica de los sistemas de flujo de agua subterránea en rocas sedimentarias y rocas volcánicas de Loreto, BCS, México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 2012; 64 (3), México. Obtenido de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222012000300005
11. Servicio Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1108 sobre Agua Potable, Quito, INEN. 2011; p.126.
12. Gallego A., et al. Experimentación en química analítica, Madrid, UNED. 2015; p.222.
13. Rodríguez R. La dureza del agua. Buenos Aires, Editorial Universidad Tecnológica Nacional. 2010. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf
14. Ordoñez J, Pesantes W. La filtración gruesa, aplicada al tratamiento de aguas superficiales, tesis (Ingeniería), Cuenca, Universidad de Cuenca. 2017; p.101.
15. Servicio Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 2 149:98 sobre: Medios filtrantes granulados utilizados en el tratamiento de aguas, Quito, INEN. 1998; p.14.
16. Suárez J, Jácome A, Rodríguez P. Filtración en medio granular (FT-TER-002), Coruña, Universidad de La Coruña-España. 2014; p.43.
17. Payán G. Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia orgánica para el tratamiento de agua (Doctorado en Ciencias de Materiales), México, Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. 2016; p.141.

18. Clarke C. Zeolites: Take off for the Tuff Guys. *Industrial Minerals*. 1980; p.21-32.
19. Curi A, Granda W, Lima H, Sousa W. Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros, Brasil, Universidade Federal de Ouro Preto. 2006.
20. CIDI, Grupo de Investigadores Ambientales. Reuso de Aguas Industriales, intercambio iónico, Colombia, CIDI. 1999; p.20-27.
21. Lago J, Fernández J, Díaz D. Minimización de los residuos provenientes de la regeneración de las Resinas de las Plantas Desmineralizadoras del CRP-AMUAY. *Rev. Fac. Ing. UCV*. 2005; 20 (4). Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652005000400004
22. Cjuno J, Arroyo J, Ale N, Pacheco E, Costilla J, Cubas R. Síntesis de un intercambiador catiónico a partir de poli estireno comercial / residual. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*. 2005; 8 (1). Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/ing_quimica/v08_n1/pdf/a01v8.pdf
23. Flores R, Ortiz H, Olguín M, Hernández M, García H. Caracterización y disposición de resinas de intercambio iónico utilizadas en instalaciones nucleares. Primer Congreso Americano del IRPA 2006/First American IRPA Congress. 2006. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/115/37115844.pdf
24. Sánchez C. Intercambio Iónico (FT-TER-006). Universidad Da Caruña. Serie: Tratamientos Terciarios. 2015, 4p.
25. Visbal L, Rozo A. Diseño de un Sistema de Filtración Continua Arena-Carbón Activado como herramienta Didáctica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, Colombia, Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño, Universidad de San Buenaventura. 2018.
26. Balaguer E. Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales procedentes de una tenería y optimización de la fase de sedimentación, tesis (Maestría en seguridad industrial y medio ambiente), España, Universidad Politécnica de Valencia. 2011; p.116.
27. Palta-Prado G, Morales-Velasco S. Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Rev.Bio.Agro*. 2013; 11(2). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a07.pdf>
28. Doménech X. El medio hídrico terrestre. 3ra. edición. Ed. Miraguano, Madrid. 2000; p. 17-35.
29. Nebel B. J, Wright R. T. Ciencias ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible. 6ta. Edición. Ed Pearson, México. 1999; p. 263-290.
30. Rigola M. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Ed. Productica, España. 1989, 11(13), p32-41.