

## Tendencias en el desarrollo de biosensores para el monitoreo de arsénico en agua

### Trends in the development of biosensors for monitoring arsenic in water

Carmen Natividad Alvarado Canché,<sup>1</sup> Arxel de León Santillán<sup>2</sup>, Roberto Arredondo Valdés<sup>1</sup>, Antonio Serguei Ledezma Perez<sup>2</sup>, Miguel Ángel de León Zapata<sup>3</sup>, Daniel Canseco Caballero<sup>2</sup>, Elan Iñaky Laredo Alcalá<sup>\*3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila  
Blvd. V. Carranza s/n, Col. República Oriente, Saltillo, Coahuila. C.P. 25280.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Química Aplicada.

Blvd. Enrique Reyna Hermsillo No. 140, Saltillo, Coahuila, CP25294.

<sup>3</sup> Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila.  
Universidad Autónoma de Coahuila, Miguel Hidalgo #212 Zona Centro, Cuatrociénegas  
Coahuila. C.P. 27640.

**\*Autor de correspondencia:** Dr. Elan Iñaky Laredo Alcalá  
Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila  
de la Universidad Autónoma de Coahuila. Tel: 8442181231  
Correo electrónico: elan\_laredo@uadec.edu.mx ORCID: 0000-0003-0957-787X

## Resumen

La contaminación de agua por arsénico representa un riesgo de proporción global debido a su toxicidad y por su clasificación como un elemento carcinogénico y mutagénico. En las últimas décadas se han desarrollado diferentes métodos de determinación de arsénico en agua proporcionando resultados eficientes. El presente artículo de revisión es el estudio de los avances realizados en el desarrollo de biosensores de reconocimiento óptico, electroquímicos y electroquimioluminiscentes para la determinación y cuantificación de arsénico en agua.

**Palabras clave:** arsénico, biosensores, sistemas ópticos, electroquímica, electroquimioluminiscencia.

**Abstract:** Arsenic contamination of water represents a risk of global proportion due to its toxicity and its classification as a carcinogenic and mutagenic element. In recent decades, different methods for determining arsenic in water have been developed, providing efficient results. This article reviews the advances made in the study of optical, electrochemical, and electrochemiluminescent recognition biosensors for the determination and quantification of arsenic in water.

**Keywords:** arsenic, biosensors, optical systems, electrochemistry, electrochemiluminescence.

## 1 Introducción

Recientes estudios de la Organización Mundial de la salud informan que aproximadamente mil millones de personas no tienen acceso a agua limpia a consecuencia de esto, aproximadamente 1.6 millones de personas fallecen (Li y col., 2019). La contaminación del agua, particularmente de las aguas subterráneas, se reconoce como una cuestión importante de proporción global, los contaminantes más comunes son los metales pesados (arsénico, cadmio, plomo y mercurio). Debido a su toxicidad, abundancia natural, y no degradabilidad

pueden permanecer por años representando una amenaza para la salud humana (Alavanja y col., 2004).

La influencia del arsénico en la actividad humana ha sido amplia a lo largo de la historia, más que cualquier otro elemento o compuesto tóxico. La contaminación del agua por arsénico es causada por una variedad de factores naturales y antropogénicos; por ejemplo, la agricultura, la extracción de minerales, el procesamiento del metal y la actividad industrial (Kamal y Parkpian, 2002).

El arsénico se presenta en diferentes proporciones en los ecosistemas (20 % en corteza terrestre, 14% en agua de mar y 12% en el sistema humano) (Mandal y Suzuki, 2002). Recientemente la Agencia Internacional para la Investigación de Cáncer (IARC) clasificó a este metal como un potencial mutagénico y carcinogénico, por lo cual el monitoreo de arsénico en agua ha cobrado relevancia, propiciando en las últimas cinco décadas el desarrollo de diversas técnicas (Ma y col., 2014). Los biosensores representan una excelente alternativa para la detección de arsénico. En particular, los biosensores basados en elementos de reconocimiento involucran la detección mediante la emisión de luz, generalmente constituidos por una molécula biológica específica (enzima, célula, anticuerpo, ácido desoxirribonucleico, entre otros), que en ocasiones unida a un transductor electroquímico, óptico o térmico permite la detención de un analito (Khansili y col., 2018). El presente artículo de revisión pretende abordar las diferentes metodologías utilizadas para la detección de arsénico mediante sistemas de biosensores.

## **2 Determinación de arsénico en agua**

El arsénico es el vigésimo elemento más abundante en la corteza terrestre, encontrándose en varios estados de oxidación en el medio ambiente (0, +5, y +3) y en aguas naturales en forma de oxianiones inorgánicos como arsenito trivalente (As (III)) o arseniato pentavalente (As (V)). El As (III) está reportado como tóxico debido a su movilidad y a su capacidad para inhibir múltiples proteínas (Devi y col., 2019). La contaminación del agua por arsénico es

causada por factores naturales y antropogénicos, incluida la agricultura, la extracción de minerales, el procesamiento de metales y la actividad industrial (Kamal y Parkpian, 2002). En el año 2001 la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que aproximadamente 130 millones de personas en el mundo están expuestas al arsénico; la exposición prolongada a este metal puede ocasionar efectos nocivos a la salud como envenenamiento, daños en la piel, deterioro de órganos internos, problemas neurológicos, además recientemente la IARC lo clasificó como un potencial mutagénico y carcinogénico (Duker y col., 2005). La legislación de la calidad del agua en la agencia de protección ambiental ha sido más estricta reduciendo los niveles máximos permisibles de arsénico en agua potable a unos pocas partes por billón (Choong y col., 2007), por lo cual el monitoreo de arsénico en agua ha cobrado relevancia, propiciando en las últimas cinco décadas el desarrollo de diversas técnicas de detección (Ma y col., 2014).

En la actualidad las técnicas utilizadas para la detección y cuantificación de arsénico en agua se muestran en la Tabla 1, se pueden resumir en técnicas espectrométricas (espectrometría de absorción atómica de llama, generación de hidruros, espectrometría de fluorescencia atómica de generación de hidruros (HG-AAS y HG-AFS) y espectrometría de absorción atómica en horno de grafito (GFAA)), técnicas de plasma acoplado inductivamente (ICP), (ICP-AFS y ICM-espectrometría de masas (MS)), cromatografía líquida de alta presión (HPLC y ICP-MS)) y análisis de activación de neutrones (NAA) (Terlecka y col., 2005).

**Tabla 1.** Técnicas actuales para la detección de arsénico en agua

<b>Técnicas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Bibliografía</b>
<b>Espectrométricas</b> FAAS HG-AAS HG-AFS GFAA	La inclusión de hidruros aumenta la sensibilidad y reduce las interferencias de la matriz. Permite analizar compuestos no volátiles.	Los metales de transición pueden interferir con la determinación de arsénico. Requiere de técnicas acopladas como HPLC, reduciendo la sensibilidad. Es necesario tratamiento previo de la muestra.	Maher y col., 2015. Llahuilla y col., 2020.

			Posible pérdida de As (III) durante el ciclo de carga del grafito.	
<b>Técnicas de plasma acoplado inductivamente</b>	ICP-AFS ICM-MS HPLC y ICP-MS	Posee isotopos con capacidad de análisis de alta precisión y detección. Puede determinar especies no volátiles. Menores costos de funcionamiento. Tiempos de calentamiento más cortos previos al análisis.	Interferencia de cloruro de argón. Baja sensibilidad debido a la poca eficiencia de ionización en ICP. Límites de detección bajos.	Martinez y col., 2001. Niedzielski y col., 2003. Maher y col., 2015. Shchukin y col., 2020.
<b>Análisis de activación de neutrones</b>	NAA	Alta sensibilidad	Interferencia con sal presente en muestras de agua	Niedzielski y Siepak, 2003. Zeisler y col., 2006.

Estos sistemas a pesar de su alta sensibilidad y selectividad no se pueden utilizar en el campo para análisis de rutina, ya que dependen de infraestructura, instrumentación sofisticada y costosa, personal capacitado, productos químicos de alta pureza, consumibles para el tratamiento y pretratamiento de la muestra (Hung y col., 2004), por lo tanto, es necesario el desarrollo de un dispositivo amigable, desplegable en el campo para el monitoreo frecuente e “in situ” de arsénico en agua como lo pueden llegar a ser los biosensores.

### 3 Biosensores

Los biosensores son dispositivos de detección y cuantificación, generalmente están compuestos por un biocomponente (enzima, célula, anticuerpo, ADN, entre otros), un transductor (electroquímico, óptico o térmico) y un amplificador de unidad (Schöning y col., 2018) como se muestra en la Figura 1. Los sensores utilizan características de etiqueta especializadas como fluorescencia, cambio de coloración o detección de luz para un analito en específico (Samuel y Rao, 2016), la evolución de estos sensores para el análisis en tiempo real con alta especificidad y bajas concentraciones de muestra reduce el costo y desechos del analito.

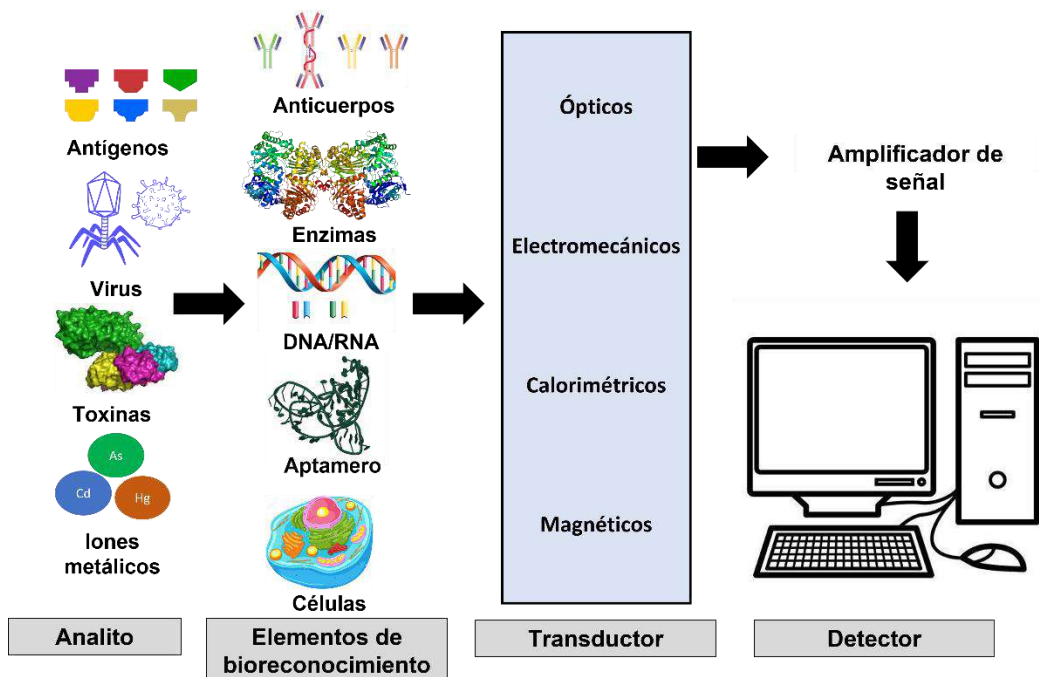


Figura 1. Esquema de un biosensor y sus componentes fundamentales

Los metales pesados, pesticidas, entre otros contaminantes han sido utilizados como objetivo para la construcción y diseño de biosensores (Molina y col., 2019). El analito de interés interactúa con el elemento de bioconocimiento inhibiendo la actividad metabólica (activada enzimática) o distorsionando la conformación biomolecular (ADN y antígenos). En ambos métodos de trabajo el objetivo es la reducción o la mejora de una señal bioquímica, la cual es reconocida por el biocomponente y convertida por el transductor en una señal medible (Kaur y col., 2015), dependiendo de los tipos de transductor o de la señal transducida, los biosensores se clasifican en dispositivos ópticos, electroquímicos, térmicos y piezoeléctricos.

### 3.1 Sistemas ópticos

Los sistemas ópticos de detección proporcionan un buen análisis cualitativo, ya que involucran la transducción óptica de uno o múltiples analitos, detectan el cambio en las propiedades de las ondas electromagnéticas y muestran variedad de medidas en espectroscopía por diferentes calidades ópticas, índice de refracción, longitud de onda de

absorción, porcentaje de transmisión, intensidad o resonancia (Khansili y col., 2018), interpretando la detección de un analito mediante el cambio en dichas propiedades, estas señales se amplifican, analizan y son convertidas a unidades de concentración.

Los biosensores ópticos más comunes son los basados en resonancia de plasmones superficiales, fluorescencia, quimioluminiscencia y electroquimioluminiscencia.

### **3.2 Electroquímicos**

Los biosensores electroquímicos ofrecen perspectivas novedosas con beneficios como sensibilidad, selectividad, respuestas rápidas, además de ser considerados fiables y fáciles de usar por que utilizan menos reactivos, procedimientos simples y de bajo costo (Zaib y col., 2015).

El biosensor electroquímico genera una señal eléctrica cuando los analitos interactúan con las biomoléculas para producir sustancias químicas, estos generan cambios en el área químicamente activa de los electrodos por presencia de una sonda electroquímica.

En métodos electroquímicos son utilizados la voltametría de barrido lineal en el punto de suspensión, es el método más antiguo para la determinación de trazas de metales inorgánicos, este método posee bajos límites de detección debido a las corrientes capacitivas y la técnica polarografía de pulso diferencial (DPP) tiene los mismos beneficios de selectividad, pero corrientes capacitivas más bajas lo que resulta en límites de detección más bajos, sin embargo, existen pocos trabajos relacionados con la determinación de arsénico en agua usando polarografía de pulso diferencial debido, principalmente, a la sensibilidad limitada (Hung y col., 2004)

### **3.3 Electroquimioluminiscencia**

La electroquimioluminiscencia o quimioluminiscencia electro generada (ECL) es la técnica en la que se emite quimioluminiscencia mediante una reacción de transferencia de electrones (Figura 2) es versátil porque permite ajustar los parámetros durante su fabricación (potencial

de corriente, tiempo de reacción y tamaño del electrodo). La ECL es de fácil generación en soluciones acuosas simples y ambientalmente seguras a través de una ruta de co-reactivo, es aplicable a ensayos para diferentes propósitos. Generalmente la ECL es utilizada para identificar co-reactivos potenciadores y extintores de ECL, gracias a su alta sensibilidad, amplio rango lineal y análisis rápido son utilizados en la detección de biomoléculas, alimentos, diagnóstico clínico y análisis de seguimiento ambiental. En la última década se han visto adaptaciones incorporadas en la fabricación de sensores de ECL y adaptaciones a otras técnicas analíticas como inyección de flujo, cromatografía líquida de alta resolución, electroforesis capilar entre otras (Cui y col., 2016, Yao y col., 2017.)

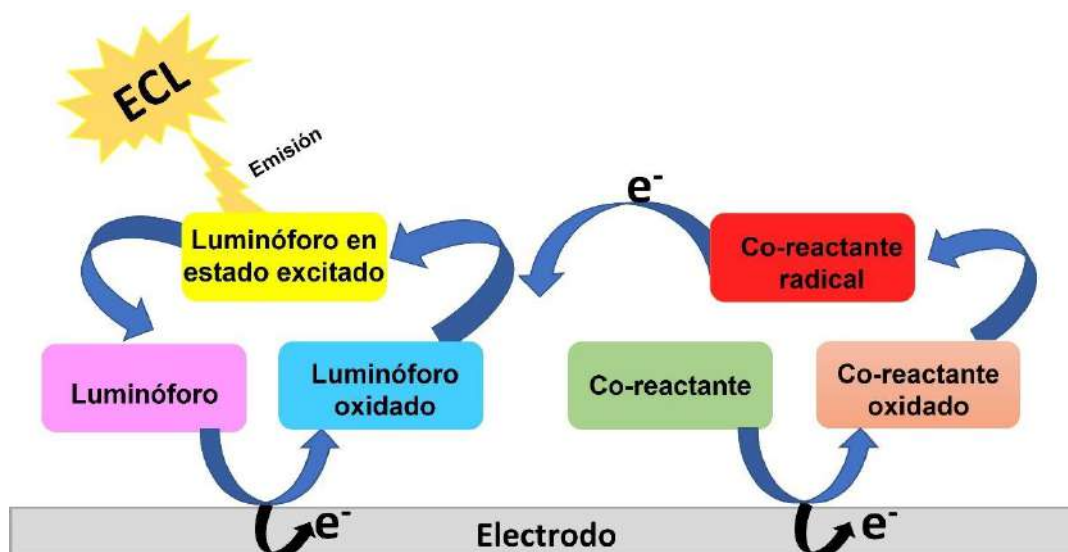


Figura 2. Mecanismo ECL y su generación en un electrodo en presencia de luminóforo y co-reactivo.

Hoy en día se han realizado diferentes publicaciones de biosensores utilizados para la detección de arsénico en agua, como Cosnier y colaboradores en el 2006 determinaron As (V) por medio de un biosensor ácido fosfatasa-polifenol oxidasa, basado en el atrapamiento simultaneo de fosfatasa ácida (PAC) y polifenol oxidasa (PFO) en arcillas aniónicas para la detección de As (V). El principio del funcionamiento consiste en la hidrólisis sucesiva del fenil fosfato en fenol por PAC, seguida de la oxidación de fenol en o-quinona por PFO, se

monitoreo la concentración de fenilo potenciando el biosensor para detectar amperométricamente la quinona generada. La detección de As se basó en su efecto inhibitorio sobre la actividad de PAc hacia la hidrólisis de fenil fosfato en fenol (Cosnier y col., 2006). Así mismo utilizando una enzima en el año 2007 Male y colaboradores desarrollaron un biosensor para la detección de As (III). La enzima oxidasa en presencia de molibdeno preparada con quimiolitoautótrofos NT-26 logró la oxidación de arsenito a arseniato. La enzima fue depositada durante 10 minutos a 10 mA en la superficie activa de un electrodo de carbono modificado, el biosensor permitió la transferencia directa de electrones, efectuando la reducción y la reoxidación de la enzima sin un mediador artificial de transferencia de electrones, fue utilizado para análisis de arsenito en agua de grifo, de río y mineral comercial mostrando una excelente reproducibilidad (Male y col., 2007).

Yang y colaboradores en el 2012 estudiaron la absorción de As (III) y As (V) por medio de la bacteria *Bacillus subtilis*. La incubación de las bacterias con Fe (III) causa la absorción de hierro y parte del hierro se adhiere a la membrana celular como óxido férrico hidratado (OFH). A pH 8 la capacidad de unión de As por mol de hierro para las bacterias ferradas es mayor que la reportada para cualquier absorbente que contenga hierro (Yang y col., 2012). Liang y colaboradores en el año 2018 construyeron un indicador radiométrico de electroquimioluminiscencia para la detección de ultratrazas de As (III) basado en la extinción sinérgica de la emisión de ECL de Au-gC<sub>3</sub>N<sub>4</sub>NSs utilizando AS (III) y Rutenio (Ru (bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>), generando una nueva señal de ECL de Ru (bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> con una mayor intensidad, logrando la detección de As (III) con buena sensibilidad y selectividad (Liang y col., 2018). Mejía Segovia en 2018 elaboró un biosensor para la detección de As utilizando la bacteria *Escherichia coli* modificada con un plásmido pTOP Blunt V2, para la realización del plásmido fueron sintetizados los genes de luminiscencia y de resistencia de As, utilizaron la técnica de electroporación para la transformación y recombinación de las células, las cuales fueron sometidas a impulsos eléctricos controlados y posterior a ello se cultivaron en agar LB, se sometieron a pruebas de tolerancia de arsénico determinando la absorbancia del arsénico por espectrofotómetro de microplacas y espectroscopia de absorción atómica

(EAA), obteniendo un biosensor competente para medir concentraciones de As de 0.01 a 0.08 ppm (Mejía Segovia, 2018) y Xi y colaboradores en 2020 fabricaron un sensor ECL sin inmovilización y sin etiquetas, integrando un primer y una plantilla para el diseño de un ADN de horquilla, utilizando nanoesferas de polidopamina (PDANS) como inhibidor reversible no específico. Sin As (III), el ADN en horquilla está restringido por PDANS y se inhibe el proceso SDA  $\text{Ru}(\text{phen})_3^{2+}$ , como sonda ECL, puede difundirse a la superficie del electrodo ITO con carga negativa para brindar una fuerte respuesta ECL. Mientras que la presencia de As (III) libera el ADN en horquilla y desencadena el proceso SDA con la ayuda de la polimerasa y la endonucleasa generando dsDNA, interactúa con  $\text{Ru}(\text{phen})_3^{2+}$  para formar el complejo de dsDNA- $\text{Ru}(\text{phen})_3^{2+}$ . Es difícil acercarse al complejo a la superficie del electrodo ITO debido a la repulsión electrostática, lo que da como resultado una respuesta ECL baja. Obteniendo límites de detección de  $1.2 \times 10^{-3}$  ppb (Zhu y col., 2020)

La utilización de biosensores para la detección de arsénico en agua actualmente se encuentra en desarrollo, sin embargo, los biosensores podrían cumplir con los criterios de medición precisa, económica y rápida para la detección de este y otros contaminantes que tengan capacidad de análisis “in situ”, estos dispositivos de detección contribuyen para encontrar estrategias que superen las limitaciones de las técnicas analíticas actualmente utilizadas.

#### **4 Conclusiones y perspectivas futuras**

El desempeño de cualquier plataforma de detección es dependiente de las características de la sonda para alcanzar la sensibilidad, selectividad, reproducibilidad, límite de detección y la estabilidad deseada. El tipo de sistema y el material utilizado determina si el biosensor puede ser un dispositivo aceptable de campo. Dado que el análisis de especies químicas tiene como objetivo determinar la concentración de un elemento en su estado original en la muestra; el análisis “in situ” podría ser la mejor opción para la determinación de arsénico. Los trabajos comparados de detección de arsénico en agua por medio de biosensores proporcionan datos cuantitativos confiables que compiten con los métodos convencionales, además de tener como ventaja el costo, rápido tiempo del análisis y menor pretratamiento de la muestra.

Por lo tanto, la investigación sobre el desarrollo de biosensores para detección de cualquier especie química que tenga capacidad de traducción de campo habilitará a la comunidad científica e investigadores para encontrar estrategias que superen las limitaciones de las tecnológicas asociadas.

## 5 Agradecimientos

Agradecemos al proyecto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) “Desarrollo de biosensores electroquimioluminiscentes para la determinación de glifosato en la agricultura” numero 315866 por el financiamiento.

## 6 Referencias

Alavanja, M. C., Hoppin, J. A., & Kamel, F. (2004). Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Annual review of public health, 25*: 155.

Choong, T. S. Y., Chuah, T. G., Robiah, Y., Gregory Koay, F. L., & Azni, I. (2007). Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. *Desalination, 217*(1):139–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.015>

Cosnier, S., Mousty, C., Cui, X., Yang, X., & Dong, S. (2006). Specific Determination of As (V) by an Acid Phosphatase–Polyphenol Oxidase Biosensor. *Analytical Chemistry, 78*(14): 4985–4989. <https://doi.org/10.1021/ac060064d>

Cui, H., Paolucci, F., Sojic, N., & Xu, G. (2016). Analytical electrochemiluminescence. *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 408*(25): 7001–7002. <https://doi.org/10.1007/s00216-016-9837-9>

Devi, P., Thakur, A., Lai, R. Y., Saini, S., Jain, R., & Kumar, P. (2019). Progress in the materials for optical detection of arsenic in water. *TrAC Trends in Analytical Chemistry: 110*; 97–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.008>

Duker, A. A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2005). Arsenic geochemistry and health. *Environment International, 31*(5): 631–641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.10.020>

Hung, D. Q., Nekrassova, O., & Compton, R. G. (2004). Analytical methods for inorganic arsenic in water: a review. *Talanta*, 64(2): 269–277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.01.027>

Kamal, A. S. M., & Parkpian, P. (2002). Arsenic contamination in Hizla, Bangladesh: sources, effects and remedies. *Sci. Asia*, 28: 181-189.

Kaur, H., Kumar, R., Babu, J. N., & Mittal, S. (2015). Advances in arsenic biosensor development – A comprehensive review. *Biosensors and Bioelectronics*, 63: 533–545. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.08.003>

Khansili, N., Rattu, G., & Krishna, P. M. (2018). Label-free optical biosensors for food and biological sensor applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 265: 35–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.03.004>

Llahuilla Q., J. A., Laguna G., L. S., & Ricaldi C., E. D. (2020). Determinación de arsénico y plomo en lápices labiales mediante espectroscopia de absorción atómica que se expende en Lima Metropolitana. *Ciencia E Investigación*, 23(2): 35–39. <https://doi.org/10.15381/ci.v23i2.19379>

Li, Y., Zhou, Q., Ren, B., Luo, J., Yuan, J., Ding, X., Bian, H., & Yao, X. (2020). Trends and Health Risks of Dissolved Heavy Metal Pollution in Global River and Lake Water from 1970 to 2017. In P. de Voogt (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 251*: 1–24. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/398\\_2019\\_27](https://doi.org/10.1007/398_2019_27)

Liang, R. P., Yu, L. D., Tong, Y. J., Wen, S. H., Cao, S. P., & Qiu, J. D. (2018). An ultratrace assay of arsenite based on the synergistic quenching effect of Ru (bpy)  $3^{2+}$  and arsenite on the electrochemiluminescence of Au–gC<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanosheets. *Chemical communications*, 54(99), 14001-14004. doi: 10.1039/c8cc08353c. PMID: 30483680.

Ma, J., Sengupta, M. K., Yuan, D., & Dasgupta, P. K. (2014). Speciation and detection of arsenic in aqueous samples: A review of recent progress in non-atomic spectrometric methods. *Analytica Chimica Acta*, 831: 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.04.029>

Maher, W. A., Ellwood, M. J., Krikowa, F., Raber, G., & Foster, S. (2015). Measurement of arsenic species in environmental, biological fluids and food samples by HPLC-ICPMS and HPLC-HG-AFS. *J. Anal. At. Spectrom.*, 30(10): 2129–2183. <https://doi.org/10.1039/C5JA00155B>

Male, K. B., Hrapovic, S., Santini, J. M., & Luong, J. H. T. (2007). Biosensor for Arsenite Using Arsenite Oxidase and Multiwalled Carbon Nanotube Modified Electrodes. *Analytical Chemistry*, 79(20): 7831–7837. <https://doi.org/10.1021/ac070766i>

Mandal, B. K., & Suzuki, K. T. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta*, 58(1): 201–235. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00268-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00268-0)

Martinez-Bravo, Y., Roig-Navarro, A. F., Lopez, F. J., & Hernandez, F. (2001). Multielemental Determination of Arsenic, Selenium and Chromium (VI) Species in Water by HPLC ICP MS. *Journal of Chromatography A*, 926(2): 265-274.

Mejía Segovia, E. V. (2018). *Construcción del biosensor para detectar arsénico en agua por aplicación tecnológica de la PUCE-SI* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra).

Molina, M. del C., Bautista, L. F., Belda, I., Carmona, M., Díaz, E., Durante-Rodríguez, G., García-Salgado, S., López-Asensio, J., Martínez-Hidalgo, P., Quijano, M. Á., White, J. F., & González-Benítez, N. (2019). Bioremediation of Soil Contaminated with Arsenic. In A. Kumar & S. Sharma (Eds.), *Microbes and Enzymes in Soil Health and Bioremediation*: 321–351. Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9117-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9117-0_14)

Niedzielski, P., Siepak, M., (2003) Analytical Methods for Determining Arsenic, Antimony and Selenium in Environmental Samples. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12(6): 653–667. <http://www.pjoes.com/Analytical-Methods-for-Determining-Arsenic-r-nAntimony-and-Selenium-in-Environmental,87604,0,2.html>

Samuel, V. R., & Rao, K. J. (2022). A review on label free biosensors. *Biosensors and Bioelectronics: X*, 11, 100-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosx.2022.100216>

Shchukin, V. M., Zhigilei, E. S., Erina, A. A., Shvetsova, Yu. N., Kuz'mina, N. E., & Luttsava, A. I. (2020). Validation of an ICP-MS Method for the Determination of Mercury, Lead, Cadmium, and Arsenic in Medicinal Plants and Related Drug Preparations.

*Pharmaceutical Chemistry Journal*, 54(9): 968–976. <https://doi.org/10.1007/s11094-020-02306-8>

Schöning, M. J., & Poghossian, A Label-Free Biosensing: Advanced Materials, Devices and Applications, Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors (2018) 16: 1–26 DOI 10.1007/5346\_2017\_2

Terlecka, E. (2005). Arsenic Speciation Analysis in Water Samples: A Review of The Hyphenated Techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 107(1): 259–284. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-3109-z>

Zhu, X., Zhang, S., Li, W., Zhan, Y., Yu, L., Wu, X., ... & Yang, G. (2020). Label-free and immobilization-free electrochemiluminescent sensing platform for highly sensitive detection of As (III) by combining target-induced strand displacement amplification with polydopamine nanospheres. *Sensors and Actuators b: Chemical*, 311:2-4. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127818>

Yang, T., Chen, M.-L., Liu, L.-H., Wang, J.-H., & Dasgupta, P. K. (2012). Iron(III) Modification of *Bacillus subtilis* Membranes Provides Record Sorption Capacity for Arsenic and Endows Unusual Selectivity for As(V). *Environmental Science & Technology*, 46(4): 2251–2256. <https://doi.org/10.1021/es204034z>

Yao, J., Li, L., Li, P., & Yang, M. (2017). Quantum dots: from fluorescence to chemiluminescence, bioluminescence, electrochemiluminescence, and electrochemistry. *Nanoscale*, 9(36), 13364-13383. <https://doi.org/10.1039/C7NR05233B>

Yogarajah, N., & Tsai, S. S. H. (2015). Detection of trace arsenic in drinking water: challenges and opportunities for microfluidics. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 1(4): 426–447. <https://doi.org/10.1039/C5EW00099H>

Zaib, M., Athar, M. M., Saeed, A., & Farooq, U. (2015). Electrochemical determination of inorganic mercury and arsenic—A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 74: 895–908. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.07.058>

Zeisler, R., Mackey, E. A., Lamaze, G. P., Stover, T. E., Oflaz Spatz, R., & Greenberg, R. R. (2006). NAA methods for determination of nanogram amounts of arsenic in biological samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 269(2): 291–296. <https://doi.org/10.1007/s10967-006-0381-5>



**Universidad Autónoma de Coahuila**  
**Dirección de Investigación y Posgrado**  
CienciAcierta No. 75 julio - septiembre de 2023  
Recepción de artículo 19 de diciembre de 2022  
Artículo aceptado 22 de marzo de 2023  
**ISSN: 2683-1848**