

## Remoción de arsénico en agua de pozo mediante un reactor electroquímico, aplicando energía solar directa

Reynaldo Esquivel-Mayorga <sup>2</sup>, Floristela Luna-Hernández <sup>1</sup>, Amada Carrasco-Montoya <sup>2</sup> y Thelma Beatriz Pavón-Silva <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Química, Departamento, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León. Institución, León, Nicaragua

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Unidad Académica Profesional Acolman. Camino de Caleros No.11. Santa Catarina Acolman Estado de México.

\* Autor de correspondencia: [tbpavons@uaemex.mx](mailto:tbpavons@uaemex.mx); Tel.: +52 722 206 6702

**Contaminación de agua suelo aire** (Procesos fisicoquímicos). **Ponencia Virtual.**

Recibido: 4 de agosto de 2023

Aceptado: 5 de octubre de 2023

Publicado: 23 de noviembre de 2023

**Resumen:** Se han reportado concentraciones importantes de arsénico en agua de consumo humano en poblaciones rurales de León, Nicaragua, teniendo una cobertura de agua potable del 56% en las zonas rurales con concentraciones de 45 a 87 mg de As/L es por tanto que el objetivo de este trabajo fue evaluar la factibilidad de eliminación de arsénico en agua de pozo de la comunidad de Santa Rosa del Peñón, León Nicaragua. Para ello, se dividió el trabajo en dos etapas: la primera con agua sintética de concentración de 80 ppm de arsénico para probar el sistema electroquímico alimentado con energía solar fotovoltaica en pruebas en lote, y el segundo con agua de pozo de la comunidad de Santa Rosa del Peñón, Nicaragua, en este caso las pruebas se llevaron a cabo en lote y en continuo. La primera se utilizó para establecer la factibilidad de uso de los paneles monocristalino y policristalino, puesto que se requiere un amperaje entre 2 y 3 A de corriente. Las variables de estudio fueron amperaje que fue monitoreado en función de la radiación solar al momento de correr las pruebas, la corriente (A), la temperatura (T), la densidad de corriente ( $\delta$  mA/cm<sup>2</sup>) calculada en función de la radiación solar y la concentración de arsénico se siguió con un kit (semicuantitativa) de pruebas debido a la dificultad de medición de arsénico por absorción atómica, sin embargo el seguimiento del arsénico en las pruebas en continuo, se llevó a cabo con los lodos residuales que fueron cuantificados por microscopía electrónica de barrido, encontrando concentraciones de arsénico en los residuos y por ende confirmando el resultado del kit que fue eliminado del agua. De acuerdo con estos resultados, se determina que es posible la eliminación de arsénico con métodos electroquímicos en continuo, alimentados con energía solar fotovoltaica, favoreciendo a dicha comunidad y otras en condiciones similares.

**Palabras clave:** remoción de arsénico, agua potable, reactor electroquímico, paneles fotovoltaicos.

## Removal of arsenic in well water by means of an electrochemical reactor, applying direct solar energy

**Abstract:** Significant concentrations of arsenic in water for human consumption have been reported in rural populations of León, Nicaragua, with a drinking water coverage of 56% in rural areas with concentrations of 45 to 87 mg of As/L, therefore the objective of this work was to evaluate the feasibility of removing arsenic in well water from the community of Santa Rosa del Peñón, León Nicaragua. For this, the work was divided into two stages: the first with synthetic water with a concentration of 80 ppm of arsenic to test the electrochemical system powered by photovoltaic solar energy in batch tests, and the second with well water from the community of Santa Rosa del Peñón, Nicaragua, in this case the tests were carried out in batches and continuously. The first was used to establish the feasibility of using monocrystalline and polycrystalline panels, since an amperage between 2 and 3 A of current is required. The study variables were amperage that was monitored based on solar radiation at the time of running the tests, current (A), temperature (T), current density ( $\delta$  mA/cm<sup>2</sup>) calculated based on Solar radiation and arsenic concentration were followed with a (semi-quantitative) test kit due to the difficulty of measuring arsenic by atomic absorption, however, arsenic monitoring in continuous tests was carried out with residual sludge. which were quantified by scanning electron microscopy, finding concentrations of arsenic in the residues and therefore confirming the result of the kit that was removed from the water. According to these results, it is determined that it is possible to eliminate arsenic with continuous electrochemical methods, powered by photovoltaic solar energy, favoring said community and others in similar conditions.

**Keywords:** water security, water supply, environmental health, electrochemical system, photovoltaic panels.

### Introducción

El arsénico es considerado un metaloide que se encuentra en el ambiente, con estados de oxidación: -3, 0, +3 y +5, (Sharma *et al.* 2014) con formas tanto orgánicas como inorgánicas y de esto depende su grado de toxicidad,

considerando a los compuestos inorgánicos de mayor toxicidad y en cuanto al estado de oxidación los de valencia +3, con respecto a los +5 (Medina-Pizzali *et al.* 2018, Jomova *et al.* 2011, Chávez-Capilla *et al.* 2016), presenta efecto a la salud humana a corto, mediano y largo plazo, siendo su exposición por inhalación de aire, por ingestión de alimentos y agua, y por absorción dérmica (Medina-Pizzali *et al.* 2018).

A nivel mundial, se han reportado niveles de arsénico en agua de consumo humano por encima del actual límite máximo permisible recomendado por la OMS (2006) en agua potable de 10 µg/L, y en muchos casos con niveles superiores a 50 µg/L, (límite anterior recomendado). En México se reporta que al menos cuatro millones de personas beben agua con altas concentraciones de arsénico en comunidades rurales de la Comarca Lagunera ubicada en la región norte de México, considerando que tienen un promedio de ingesta de agua de 2 L/d con una concentración promedio de arsénico en el agua de  $82,3 \pm 1,2$  µg/L (García-Alvarado *et al.* 2018).

Nicaragua, con sus 130,373.47 kilómetros cuadrados de territorio es el país más grande de Centroamérica, privilegiado además por ser un país con abundancia de agua. Casi un 15% de su superficie lo constituyen lagos, lagunas y ríos. La cobertura de agua potable en la zona urbana es de 77%, es decir, aproximadamente 2,444,420 habitantes del área urbana tienen acceso al agua potable. En contraste, en el área rural la cobertura es de solo 56%. (ENACAL, 2008). En 34

Municipios de Nicaragua, el agua para consumo humano se reporta con concentraciones de arsénico mayor a 80 µg/L, considerando que la aportación de este elemento es de origen volcánico (González-Rodríguez, *et al.* 2019).

En este país, hay antecedentes entre 1990 y 2000 de que la población presentó problemas de salud como: pérdida del pelo, manchas en la piel, cáncer, problemas renales, entre otros, razón por la que el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, (UNICEF), realiza un estudio de calidad del agua en las comunidades Las Mangas y El Jocote, jurisdicción de San Isidro. Posteriormente en otro estudio se analizó el agua de 8 localidades, entre los que se encuentra Santa Rosa del Peñón; lugar en donde uno de los pozos excavados se encontró la concentración más alta de arsénico con 25.8 µg/L, en julio del 2002 y 45.7 µg/L en noviembre de 2003 (Barragne-Bigot 2004), coincidiendo con Mejía (2009) con 13 muestras realizadas, encontrando valores de As entre 2 a 40 µg/L; -es importante indicar que estas fuentes son primordialmente notas periodísticas o trabajos de tesis de la UNAN-León-.

De los tratamientos establecidos para eliminación de contaminantes en agua se reportan plantas de tratamiento biológico, materiales de adsorción como carbón activado u otros adsorbentes como alúmina aglomerada que absorbe arsénico en estado de oxidación (V) Romero-Toledo *et al.* (2019), o un material cerámico granular modificado con lantano como adsorbente para arseniato (As V) y cromato (Cr VI) (Yang *et al.* 2019) intercambio iónico, o por tratamientos químicos convencionales coagulación-coprecipitación-adsorción (Litter, *et al.* 2008), una variable de la coagulación con energía solar (Rojas-Chaves, 2015), o combinada con nanotecnología. Procesos de membrana; micro y ultrafiltración. También se reporta para la eliminación de arsénico y turbiedad en agua la electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio (Can *et al.* 2014 y Pérez-Sicairos *et al.* 2011). En otros trabajos se ha explorado la aplicación de energía solar fotovoltaica conectada en directo para alimentar los reactores electroquímicos con resultados adecuados en remoción de contaminantes textiles y para potabilizar agua. (Pavón-Silva *et al.* 2018, Castañeda-Díaz *et al.* 2017, Bailón-Martínez *et al.* 2017). Además de las tecnologías emergentes que se aplican a escala doméstica y/o poblaciones rurales, con menores costos de inversión y mantenimiento (Litter, *et al.* 2010), entre ellos el uso del filtro karchan (Altamirano 2005, Altamirano 2007, Dies 2003, Ngai *et al.* 2014). Sarmiento *et al.* (2018) y Delaire *et al.* (2017), mencionan la EC-Fe como uno de los métodos más eficientes para la eliminación de arsénico en agua potable.

En este sentido, se estudia la factibilidad de establecer un proceso electroquímico de remoción de As en agua de Santa Rosa del Peñón, mismo que utilizará como fuente de energía directa paneles fotovoltaicos con el fin de considerar la problemática de suministro de energía eléctrica en la zona.

## **Materiales y Métodos**

Este estudio se llevó a cabo en dos periodos:

En el primer periodo octubre 2011, considerándolas como pruebas preliminares para el funcionamiento del reactor electroquímico preparando una solución de  $As_2O_3$  a una concentración de 80 ppm, en este caso, se realizaron pruebas en lote para determinar la capacidad de los módulos fotovoltaicos, así como el arreglo del reactor en cuanto al área superficial, (tamaño de los electrodos), así como las características de los módulos fotovoltaicos.

En el segundo periodo junio 2012 se realizó con muestras de agua de la comunidad del municipio de Santa Rosa del Peñón, comunidad de Paso Ancho, (pozos perforados) siendo la más afectada de acuerdo con Mejía (2009).

### Construcción del reactor

El reactor consiste en un recipiente de plástico de 16.5 cm de altura y 8.8 cm de base, el tamaño de los electrodos de hierro (2) es: 12.2 cm de altura y 10 cm de base del ánodo, el electrodo de sacrificio de acuerdo con la Ley de Faraday, debido a que en el proceso electrolítico desprenden en el agua los iones que desestabilizan los coloides, se alimenta con energía solar fotovoltaica evaluando tres módulos fotovoltaicos de distintas características: el primero policristalino de 125 W de potencia con 17.2 de voltaje máximo y 7.3 A de corriente máxima, el segundo amorfo de 32 W de potencia con 16.8 V y 1.92 A y el tercero monocristalino con 54 W 17.4 V y 3.11 A. Los parámetros de respuesta evaluados fueron: corriente (A), pH, irradiación solar (W/h) y concentración de arsénico en el agua tratada y se calculó la densidad de corriente en función de la radiación solar obtenida ( $mA/cm^2$ ), el arreglo del reactor se muestra en la Figura 1. Se midieron los parámetros: corriente en A, la radiación solar y la temperatura al inicio de la electrocoagulación y posteriormente cada 5 minutos. Así mismo, se tomaron muestras para la cuantificación del arsénico.

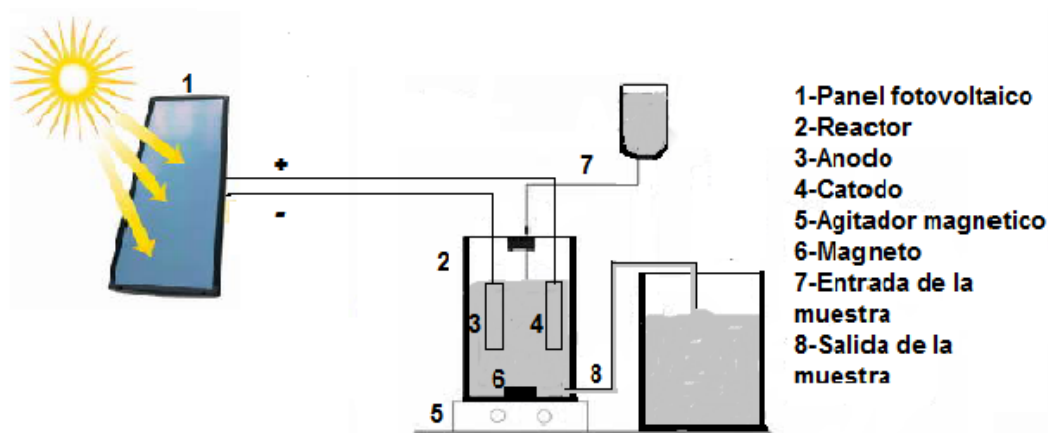


Figura 1. Arreglo del reactor electroquímico

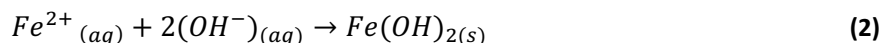
### Análisis de Arsénico

Para la medición de arsénico se empleó una prueba cualitativa estándar (kit) marcando una aproximación por comparación visual a la concentración de arsénico en agua: Test de Arsenic HACH (rango 0–500 ppb). Con el fin de dar seguimiento a la concentración de arsénico retirada del agua se estudiaron los lodos generados durante la electrocoagulación por microscopia electrónica de barrido con análisis de Energía Dispersiva por rayos X (SEM-EDS), el residuo se montó directamente en los soportes y luego se observaron a 10 y 20 kV en un microscopio JEOL 8810 LV. El microanálisis se realizó con un sistema EDS (Oxford).

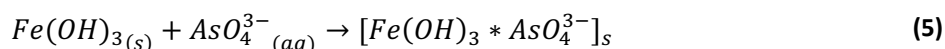
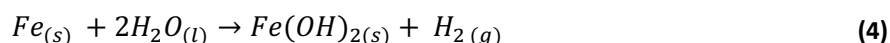
### Resultados y Discusión

Las pruebas del primer periodo fueron llevadas a cabo entre las 11:00 de la mañana y las 13:00 h esto, buscando una adecuada radiación solar para la alimentación de los módulos fotovoltaicos. Se observan resultados de amperaje obtenido, que al ser la medida directa del resultado de producción de iones hierro que servirán la remoción de arsénico, de acuerdo con las reacciones representadas por las ecuaciones 1 a 4 y la ecuación 5 representa la manera en la que el

arsénico es removido del agua y barrido por el residuo por lo que se justifica el análisis de SEM-EDS (Balasubramanian *et al.* 2009).

**Ánodo:****Cátodo:**

Reacción global :



En la Tabla 1 se presentan los resultados de medición de corriente para la prueba para los tres módulos fotovoltaicos, de trabajos previos (Castañeda-Díaz *et al.* 2017, Bailón-Martínez *et al.* 2017) se concluye que un amperaje de aproximadamente 2A, es adecuado para que las reacciones del ánodo y cátodo se lleven a cabo y se pueda establecer el equilibrio de la ecuación 5, por lo que tanto el panel policristalino como el monocristalino estarían en condiciones de otorgar la corriente adecuada para el proceso de electrocoagulación (Castañeda-Díaz *et al.* 2017, Pavón-Silva, *et al.* 2018) sin olvidar la dependencia de la radiación solar, en cuanto al panel amorfo se esperaría una radiación solar contante para que la reacción electroquímica sea posible, también podría considerarse una mayor área de electrodo (ánodo). Considerando que se aplicará en un reactor continuo, se esperará mayor eficiencia debido a que es un sistema estacionario homogéneo. (Levenspiel, 1993).

Tabla 1. Lecturas de intensidad de corriente (A) de las pruebas con reactor en lote

Panel Policristalino		Panel Monocristalino		Panel Amorfo	
Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)
3	7.46	0	3.57	0	2.57
6	7.52	6	3.62	2	2.4
9	7.56	10	3.95	4	2.61
12	7.59	12	3.92	6	2.36
15	7.75	14	3.98	8	2.46
18	7.76	16	3.65	10	2.65
21	8.04	18	3.75	12	2.59
23	8.17	20	0.41	14	2.59
26	8.2	22	0.46	18	0.99
29	8.35	24	0.58	20	1.93
31	7.5	26	0.73	22	0.57
33	7.55	28	0.98	24	2.78
36	7.53	30	4.04	26	2.76
		32	3.64	28	0.65
		34	3.47	30	0.7
		36	3.47	32	1.25
		38	3.87	34	1.45

La densidad de corriente se encuentra entre 0.0088 y 0.11 mA/cm<sup>2</sup>, esto con respecto a la radiación solar obtenida de acuerdo al módulo fotovoltaico utilizado, la cual es baja de acuerdo a otros estudios, como los de Delaire (2017) que reportan densidad de corriente de 2 a 20 mA/cm<sup>2</sup>, para el autor, Can *et al.* (2014) de un estudio específico para arsénico experimenta densidad de corriente entre 0.18 a 1.07 mA/cm<sup>2</sup> indicando que al tener ese incremento la eficiencia de remoción de arsénico aumenta, en cambio, el consumo energético se dispara de 0.06 a 1.23 kWh/m<sup>3</sup>, por lo que en este trabajo se selecciona una densidad de corriente de 0.54 mA/cm<sup>2</sup> para minimizar costos. En este caso la densidad de corriente máxima depende de la radiación solar y se ha estimado en 0.11 mA/cm<sup>2</sup>, sin embargo, hay que considerar la concentración de arsénico trabajada por Can y colaboradores (2014) que es de 50 mg/L y para este trabajo es de 80 mg/L; por lo que se estima que el gasto energético requerido será menor.

### Comportamiento del pH

En todas las pruebas realizadas en el reactor en lote, el incremento de pH sube hasta 12 unidades, sin embargo, para pruebas en continuo el pH se permanece entre 7 y 8 unidades, considerando que para el arsénico el valor de pH es de suma importancia debido a la especiación, ya que el AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup> se encuentra a pH superiores a 11, a pH menor a 9 existe como arsenito H<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub>, que al ser neutro pierde la posibilidad de interacción, al oxidarlo a arseniato HAsO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, se considera una zona de remoción efectiva de arsénico que es entre 7.4 y 8.3 unidades de pH (Escalera y Ormachea, 2017), esto se confirma con el trabajo de Delaire (2017), que reporta pruebas a 6.6, 7.0, 7.1 y 8.1 unidades de pH que aplicando una modelación, indica que dependiendo del pH y la liberación de Fe, la remoción está limitada por la oxidación de As(V); recordando que está regido por el potencial óxido reducción, se consideraría que el fenómeno de electrocoagulación al tener una corriente aplicada favorece este proceso de oxidación en el medio.

El mecanismo de eliminación de arsénico es que, en los flóculos de hierro formado, se atrapa al arseniato en solución por mecanismo de precipitación o adsorción y el arseniato férrico formado, puede ser fácilmente separado (ecuación 5). Los porcentajes de remoción de As en las pruebas en lote fueron de 42% con el panel amorfo, 54% con el panel monocristalino y 83% con el panel policristalino a los 45 minutos de prueba, en el que no se logró remover el As en su totalidad. En la figura 2, se muestra el comportamiento del amperaje y radiación solar del panel policristalino, observando que, aunque se tenga una radiación solar alta, el amperaje puede no incrementarse en la proporción esperada, sin embargo, en trabajos previos se considera con 2 A, la producción de hierro que puede ser la adecuada para la eliminación de los contaminantes en el agua. (Pavón-Silva *et al.* 2018).

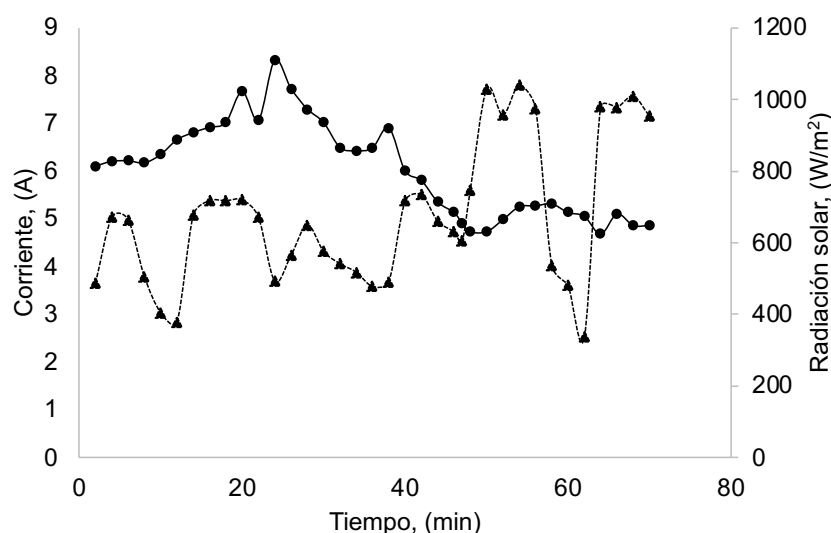


Figura 2. Comportamiento de la corriente e irradiación solar del panel policristalino, en función del tiempo en pruebas en continuo. ● Corriente (A), ▲ Radiación solar (W/m<sup>2</sup>)

### Reactor en Continuo

Utilizando el mismo reactor, pero en pruebas en continuo y con el módulo fotovoltaico policristalino con 5.82 A en promedio, se sometieron a pruebas que se realizaron de 8:00 de la mañana a las 14:00 h de la tarde.

En la figura 3, se muestra la concentración de arsénico en función del tiempo, el flujo de operación fue de 200 mL de muestra por minuto (0.2 L/min, 0.033 L/s) midiendo la radiación solar y As cada 5 minutos durante los primeros 30 minutos y posteriormente cada 10 minutos. Las muestras en ambas pruebas (duplicado), fueron analizadas con el Test de Arsenic HACH (rango 0–500 ppb).

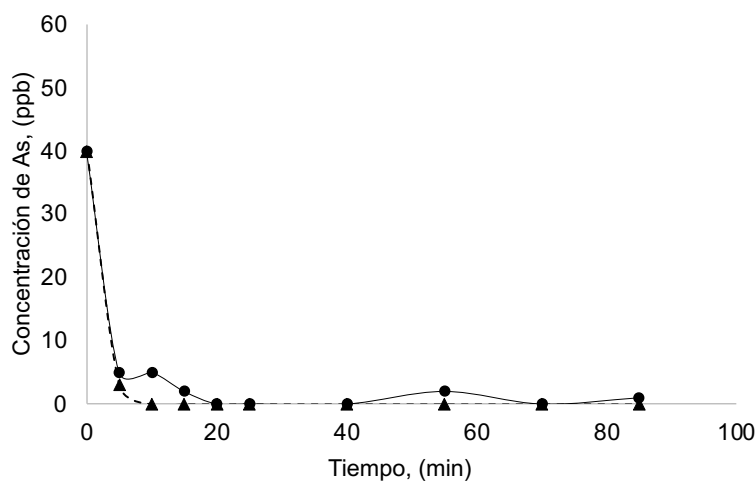


Figura 3. Comportamiento de la concentración de arsénico en función del tiempo en el proceso de electrocoagulación. ● replicas 1  
▲ replicas 2

A pesar de que puede haber condiciones climáticas adversas ya que se presentaron nubosidades, al ser un sistema en continuo tiene las ventajas de un sinergismo en la reacción electroquímica para la eliminación del arsénico, lo que para este caso garantizaría la obtención de agua para consumo libre de arsénico.

Las dos pruebas demostraron la eficiencia del reactor en continuo a diferencia del reactor en lote, esto se debe al funcionamiento del reactor debido a la dinámica y el control de la electrocoagulación. El caudal volumétrico determina el tiempo de residencia de aguas residuales en el reactor garantizando el tiempo suficiente para la remoción de arsénico sin el incremento en el pH como en las pruebas en lote (Pérez-Sicairos *et al.* 2011).

A manera de verificar la remoción de arsénico en agua, la Figura 4 se muestra el análisis de los lodos residuales por microscopía electrónica de barrido, así como su análisis elemental, observando la presencia de Fe procedente de la reacción redox de los electrodos, así como la presencia de arsénico en 1.3 y 10.5 keV de energía, lo que indica que fue eliminado del agua y como complemento a las pruebas de cuantificación de arsénico, ya que son pruebas semicuantitativas.

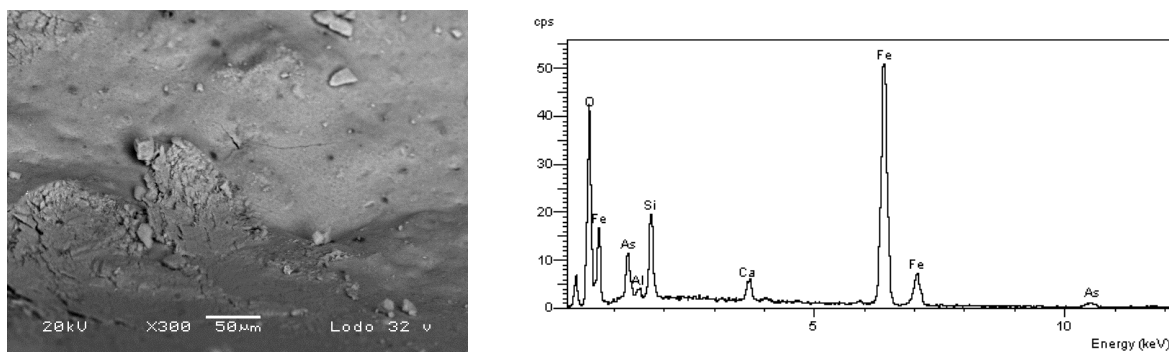


Figura 4. Microscopía electrónica de barrido y análisis elemental

## Conclusiones

Se logra la eliminación de arsénico en agua de pozo de Santa Rosa del Peñón, sin embargo, es importante considerar que el método de prueba es un kit semicuantitativo, y aunque se confirma su presencia en el lodo residual, será necesario someter las muestras de este tratamiento a determinaciones por técnicas analíticas-cuantitativas. Debido a que es agua para consumo humano y cumpliendo con la norma específica del País para evitar daños a la población, es necesario la adición de un desinfectante al agua antes de su consumo para garantizar la nula presencia de patógenos. Así mismo, la alimentación solar es una opción viable debido a la situación energética de la zona de estudio, acoplada al reactor electroquímico; de igual manera, es importante considerar los aspectos sociales de la puesta en marcha de un sistema como éste en una comunidad rural.

**Agradecimientos:** Se agradecen los apoyos de la Secretaría de Relaciones Exteriores de México por el traslado de profesores de México a Nicaragua, al Centro de Investigación en Química Sustentable UAEMex-UNAM por las determinaciones de SEM-EDS, a la Facultad de Química de la UAEMex por el tiempo para los investigadores y a la UNAN-León por los viáticos de los investigadores. Se felicita a Reynaldo Esquivel Mayorga por el esfuerzo en este trabajo que le proporcione su título de Licenciado en Química por la UNAM-León.

## Bibliografía

- Altamirano M. (2005). Distribución de la contaminación natural por arsénico en las aguas subterráneas de la subcuenca suroeste del valle de Sebaco, Matagalpa-Nicaragua CIRA-UNAN Julio. <http://repositorio.unan.edu.ni/2378/1/744.pdf>
- Altamirano M. (2007). Contaminación Natural por Arsénico en el Municipio de Santa Rosa del Peñón. CIRA/UNAN Managua, Nicaragua. Diciembre. <http://repositorio.unan.edu.ni/4931/1/1061.pdf>
- Bailón-Martínez A., Pavón-Silva T., Ibañez J., Roa-Morales G. (2017). Simultaneous electrocoagulation of dam water and production of hydrogen. "World Review of Science, Technology and Sustainable Development". 13 (3) [citado el 23 de octubre de 2018]. <http://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=wrstsd>
- Balasubramanian N., Kojima T., Basha C. A. Srinivasacannan C. (2009). Removal of arsenic from aqueous solution using electrocoagulation "Journal of Hazardous Materials". 167(1-3), 966-969 [citado el 25 de octubre de 2018]. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.081>
- Barragne-Bigot P. (2004). Contribución al estudio de cinco zonas contaminadas naturalmente por Arsénico en Nicaragua. "UNICEF". [citado el 28 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/arsenico/Nicaragua.pdf>
- Can B. Z., Boncukcuoglu R., Yılmaz E. A. and Fil A. B. (2014). Effect of some operational parameters on the arsenic removal by electrocoagulation using iron electrodes. "Journal of Environmental Health Science & Engineering" 12:95 <http://www.ijehse.com/content/12/1/95>
- Castañeda-Díaz J., Pavón-Silva T., Gutiérrez-Segura E. and Colín-Cruz A. (2017) Electrocoagulation – adsorption to removal anionic and cationic dyes from aqueous solution by PV-energy. "Journal of Chemistry" [citado el 25 de octubre de 2018]. 14. <https://doi.org/10.1155/2017/5184590>
- Chávez-Capilla T., Beshai M., Maher W., Kelly T., Foster S. (2016). Bioaccessibility and degradation of naturally occurring arsenic species from food in the human gastrointestinal tract. "Food Chemistry". 212:189–97 [citado el 6 de noviembre de 2018]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.163>. PMID: 27374523
- Delaire C., Amrose S., Zhang M., Hake J., Gadgil A. (2017). How do operating conditions affect As (III) removal by iron electrocoagulation. "Water Research" 112, 185-194. <https://gadgillab.berkeley.edu/operating-conditions-affect-asiii-removal-iron-electrocoagulation-delaire-et-al-2017-water-research/Dies>, R. (2003). "Development of a ceramic water filter for Nepal". Master Thesis. Cambridge (USA): Massachusetts Institute of Technology. [citado el 28 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student%20Theses/Nepal/Dies2003.pdf>
- ENACAL. (2008). Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012. febrero 28, 2021. de Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional Sitio web: <https://www.ifrc.org/docs/IDRL/Nicaragua/Estrategia-Sectorial-Agua-potable.pdf>
- Escalera R., and Ormachea (2017). Hidroquímica de la presencia natural de arsénico en aguas subterráneas de áreas suburbanas de cochabamba-bolivia y evaluación de la viabilidad técnica de procesos de remoción. "Investigación & Desarrollo", No. 17, Vol. 1: 27–41. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Especiacion-del-arsenico-en-las-aguas-subterranas-de-la-zona-de-estudio\\_fig1\\_318283588](https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Especiacion-del-arsenico-en-las-aguas-subterranas-de-la-zona-de-estudio_fig1_318283588)
- García-Alvarado F. J., Neri-Meléndez H., Pérez Armendáriz L., Rivera Guillen M. (2018). Polimorfismos del gen Arsénico 3 Metiltransferasa (As3MT) y la eficiencia urinaria del metabolismo del arsénico en una población del norte de México. "Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública". 35(1):72-6 [citado el 5 de noviembre de 2018]. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3565>.
- González Rodríguez B., Rietveld L.C., Longley A.J., van Halem D. (2019). Arsenic contamination of rural community wells in Nicaragua: A review of two decades of experience. "Science Total Environmental". Mar 20;657:1441-1449. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.168. PMID: 30677910.
- Jomova K., Jenisova Z., Feszterova M., Baros S., Liska J., Hudecova D. (2011) Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. "Journal Applied Toxicology". 31(2):95–107 <https://doi.org/10.1002/jat.1649>. PMID: 21321970
- Levenspiel O. (1993). "Ingeniería de las Reacciones Químicas". ediciones REPLA, S. A. Editorial Reverté; Barcelona, pp. 138-159.
- Litter M. I., Fernández R., Cáceres R. E., Grande Cobián D., Cicerone D. y Fernández C. A. (2008). Tecnologías de bajo costo para el tratamiento de arsénico a pequeña y mediana escala. "AIDIS ARGENTINA. Ingeniería Sanitaria y Ambiental". Nº 100. <https://www.researchgate.net/publication/284609758>

- Litter M., Morgada M.E., Bundschuh J. (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption. "Environmental Pollution" 158, 1105–1118
- Medina-Pizzali M., Robles P., Mendoza M., Torres C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. "Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública". 35(1): 93-102. Abril. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v35n1/a15v35n1.pdf>
- Mejía J. K. (2009). "Estudio Preliminar de la calidad de agua de consumo humano en el Municipio de Santa Rosa del Peñón-León". Tesis para obtener el título de Licenciatura en Química. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León
- Ngai T, Murcott S, Shrestha RR, Pokharel K, and Walewijk S. (2014). Arsenic Kanchan Filter (AFK) – research and implementation of an appropriate drinking water solution for rural Nepal. Massachusetts, Kathmandu, Nepal. "Massachusetts Institute of Technology and ENPHO, Nepal". <https://www.researchgate.net/publication/242647311>
- OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable. *Primer Apéndice a la 3ra Edición. Ginebra*: OMS; 398, 2006. [Citado el 06 de junio de 2017]. Disponible en: [http://201.147.150.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1262/Investigao\\_e\\_evoluo.pdf?sequence=1](http://201.147.150.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1262/Investigao_e_evoluo.pdf?sequence=1)
- Pavón-Silva T.B., Romero-Tehuitzil H., Munguía G., Huacuz J. (2018). Photovoltaic energy assisted electrocoagulation of a synthetic textile effluent. "International Journal of Photoenergy". <https://www.hindawi.com/journals/ijp/aip/>
- Pérez-Sicairos, S.; Morales-Cuevas, J.B.; Félix-Navarro, R.M.; Hernández-Calderón, O.M. (2011). Evaluation of the electro-coagulation process for the removal of turbidity of river water, wastewater and pond water. "Revista Mexicana de Ingeniería Química", vol. 10, núm. 1, abril, pp. 79-91
- Rojas-Chaves P., Vargas-Benavides M., Araya-Obando A.; Valverde-Cerdas J.; Romero-Esquivel L. G. (2015). Estudio de remoción de arsénico en agua potable a nivel domiciliario mediante oxidación solar y coagulación-floculación. "Tecnología en Marcha". Vol. 28, Nº 4, Octubre-Diciembre. Pág 54-65.
- Romero Toledo R., Ruiz Santoyo V., Anaya Esparza L.M., Pérez Larios A. y Martínez Rosales M. (2019). Study of arsenic (V) removal of water by using agglomerated alumina. "Nova Scientia". Nº 23, Vol. 11 (2) ISSN 2007 – 0705, pp.: 1 - 25 <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1665>.
- Sarmiento P., Frossasco V., Marín G., Semprini D., Rosa M., Peralta J. (2018) Modelado de un Proceso Electroquímico y de su Consumo Energético para la Remoción de Arsénico en Aguas, Utilizando el Método de Superficie de Respuesta "Revista Tecnología y Ciencia" Nº 31. 72-86.
- Sharma A, Adapureddy S. M., Goel S. (2014) Arsenic removal and Its Chemistry in Batch Electrocoagulation Studies. "Journal Environmental Science Engineering". 56(2):209-14. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26563067> PMID:26563067
- Yang, H., Wang, Y., Bender, J. y Xu S. (2019). Removal of Arsenate and Chromate by Lanthanum-modified Granular Ceramic Material: The Critical Role of Coating Temperature. "Scientific Reports nature" 9, 7690 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44165-8>