

Sistema de osmosis inversa en remoción de arsénico de agua subterránea en Pacora

Reverse osmosis system in arsenic removal from groundwater in Pacora

GUEVARA COLLORI, Miguel Angel¹; SAAVEDRA VERA, Oscar Jahiro²; REUPO PERICHE, José Teodoro³;
GAMARRA GONZÁLES, Julissa del Rocío⁴; VASQUEZ GARCIA, Antero Celso⁵^{1,2,3,5}Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo⁴Universidad César Vallejo

RESUMEN

La contaminación por arsénico del agua subterránea de varios distritos de la provincia de Lambayeque ha originado que esta no sea bebible. El objetivo de este estudio fue determinar la eficiencia del sistema de ósmosis inversa en la remoción de arsénico en aguas subterráneas del caserío Las Juntas Pacora, Lambayeque, tratadas con 1, 2 y 3 filtros de carbón activado; las muestras de agua fueron analizadas en dos series (una con filtro de carbón activado y otra con el sistema de ósmosis inversa). Muestras del agua subterránea y del agua tratada por ósmosis inversa se trasladaron hasta el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, en donde con la técnica de Espectrometría de Masas por Plasma Inducido Acoplado (ICPMS) se determinaron las concentraciones de metales totales. Los resultados mostraron alta eficiencia del sistema de ósmosis inversa, en el tratamiento del agua removiendo el arsénico desde 0.018 mg/L hasta 0.0049 mg/L lo que representa un 72.78% de eficiencia, con estas características el agua sería apta para el consumo de los pobladores de la zona compatible con el decreto supremo 031- 2010 – SA.

Palabras clave: Arsénico, agua subterránea, ósmosis inversa, ICPMS.

ABSTRACT

Arsenic contamination of groundwater in several districts of the province of Lambayeque has made it undrinkable. The objective of this study was to determine the efficiency of the reverse osmosis system in the removal of arsenic in groundwater from the village of Las Juntas Pacora, Lambayeque, treated with 1, 2 and 3 activated carbon filters; The water samples were analyzed in two series (one with an activated carbon filter and the other with the reverse osmosis system). Samples of groundwater and water treated by reverse osmosis were taken to the Cajamarca Regional Water Laboratory, where the total metal concentrations were determined using the Induced Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS) technique. The results showed high efficiency of the reverse osmosis system, in the treatment of water, removing arsenic from 0.018 mg/L to 0.0049 mg/L, which represents 72.78% efficiency, with these characteristics the water would be suitable for consumption by the inhabitants of the area compatible with the supreme decree 031-2010 – SA.

Keywords: Arsenic, groundwater, reverse osmosis, ICPMS.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista UCV HACER Campus Chiclayo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

Recibido: 15 de julio de 2022

Aceptado: 30 de setiembre de 2022

Publicado: 01 de octubre de 2022

¹Egresado de la Facultad Ciencias Biológicas, Asistente en Investigación Ambiental Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, e-mail: leeguimlegna1107@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-3018-9233>, Perú.

²Egresado de la Facultad Ciencias biológicas, Asistente en Investigación Ambiental Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, e-mail: jahirosaavedra@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-9332-0307>, Perú.

³Licenciado en Biología Microbiología-Parasitología, Maestro en Ciencias con Mención en Microbiología, Docente Principal Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, e-mail: jreupo@unprg.edu.pe,  <https://orcid.org/0000-0003-2030-3191>, Perú.

⁴Ingeniera Química, Maestra en Ciencias de la Educación con mención en Docencia y Gestión Universitaria, Doctora en Ciencias Ambientales Docente Universidad César Vallejo, e-mail: juli_0549@hotmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-7629-6475>, Perú.

⁵Biólogo Pesquero, Maestro en Ciencias con mención en Evaluación y Administración de Recursos Pesqueros, Doctor en Medio Ambiente, Principal Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, e-mail: anterovasquez@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8977-3274>, Perú.

INTRODUCCIÓN

El arsénico se manifiesta como un problema que afecta al planeta directamente a la salud de todas las edades, por la gravedad a los niveles de toxicidad ya que se sabe en comparación a los compuestos orgánicos es 60 veces más tóxico. Por lo cual, la Organización Mundial de la Salud (2018) establece un límite para el arsénico una concentración 0.010mg/L. En muchos casos las autoridades muestran desinterés, inacción ante un problema de contaminación ambiental que pueden tener origen en actividades mineras, industriales o provenientes de la misma naturaleza; pero es significativamente importante porque la ingestión de este tipo de agua con este contaminante constituye un riesgo para la salud humana por su carácter cancerígeno.

La contaminación actualmente por arsénico específicamente en agua de pozo está causando preocupación en el Perú teniendo un impacto en la sociedad y en el poblador, aquel que se encuentra en el espacio rural, por su condición económica son los primeros expuestos al riesgo de presentar la sintomatología clínica causada por la ingestión directa (Larios et al., 2015).

La región de Lambayeque no es la excepción debido a que en el cauce del Río La Leche por la interacción por aportes de la minería metálica se concentra y este proceso genera contaminación de agua subterránea, la cual se utiliza para el riego de plantas, bebidas de animales y abastecimiento de agua potable para seres humanos, si bien es cierto, el desconocimiento del poblador es un factor importante ya que los pobladores extraen el agua y la ingieren ocasionando un riesgo para la salud (Idrogo, 2019).

La contaminación del agua subterránea se genera principalmente por la acción humana, que la hace total o parcialmente inutilizable para la aplicación a la que se destina (Sánchez, 2020).

La contaminación de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas, genera dos criterios. Uno de ellas fue la detección, donde indica que en las aguas superficiales la contaminación es perceptible de inmediato, con la que las posibles medidas de corrección pueden ponerse en marcha inmediatamente, en el caso de las aguas subterráneas, cuando se detecta el problema, se da

en un periodo muy largo que demora meses o incluso años. El segundo criterio es la solución, en la que indica que, las aguas de un río se renuevan con la rapidez de su flujo, de modo que, anulado el origen de la contaminación, en un plazo breve la calidad del agua vuelve a la normalidad.

En el caso de los acuíferos, como su flujo es muy lento y los volúmenes son muy grandes, se necesita de mucho tiempo para que se renueve repetidas veces toda el agua contenida en él e incluso la problemática persiste por las sustancias que quedaron adsorbidas en el acuífero. La descontaminación de acuífero por medio artificiales es muy costosa y normalmente solo es aplicable en acuíferos superficiales y no muy extensos.

Por otra parte, Sauquillo (2016) mencionó que la contaminación por metales en el acuífero puede durar años incluso siglos debido a la naturaleza del agua y su carácter de solvente de iones. Esta situación genera la elevación del nivel freático debido a un aumento de la recarga o a una disminución de bombeos o a inundaciones y puede afectar la movilización de contaminación y la salud humana (p.34).

Pabón et al. (2020) reportaron que la alta carga de materia orgánica, coloides, minerales, contaminantes biológicos y metales pesados que se encuentran en aguas subterráneas contaminan a los cultivos; asimismo otro de los factores a tener en cuenta es que algunas aguas muy contaminadas son capaces de transferir a los cultivos olores o sabores desagradables que reducen su posibilidad de consumo. (p.9).

Huaranga et al. (2021) indicaron que las plantas absorben metales del suelo donde se encuentren, pero en distinto grado, esto depende de la especie vegetal, y también de las características y contenido en metales del suelo. Además, es importante reconocer que las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno. Por ejemplo, se dice que unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Asimismo, otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. Vale rescatar que la exclusión es más característica de especie sensible y tolerantes a los metales, y la acumulación es más común en especies que

aparecen siempre en suelos contaminados (p.635).

Sauquillo (2016) reportó que los contaminantes penetran normalmente al acuífero desde la superficie del terreno, para ello tienen que atravesar el suelo y la zona vadosa. También especifica que la zona radicular puede tener un espesor variable entre algunos decímetros y algo más de un metro, además es la zona en la que se producen degradaciones de origen fisicoquímico más importante en los contaminantes por otra parte, en las zonas más profundas hay menos actividad biológica, aunque se sabe también que hay otros fenómenos que intervienen en la aclimatación de contaminantes o en su retardo, como la adsorción y oxidación (p.33).

Rangel et al. (2015) comunicó que las altas concentraciones de arsénico en agua y suelo se han convertido en un problema global, debido a las exposiciones prolongadas, ya que pueden causar daños crónicos al medio ambiente en todo aspecto. El arsénico puede difundirse en el aire, agua y suelo proveniente de tormentas de polvo y aguas de escorrentía; asimismo, cuando hay mayor presencia geológica natural de arsénico, se pueden encontrar altos niveles en agua subterráneas, como es el caso de Bangladesh, India, China, Taiwán, Mongolia, Chile, Perú, Argentina, México y muchos lugares de Estados Unidos de Norteamérica. Las fuentes de contaminación más reciente es la industria de semiconductores y la liberación de minerales ricos en arsénico durante la extracción minera. (pp.103-108).

Los objetivos fueron: 1. Medir la concentración de arsénico en agua subterránea en el caserío Las Juntas Pacora Lambayeque, 2. Verificar la eficiencia de filtros de carbón activado en la remoción de arsénico de aguas subterráneas del distrito de Pacora, 3. medir la eficiencia de sistemas de osmosis inversa en la remoción de arsénico de agua subterránea del caserío Las Juntas Pacora.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en el caserío Las Juntas distrito de Pacora, provincia y departamento de Lambayeque, en las coordenadas 17M 6624241,51mE 9287951,21mS.

La población fue el agua subterránea del distrito de Pacora contaminada por arsénico, la muestra fue el agua de pozo del caserío Las Juntas.

Para la determinación del área de estudio se utilizó el software Google Earth, se realizó la recopilación de datos existentes sobre la concentración de arsénico en agua subterránea en el distrito de Pacora. Se usó el método Gutzeit con la utilización del Espectrómetro de masas por Plasma Inducido Acoplado (ICPMS).

Se tomó 1 muestra de agua subterránea (agua cruda) y se trasladó hasta el laboratorio acreditado por INACAL, en donde se determinaron características físicas, químicas y microbiológicas.

Se instaló un sistema de ósmosis inversa en los que se colocaron de forma sucesiva 1 filtro, 2 filtros, 3 filtros de carbón activado.

Se codificaron las muestras del modo siguiente:

M0: muestra testigo sin ningún tratamiento.

M1A: muestra de agua tratada con un filtro de carbón activado

M1B: muestra de agua tratada con un filtro de carbón activado y el sistema de ósmosis inversa completo.

M2A: agua tratada con dos filtros de carbón activado

M2B: muestra de agua tratada con dos filtros de carbón activado y el sistema de ósmosis inversa completo.

M3A: agua tratada con tres filtros de carbón activado

M3B: muestra de agua tratada con tres filtros de carbón activado y el sistema de ósmosis inversa completo.

De todos los ensayos se tomaron muestras de 1 litro cada una y se trasladó hasta el laboratorio Regional del Agua en Cajamarca.

RESULTADOS

Los parámetros fisicoquímicos con elevadas concentraciones fueron conductividad a 25°C 4211.5 uS/cm y sólidos disueltos totales 2416.5 mg/L (tabla 1).

La población de coliformes termotolerantes reportó 540 NMP/100mL (tabla 2) y los metales totales de nuestro interés en la muestra de agua subterránea reportó para arsénico 0.018 mg/L (tabla 3).

La concentración de metales totales para la muestra testigo sin ningún tratamiento; con tratamiento (M1, M2 y M3) y 3 replicaciones demostraron una disminución de la concentración de arsénico desde 0.018 mg/L hasta 0.0049 mg/L (tabla 4).

Tabla 1

Características fisicoquímicas de la muestra M0 de agua cruda.

Parámetro	Unidad	Resultado/ Valor
Turbidez	NTU	0.25
pH a 25 °C	pH	7.79
Conductividad a 25 °C	uS/cm	4211.5
Color Verdadero	UC	3.900
Sabor	FTN	1
Cloro Residual	mg Cl ₂ /L	0.990
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2416.5
Dureza Total	mg/L	207.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	2.590

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 2

Características Microbiológicas de la muestra M0.

Parámetro	Unidad	Resultado/ Valor
Bacterias Heterotrofas	UFC/ml	280
Coliformes Totales	NMP/100mL	1600
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100mL	540

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 3

Concentración de metales pesados de la muestra M0 agua subterránea sin tratamiento.

PARAMETRO	UNIDAD	Resultados de Metales Totales
Plata (Ag)	mg/L	0.0189
Aluminio (Al)	mg/L	0.043
Arsénico (As)	mg/L	0.018
Boro (B)	mg/L	1.016
Bario (Ba)	mg/L	0.021
Berilio (Be)	mg/L	0.0029
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0159
Calcio (Ca)	mg/L	40.23
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0019
Cerio (Ce)	mg/L	0.0039
Cobalto (Co)	mg/L	0.0019
Cromo (Cr)	mg/L	0.0029
Cobre (Cu)	mg/L	0.0179
Hierro (Fe)	mg/L	0.0229
Potasio (K)	mg/L	0.0127
Litio (Li)	mg/L	0.022
Magnesio (Mg)	mg/L	26.57
Manganeso (Mn)	mg/L	0.007
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.027
Sodio (Na)	mg/L	673.2
Niquel (Ni)	mg/L	0.0059
Fosforo (P)	mg/L	0.034
Plomo (Pb)	mg/L	0.0039
Asufre (S)	mg/L	194.7
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0049
Selenio (Se)	mg/L	0.0069
Silicio (Si)	mg/L	20.42
Estaño (Sn)	mg/L	0.0069
Estroncio (Sr)	mg/L	0.667
Titanio (Ti)	mg/L	0.0039
Talio (Tl)	mg/L	0.0029
Uranio (U)	mg/L	0.0039
Vanadio (V)	mg/L	0.039
Zinc (Zn)	mg/L	0.0179
Silice (SiO ₂)	mg/L	43.68

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 4

Resultado de análisis de metales en muestras de agua subterránea, tratadas y sin tratar con osmosis inversa. La concentración de metales en el caserío La Juntas, Pacora, marzo 2022.

PARAMETRO	UNIDAD	M0	M1A	M1B	M2A	M2B	M3A	M3B
Plata (Ag)	mg/L	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189
Aluminio (Al)	mg/L	0.043	0.0229	0.046	0.0280	0.044	0.032	0.048
Arsénico (As)	mg/L	0.018	0.0049	0.019	0.0049	0.017	0.0049	0.026
Boro (B)	mg/L	1.016	0.730	0.707	0.167	0.212	0.0259	0.054
Bario (Ba)	mg/L	0.021	0.0039	0.015	0.0039	0.005	0.0039	0.0039
Berilio (Be)	mg/L	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159
Calcio (Ca)	mg/L	40.23	1.012	33.85	0.617	16.16	0.289	3.297
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
Cerio (Ce)	mg/L	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Cobalto (Co)	mg/L	0.0019	0.0019	0.002	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
Cromo (Cr)	mg/L	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Cobre (Cu)	mg/L	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179
Hierro (Fe)	mg/L	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229
Potasio (K)	mg/L	0.0127	2.300	29.46	35.90	298.30	16.84	828.4
Litio (Li)	mg/L	0.022	0.0049	0.023	0.0049	0.022	0.0049	0.016
Magnesio (Mg)	mg/L	26.57	0.760	25.29	0.463	16.040	0.318	6.560
Manganeso (Mn)	mg/L	0.007	0.0029	0.004	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.027	0.0019	0.027	0.0019	0.029	0.0019	0.029
Sodio (Na)	mg/L	673.2	45.23	662.9	34.55	605.7	34.02	392.8
Niquel (Ni)	mg/L	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059
Fosforo (P)	mg/L	0.034	0.035	0.730	0.296	4.059	0.139	9.676
Plomo (Pb)	mg/L	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Asufre (S)	mg/L	194.7	7.208	189.9	7.162	192.3	6.337	190.7
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049
Selenio (Se)	mg/L	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069
Silicio (Si)	mg/L	20.42	2.044	21.09	1.910	22.26	1.779	22.75
Estaño (Sn)	mg/L	0.0069	0.0069	0.069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069
Estroncio (Sr)	mg/L	0.667	0.017	0.567	0.009	0.272	0.004	0.051
Titanio (Ti)	mg/L	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Talio (Tl)	mg/L	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Uranio (U)	mg/L	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Vanadio (V)	mg/L	0.039	0.0039	0.036	0.0039	0.030	0.0039	0.025
Zinc (Zn)	mg/L	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.007	0.0179
Silice (SiO2)	mg/L	43.68	4.372	45.11	4.085	47.61	3.805	48.66

Fuente: Elaboración propia .

DISCUSIÓN

El sistema de ósmosis inversa con tres filtros de carbón activado fue altamente eficiente en remoción de arsénico de aguas subterránea del caserío Las Juntas en Pacora, disminuyendo la concentración de arsénico desde 0.018 mg/L hasta 0.0049 mg/L. La eficiencia de ósmosis inversa con filtro de carbón activado fue de 72.78%, lo que es compatible con lo reportado por la Organización mundial de la salud que estableció un límite permisible de 0.010mg/L en agua para consumo humano, para bacterias heterótrofas por debajo de 500 NMP/100mL, ausencia total de coliformes fecales y totales.

Nuestros resultados guardan, relación con lo presentado por Caviedes et al., (2015) sostienen que la membrana de osmosis selecciona elementos por debajo de los 0.0001 mm lo que permite que solo partículas más pequeñas pasen y los componentes grandes, no pasen. La aplicación de ósmosis inversa disminuye los parámetros microbiológicos, fisicoquímicos incluidos metales. Es una adecuada tecnología para el tratamiento de agua subterránea y potable que consta de tres filtros destinados con funciones diferentes y complementarias; el primero para remover metales, el segundo para remover sedimentos y el tercero para eliminar microorganismos, en nuestro estudio solo se utilizaron 6 filtros de carbón activado. En los resultados obtenidos cuando se emplea solo filtros de carbón activado no se obtuvieron datos relevantes en remoción de arsénico a diferencia cuando se aplica el sistema de ósmosis inversa junto a los filtros de carbón activado, lo que difiere de la consideración de Pereira et al., (2018) quienes reportaron que la efectividad alta en remoción de arsénico, pero esto resultados están sujetos a las propiedades de textura, la relación entre el pH del carbón activado y el agua de río.

CONCLUSION

El sistema de ósmosis inversa tuvo una eficiencia de 72.78 % en la remoción de arsénico en las aguas subterráneas del caserío Las Juntas de Pacora disminuyéndolo hasta 0.0049 mg/L.

Los parámetros de la calidad físico – química y microbiológica del agua subterránea del caserío Las Juntas son indicadoras de mala calidad de agua.

Se determinó que al usar los filtros de carbón activado con (1, 2 y 3) no mostro variación significativa en cuanto a la remoción de arsénico.

El agua subterránea tratada por sistema de ósmosis inversa más los filtros de carbón activado mejoran la calidad de agua y permitiría ser utilizada ser consumida sin ningún riesgo para su salud.

REFERENCIAS

- Fiestas, E. y Millones, Ñ. (2019). Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Morrope. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Lambayeque. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/4028>.
- Grupo de seguimiento a la gestión de riesgos de desastres y cambio climático – MCLCP, (2019). Situación actual sobre la contaminación de agua para consumo humano con arsénico en los distritos de Morrope, Pacora y otros -2019, <https://www.mesadeconcertacion.org.pe/storage/documentos/2019-09-26/reporte-01-2019-sobre-contaminacion-de-agua-morrope-y-pacora-final.pdf>.
- Idrogo, W. (2019). Actividad Fito remediadora de la Totora (*Schornoplectus californicus*). En agua. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40461>.
- Larios, J., Gonzales, C. y Morales, Y. (2015). Las Aguas residuales y sus consecuentes en el Perú. Revista de la facultad de ingeniería de la USIL, 2(2), 9 -25. <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-y2n22-1-fault/files/revista->

- saber-y-hacer-y2n22-1-19set16-aguas-residuales.pdf.
- Mansilla, M., Castro viejo, P. y Delgado, J. (2022). Espectrometría de Masas de plasma ICP –MS, <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/espectrometria/espectrometria-de-masas-de-plasma-icp-ms>.
- Mayorga, P. (2013). ARSENICO en aguas subterráneas su transferencia al suelo y a la planta. (Tesis doctoral). Escuela universitaria ingeniera agrarias, Universidad de Valladolid. <http://hdl.handle.net/10261/81461>
- Melo, O., López, L y Melo, S. (2020). Diseño de experimentos. Métodos y Aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia. Coordinación de publicaciones - Facultad de Ciencias. http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Estadistica/Diseño_de_experimentos___Metodos_y_Aplicaciones_/LIBROEXPERIMENTOS.pdf.
- Meoño, F., Taranco, C., y Olivares, Y. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*, 2(2), 8-25. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Muzzio, M., Frossasco, V. y Sarmiento, P. (2017). Evaluación de mezclas colorantes empleadas en la determinación de arsénico por el método del azul de molibdeno. RIA Repositorio Institucional Abierto. (U. N. Tecnológica, Ed.). <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/2208>.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Arsénico. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R. y Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14 (27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Pereira, F. et al (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de arroz. Edu.ec. <https://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/148/125>
- Ponce, D. (2019). Aplicación del carbón activado de la cáscara de coco, en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de Paragshapasco 2018. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1563>.
- Rakib, M., y Bhuiyan, M. (2014). Arsenic Contamination: Food Toxicity and Local Perception. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2(1), 1-7. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1077.3235&rep=rep1&type=pdf>.
- Rangel, E., et al (2015). Impacto Del Arsénico En El Ambiente Y Su Transformación Por Microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 103-118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792015000200103.
- Sánchez, J. (2020). Contaminación de las aguas subterráneas. <https://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf>.
- Sauquillo, A. (2016). La contaminación de las aguas. *Ingeniería del Agua*, 1(3), 31-40. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/4199?show=full>
- Segura, H. (2017). Influencia del carbón activado obtenido de Huarango (*Acacia macracantha*) en la remoción de cloro libre residual en agua potable, Celendín. *Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. pág, 33*. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1732>.
- Silupu, R., et al (2017). Caracterización de filtros comerciales para agua a base de carbón activado para el tratamiento de agua de río Tumbes – Perú. *Revista Colombiana de Química*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309052302006.pdf>
- Vásquez, A. et al. (2012). El Informe y el Proyecto de Tesis. Metodología de la Investigación. Trujillo - Perú: Editorial Universitaria SAC.
- Vayas, J. (2018). Análisis del carbón activado de origen vegetal con las costras de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la Textilera “Andelas” Cia Ltda., ubicada en el Parque Industrial de Ambato, provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/>