

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 en las fuentes de consumo de agua en el departamento de Lambayeque ha originado que dichas fuentes no sean bebestible; por lo cual el objetivo de este estudio es determinar la eficiencia del sistema de osmosis en la remoción de arsénico en aguas subterráneas, tratadas con 1,2 y 3 filtros de carbón activo, las muestras de agua fueron analizadas en dos series (una con filtro de carbón activo y otra solo con el sistema de osmosis), y por último se realizó los análisis en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, con la técnica de Espectrometría de Masas por Plasma Inducido Acoplado (ICPMS). Los resultados mostraron alta eficiencia del sistema de osmosis inversa, en el distrito de Pacora caserío Las Juntas se encontró una concentración de Arsénico 0.018mg/L que al ser comparados con el decreto supremo 031- 2010 – SA está por encima del límite de 0.010mg/L, la eficiencia del sistema de osmosis inversa con filtros de carbón activo tuvo una eficiencia de 72,78% en la remoción de arsénico el cual removió 0.0131mg/L, a diferencia del tratamiento con 1,2 y 3 filtros no mostro remoción de metales en el Arsénico en relación a la aplicación de sistema de osmosis.

Palabras clave: Arsénico, aguas subterráneas, osmosis inversa, ICPMS.

ABSTRACT

The contamination in the sources of water consumption in the department of Lambayeque has caused that said sources are not drinkable; Therefore, the objective of this study is to determine the efficiency of the osmosis system in the removal of arsenic in groundwater, treated with 1, 2 and 3 activated carbon filters. The water samples were analyzed in two series (one with filter of activated carbon and another only with the osmosis system), and finally the analyzes were carried out in the Regional Water Laboratory of Cajamarca, with the technique of Coupled Induced Plasma Mass Spectrometry (ICPMS). The results showed high efficiency of the reverse osmosis system, in the district of Pacora hamlet Las Juntas an Arsenic concentration of 0.018mg/L was found, which when compared to the Supreme Decree 031-2010 - SA is above the limit of 0.010mg /L, the efficiency of the reverse osmosis system with activated carbon filters had an efficiency of 72.78% in the removal of arsenic which removed 0.0131mg/L, unlike the treatment with 1,2 and 3 filters, it did not show removal of metals in Arsenic in relation to the application of osmosis system.

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: jahiroasaavedra@gmail,  <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: anterosvasquez@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 el agua potable para el consumo humano, en muchos casos las autoridades muestran un desinterés, la irresponsabilidad de las empresas mineras de empresas mineras o industriales e inclusive desarrolladas por la misma naturaleza.

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 que se da, esta agua se utiliza para riego en agricultura, en insumos que son de primera necesidad para el consumo humano, si bien es cierto el desconocimiento del poblador es un factor importante ya que los pobladores extraen esta agua y la ingieren ocasionando un riesgo para la salud (Idrogo, 2019).

La contaminación del agua es la alteración de la calidad natural de la misma, esto se debería principalmente a la acción humana, que la hace total o parcialmente inutilizable para la aplicación útil a la que se destinaba (Sánchez, 2020).

La contaminación de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas, por ello determino dos criterios. Uno de ellos fue la detección, donde nos dice 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 nos explica que las aguas de un río se renuevan con la rapidez de su flujo, de modo que, anulando 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 extenso.

Por otra parte, Sauquillo (2016) indica que la contaminación demora en llegar a los acuíferos, lo que deduce que estas aguas se propagan con lentitud tanto en la zona no saturada como en la saturada. Aunque factores complejos y la presencia de coloides hace posible que se remobilicen algunos contaminantes, que incluso hacen que se muevan a mayor velocidad que la media del flujo subterráneo. La problemática radica en que este proceso no se ve, y puede ser peligrosa aun en cantidades pequeñas de algunos contaminantes. Asimismo, cuando aparece en un pozo de abastecimiento, conducto subterráneo, manantial, río, lago o zona húmeda puede haber adquirido dimensiones grandes. Todo esto hace que algunos contaminantes puedan permanecer durante siglos o milenios en un acuífero y que incluso una contaminación en la actualidad pueda ser ocasionada por actividades que han desaparecido. De manera análoga las actividades actuales pueden afectar a la calidad del agua subterránea dentro de muchos años. También de algunos cambios hidrológicos, mencionando uno de ellos, como la subida del nivel freático debido a un aumento de la recarga o a una disminución de bombeos o a inundaciones puede afectar a la movilización de contaminación y a la salud humana (p.34).

Ortega y Orellana (2007). La alta carga de materia orgánica, coloides minerales, contaminantes biológicos y los metales pesados que se encuentran en las aguas de por sí dañan 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. También se sabe que la presencia de estas impurezas en las aguas impide o reduce la eficiencia y durabilidad de algunos sistemas de riego, en específico el de los sistemas de riego localizado o incluso los de sistemas de entrega a través de aditamentos porosos, ya que los poros y los conductos estrechos se pueden tupir con facilidad con las partículas orgánicas y coloides. Las aguas superficiales, provenientes de ríos y canales, por lo general, están contaminadas y se deben emplear con recelo (p.26).

Prieto et al., (2009). 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 seria. Asimismo, otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no toxica 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.34).

Sauquillo (2016). 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).

Las altas concentraciones de arsénico en agua y suelo se han convertido en un problema global, debido a las exposiciones prolongadas por el arsénico ya que pueden causar daños crónicos al medio ambiente en todo aspecto. Por otra parte, también comenta Rangel et al (2015) el arsénico puede penetrar en el aire, el agua y el suelo por medio de tormentas de polvo y aguas de escorrentía, por lo que la contaminación por

arsénico está muy extendida a causa de su fácil dispersión. 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 numerosos lugares de Estados Unidos de Norteamérica.

También se ha llegado a describir que las más recientes es la industria de semiconductores y la liberación de minerales ricos en arsénicos durante a extracción minera de otros compuestos (pp.103 – 108).

La contaminación de aguas subterráneas por arsénico representa una grave amenaza para toda la humanidad, debido a que el arsénico puede incorporarse fácilmente en la cadena alimenticia y favorecer su distribución de amplia difusión en todo el reino animal y vegetal (pp. 1 – 7).

METODOLOGÍA

La localidad donde se desarrolló el estudio es en el Caserío las Juntas distrito de Pacora, provincia y departamento de Lambayeque. Con las coordenadas siguientes 17M 6624241,51mE 9287951,21mS.

El arsénico presente en agua condiciona a los pobladores al consumo de agua directo es por ello el interés como objeto de estudio aplicar la remoción de metales pesados como el arsénico.

Se tomó como población el distrito de Pacora, agua subterránea contaminada por arsénico, como muestra solo el agua de pozo del caserío LAS JUNTAS, una de los 5 caseríos más afectados por contaminación con arsénico en agua subterránea.

La determinación del área de estudio se hizo mediante 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 Espectrofotómetro de masas por Plasma Inducido acoplado.

Se tomó 1 muestra de agua subterránea (agua cruda) se trasladó hasta el laboratorio acreditado por INICAL, en donde se determinó las

características físicas, químicas y microbiológicas.

Se instaló en el mismo lugar un sistema de osmosis inversa en el que se colocaran de forma secuencial 1 filtro de carbón activo, seguido de 2 filtros de carbón activo y por último 3 filtros de carbón activo.

De los tratamientos se tomó una muestra de 1 litro cada una, y del sistema completo con tres filtros de carbón activo se realizó 3 replicaciones según Melo, López y Melo (2020), luego de esto se trasladó hasta el laboratorio Regional del Agua en Cajamarca.

RESULTADOS

Se presentan a continuación los datos obtenidos durante el proceso de investigación en el caserío Las Juntas, Pacora. Para el cual M0 indica la muestra testigo sin ningún tratamiento; con tratamiento (M1, M2 y M3) y 3 replicaciones.

Tabla 1
 Resultado del Análisis de la muestra M0 características Fisicoquímicas.

Parámetro	Unidad	LCM	Resultado/ Valor
Turbidez	NTU	0.0900	0.25
pH a 25 °C	pH	NA	7.79
Conductividad a 25 °C	uS/cm	NA	4211.5
Color Verdadero	UC	4.000	3.900
Sabor	FTN	NA	1
Cloro Residual	mg Cl ₂ /L	0.1000	0.990
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2.500	2416.5
Dureza Total	mg/L	1.040	207.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	2.600	2.590

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
 Resultado del Análisis de la muestra M0 características Microbiológicas.

Parámetro	Unidad	LCM	Resultado/ Valor
Bacterias Heterotrofas	UFC/ml	1.0	280
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	1600
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100mL	1.8	540

Tabla 3
 Resultado del Análisis de la muestra M0 – Metales Totales.

PARAMETRO	UNIDAD	LCM	Resultados de Metales Totales
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	0.0189
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.043
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.018
Boro (B)	mg/L	0.0260	1.016
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.021
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	0.0029
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	0.0159
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	40.23
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.0019
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	0.0039
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	0.0019
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	0.0029
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	0.0179
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.0229
Potasio (K)	mg/L	0.0510	0.0127
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.022
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	26.57
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.007
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	0.027
Sodio (Na)	mg/L	0.0260	673.2
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	0.0059
Fosforo (P)	mg/L	0.0240	0.034
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.0039
Asufre (S)	mg/L	0.0910	194.7
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	0.0049
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	0.0069
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	20.42
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	0.0069
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	0.667
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	0.0039
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.0029
Uranio (U)	mg/L	0.0040	0.0039
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.039
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	0.0179
Silice (SiO ₂)	mg/L	0.2225	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	LCM	Resultados de M0	Resultado de M1 -A	Resultado de M1 - B	Resultado de M2 - A	Resultado de M 2 -B	Resultado M3 -A	Resultado M3 -B
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.043	0.0229	0.046	0.0280	0.044	0.032	0.048
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.018	0.0049	0.019	0.0049	0.017	0.0049	0.026
Boro (B)	mg/L	0.0260	1.016	0.730	0.707	0.167	0.212	0.0259	0.054
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.021	0.0039	0.015	0.0039	0.005	0.0039	0.0039
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	40.23	1.012	33.85	0.617	16.16	0.289	3.297
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	0.0019	0.0019	0.002	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229	0.0229
Potasio (K)	mg/L	0.0510	0.0127	2.300	29.46	35.90	298.30	16.84	828.4
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.022	0.0049	0.023	0.0049	0.022	0.0049	0.016
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	26.57	0.760	25.29	0.463	16.040	0.318	6.560
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.007	0.0029	0.004	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	0.027	0.0019	0.027	0.0019	0.029	0.0019	0.029
Sodio (Na)	mg/L	0.0260	673.2	45.23	662.9	34.55	605.7	34.02	392.8
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059
Fosforo (P)	mg/L	0.0240	0.034	0.035	0.730	0.296	4.059	0.139	9.676
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Asufre (S)	mg/L	0.0910	194.7	7.208	189.9	7.162	192.3	6.337	190.7
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	20.42	2.044	21.09	1.910	22.26	1.779	22.75
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	0.0069	0.0069	0.069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	0.667	0.017	0.567	0.009	0.272	0.004	0.051
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
Uranio (U)	mg/L	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.039	0.0039	0.036	0.0039	0.030	0.0039	0.025
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.007	0.0179
Silice (SiO2)	mg/L	0.2225	43.68	4.372	45.11	4.085	47.61	3.805	48.66

Fuente: Elaboración propia .

DISCUSIÓN

En este estudio partiendo de los hallazgos obtenidos se acepta la hipótesis general. Establece que el sistema de ósmosis inversa con tres filtros de carbón activo es altamente eficiente en remoción de Arsénico de aguas subterránea en Pacora, disminuyendo la concentración de metales pesados como el Arsénico compuesto que no es apto para consumo por la gravedad de toxicidad 60 veces más toxico que los compuestos orgánicos. La Organización mundial de la salud estableció un límite permisible de 0.010ml/L en

agua para consumo humano, para bacterias heterótrofas por debajo de 500 por mL, ausencia total de coliformes fecales y totales. Silupu, et al., (2017). En los resultados de nuestro estudio se encontró una concentración por encima del límite de 0.018 mg/L, la eficiencia del sistema de osmosis inversa con filtros de carbón activo tuvo una eficiencia de 72,78% en la remoción de arsénico el cual removió 0.0131 mg/L.

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 estos no pasen. La aplicación de osmosis inversa disminuye los parámetros microbiológicos, fisicoquímicos incluidos metales, tecnología para el tratamiento de agua subterránea y potable que consta de tres filtros destinados el primero para retener metales, sedimentos y un tercero para microorganismos, en nuestro estudio solo se utilizó 6 filtros de carbón activo.

En los resultados obtenidos cuando se emplea solo carbón activo no se tiene datos relevantes en remoción de Arsénico a diferencia cuando se aplica el sistema de osmosis inversa junto a los filtros de carbón activo, en lo que no guarda relación con lo presentado por Pereira, et al., (2018) que la efectividad alta en torno a la remoción de Arsénico pero estos resultados están sujetos a las propiedades de textura, la relación entre el pH del carbón activo y el agua de río así como lo afirma el autor.

CONCLUSIONES

La variación de la concentración de Arsénico con el sistema de osmosis inversa, logro una remoción de 0.0131 mg/L de la concentración presente de Arsénico en Pacora; con una eficiencia de 72,78 %.

En torno a los parámetros de la calidad físico – química y microbiológica del agua subterránea. El caserío Las Juntas se encuentra en una pésima situación en calidad de agua, parámetros microbiológicos, parámetros físico químico, ya que no cumplen los límites permisibles.

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 osmosis inversa más los filtros de carbón activo mejoran la calidad de agua y esta es viable para ser consumida por los pobladores de dicho lugar.

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/Diseno_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>.
- OMS. (2018) Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 20 de enero de 2022, de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.
- Ortega, F., y Orellana, R. (2007). El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. II. Aguas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 25-27. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216306.pdf>.
- 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 Paragsha-Pasco 2018. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1563>.
- Prieto, J., et al. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>.
- 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=S01875779201500200103.
- 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/handle/123456789/27014>.