

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON ARSÉNICO (AS) EN LAS COMUNIDADES DE XICHÚ, GTO., MÉXICO TOMANDO COMO EMPAQUES PELLETS PROVENIENTES DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE LA REGIÓN

Mayela Janeth Zavala Sánchez⁽¹⁾, Alma Hortensia Serafín Muñoz^(1*), Gustavo Cruz Jiménez⁽²⁾, Norma Leticia Gutiérrez Ortega⁽²⁾, Berenice Noriega Luna⁽²⁾, Raúl Miranda Avilés⁽²⁾, Julio Leal Vaca⁽²⁾, Saúl Villalobos⁽²⁾

¹Dpto. de Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Guanajuato, Gto,36000, *sermuah@ugto.mx, mj.zavalasanchez@ugto.mx

² Dpto. de Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Guanajuato, Gto,36000, berenol@hotmail.com

RESUMEN. De acuerdo con los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el mundo alrededor del 30% de las personas carecen de acceso al agua potable y disponible en el hogar y aun son menos las que cuentan con agua en condiciones saludables (OMS, 2018). La búsqueda de alternativas sustentables, económicas y efectivas para la remoción de As en comunidades con pocos recursos han permitido el desarrollo de nuevos métodos. En este trabajo se propone la elaboración de un prototipo a escala piloto tomando empaques de biomasa lignocelulósica capaz de eliminar el arsénico del agua; se trata de un material que tiene una alta capacidad de adsorción de arsénico del agua, obteniendo porcentajes de remoción mayores al 98% para muestras de agua con concentraciones iniciales de arsénico de 100 µg/l, al poner en contacto el material con el agua contaminada durante 12 horas con agitación de 100 rpm (Serafín, 2016). Se analizó la composición física de pellets elaborados a partir de cuatro diferentes biomásas residuales: aserrín, paja de trigo, agave y sorgo; todos ellos residuos procedentes de actividades productivas en el estado de Guanajuato. La cuantificación de arsénico se llevó a cabo en la fase líquida de las muestras (sobrenadante) por medio de Absorción Atómica con Generador de Hidruros (AAS-HG). Después de las pruebas preliminares se identificó la biomasa de aserrín carbonizado como el material más eficiente para adsorber arsénico. Esto pretende mejorar la calidad del agua de consumo de la región de Xichú, Gto.

Palabras clave: Arsénico, Biosorbente, Biosorción.

1. INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es una de las 10 sustancias químicas que la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera más preocupantes para la salud pública y el ambiente, este representa una amenaza importante cuando se encuentra en aguas contaminadas y estas se emplean para beber, preparar alimentos y/o regar cultivos alimentarios. Organizaciones nacionales e internacionales tales como: Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), Organización Mundial de la Salud (OMS), Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), han establecido límites permisibles en el agua de consumo de este elemento químico ya que lo han reportado como un agente carcinogénico para humanos y lo sitúan (arsénico inorgánico) en su clasificación más alta de sustancias cancerígenas (OMS, 2018). El arsénico inorgánico está naturalmente presente en altos niveles, superando los límites permisibles (0.01mg.L^{-1}) en las aguas subterráneas de diversos países, entre ellos la Argentina, Bangladesh, Chile, China, la India, México y los Estados Unidos de América. (OMS, 2018). Las formas orgánicas (arsénico metilado) rara vez están presentes en concentraciones superiores a 0.001mg.L^{-1} y generalmente se consideran de menor toxicidad en comparación con las especies inorgánicas en el tratamiento de agua potable. El arsénico inorgánico se encuentra principalmente en dos estados de oxidación, As (V) y As (III). El As (III) es mucho más tóxico y móvil que el As (V), y usualmente se encuentra en aguas subterráneas y en aguas hidrotermales, mientras que el As (V) es común en aguas superficiales y aguas subterráneas oxidadas (aquellas que contienen compuestos que oxidan el As (III) a As (V), como materia orgánica de origen biológico (Sahmoune, 2016). El As es un metaloide que aparece de manera natural y ubicua en el medio ambiente, es liberado al ambiente por los volcanes, la erosión, depósitos minerales y por diversos procesos industriales y comerciales. Mucha de su dispersión en el ambiente se debe a la minería, procesos comerciales y en algunos casos, actividades relacionadas con la agricultura (Litter et al., 2020). El proceso en yacimientos minerales sulfurados por flotación selectiva produce residuos de granulometría fina denominados jales. Generalmente, estos jales contienen sulfuros metálicos residuales como galena (PbS), esfalerita (ZnS), calcopirita (CuFeS₂) y arsenopirita (FeAsS), que son la fuente de elementos potencialmente tóxicos como el arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), Hierro (Fe), etc. Dado que los jales se encuentran expuestos a la intemperie, sus componentes pueden sufrir diferentes procesos, lo que afectaría a su biodisponibilidad, movilidad y toxicidad de los metales contenidos, y por ende supondría la liberación de estos compuestos, así como su acumulación e infiltración (Romero, 2008). En México, la exposición crónica al arsénico hizo que se modificara la Norma que regula la concentración de arsénico en el agua (NOM 127-SSA1-1994) llegando a establecerse como límite máximo permisible de 0.025mg.L^{-1} . En el 2018 la Comisión Nacional del Agua (CNA) determinó la calidad del agua subterránea a través de un semáforo, el 39.8% de los sitios se catalogaron con color rojo presentando incumplimiento en uno o varios parámetros, entre estos el Arsénico Total, (CNA, 2018). La Comisión Estatal del Agua de Guanajuato reporto la siguiente problemática de la calidad de agua: en el Suroeste del estado hubo presencia de nitratos y fluoruros en algunos acuíferos, evidencia de contaminación orgánica,

turbiedad, sulfatos, flúor y algunos metales, en el Sureste: presencia de nitratos y fluoruros sin sobrepasar la normatividad, evidencia en algunos pozos de sulfatos, turbiedad y flúor, o con metales como arsénico, fierro y manganeso y sales minerales fuera de Norma, en el Noroeste se han encontrado presencia de nitratos y flúor, así como en algunos casos evidencia de arsénico, fierro y sodio y en el Noreste presencia de arsénico y en algunos acuíferos, evidencia turbiedad, arsénico, fierro y sodio (CEAG, 2019). Mitigar el problema del agua que contiene altos niveles de Arsénico requiere una inversión considerable en la infraestructura de suministro de agua. La búsqueda de tecnologías sustentables y saneamiento de las aguas contaminadas en comunidades vulnerables es uno de los objetivos más importantes para el Programa Nacional Hídrico 2019-2024. En la actualidad existe una amplia variedad de tecnologías (oxidación, floculación, osmosis inversa filtración, intercambio iónico y adsorción), para el tratamiento y remoción de contaminantes del agua, destacándose entre éstos el Arsénico con las que se ha logrado una eficiencia de adsorción de éste de 70 a 99%, dependiendo de la tecnología de extracción y del material adsorbente utilizado, sin embargo la tecnología aún no ha podido ser accesible a zonas rurales con un bajo costo, sostenibilidad, adaptación, adopción y mantenimiento mínimo (Jiang, 2010, Nicomel, 2016, Hao, 2018). Debido a las deficiencias técnicas y económicas de las tecnologías mencionadas, la biosorción de As en la superficie de los biosorbentes ha ganado un interés significativo y ha sido el objetivo de muchas investigaciones, por lo que la presente revisión se fundamenta en la búsqueda de las técnicas de biosorción, con la finalidad de realizar un análisis comparativo de varios biosorbentes y adsorbentes. La adsorción con materiales biológicos, conocida como biosorción, es un método efectivo y relativamente nuevo para la eliminación de la contaminación por metales pesados de ambientes acuosos, uno de sus beneficios es la selectividad para elementos específicos y la reutilización del biomaterial. Hasta ahora, se han investigado diferentes biomateriales como hongos, levaduras, algas, bacterias y biomasa vegetal para eliminar As (III) y As (V) de las soluciones acuosas. El único método que es de la naturaleza misma que no solo eliminaría los iones metálicos, sino que también es un ejemplo del uso efectivo de los residuos biológicos es la bioadsorción, es decir, la adsorción de cualquier componente, como metales, en la superficie de los componentes biológicos (Hadiani, 2019). La **bioadsorción** es un proceso de captación de iones que aprovecha las características de la biomasa lo que le permiten enlazar y acumular contaminantes; se puede aprovechar biomasa viva o muerta. Debido a la toxicidad del arsénico se considera una mejor opción emplear biomasa muerta, para evitar limitaciones biológicas. Los pellets de aserrín, paja de trigo, agave y sorgo son un material adsorbente que se logra acondicionar bajo ciertas condiciones de operación y que muestra resultados prometedores (98%) de retención de Arsénico en aguas contaminadas provenientes de la región de Xichú, Gto (Serafín 2016). El objetivo de este trabajo es evaluar la adsorción de Arsénico en agua contaminada empleando un prototipo de columna empaquetada con pellets provenientes de residuos lignocelulósicos.

2. METODOLOGÍA.

Para la caracterización de la biomasa se emplearon pellets de aserrín, paja de trigo, sorgo y agave como materia prima y se realizó la siguiente metodología: Se midió su peso y volumen para determinar la densidad promedio de cada material. Los pellets se pesaron utilizando la balanza analítica para obtener el peso fresco. Se secaron a una temperatura de 60 °C durante 24 horas y se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador y finalmente se pesaron para obtener el peso seco. Se carbonizaron en una mufla de acuerdo a la siguiente rampa de temperatura: 30 minutos a 115 °C, una hora a 205 °C y 10 minutos a 285 °C; se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador y se pesaron para obtener el peso carbonizado. Finalmente se llevaron a una mufla a una temperatura de 560°C durante una hora, se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador y se pesaron para obtener el peso de cenizas. Se determinaron los siguientes parámetros:

El porcentaje de humedad se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \right) (100)$$

(1)

El porcentaje de materia orgánica eliminada a 285°C, materia orgánica remanente y materia orgánica total se calculó utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Materia orgánica eliminada} = \left(\frac{\text{Peso seco} - \text{Peso carbonizado}}{\text{Peso seco}} \right) (100) \quad (2)$$

$$\% \text{ Materia orgánica remanente} = \% \text{ Materia orgánica total} - \% \text{ Materia orgánica eliminada} \quad (3)$$

$$\% \text{ Materia orgánica total} = \left(\frac{\text{Peso seco} - \text{Peso cenizas}}{\text{Peso seco}} \right) (100) \quad (4)$$

El porcentaje de materia inorgánica (cenizas) se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Materia inorgánica} = \left(\frac{\text{Peso de cenizas}}{\text{Peso seco}} \right) (100) \quad (5)$$

3. RESULTADOS

Los resultados de la composición porcentual de humedad, materia orgánica e inorgánica de los pellets, contenido de arsénico y densidad, dependiendo de la biomasa utilizada para su elaboración, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de pellets de aserrín, paja de trigo, agave y sorgo

Parámetro	Aserrín	Paja de trigo	Agave	Sorgo
% Humedad	6.02	4.26	4.14	3.92
% Materia orgánica eliminada	56.54	51.78	40.56	32.56
% Materia orgánica remanente	37.79	33.71	50.41	37.36
% Materia orgánica total	94.33	85.49	90.97	69.92
% Materia inorgánica	5.67	14.51	9.03	30.08
Concentración As (ppb)	0	0	0	0
Densidad (g/cm ³)	1.17	1.11	1.09	1.41

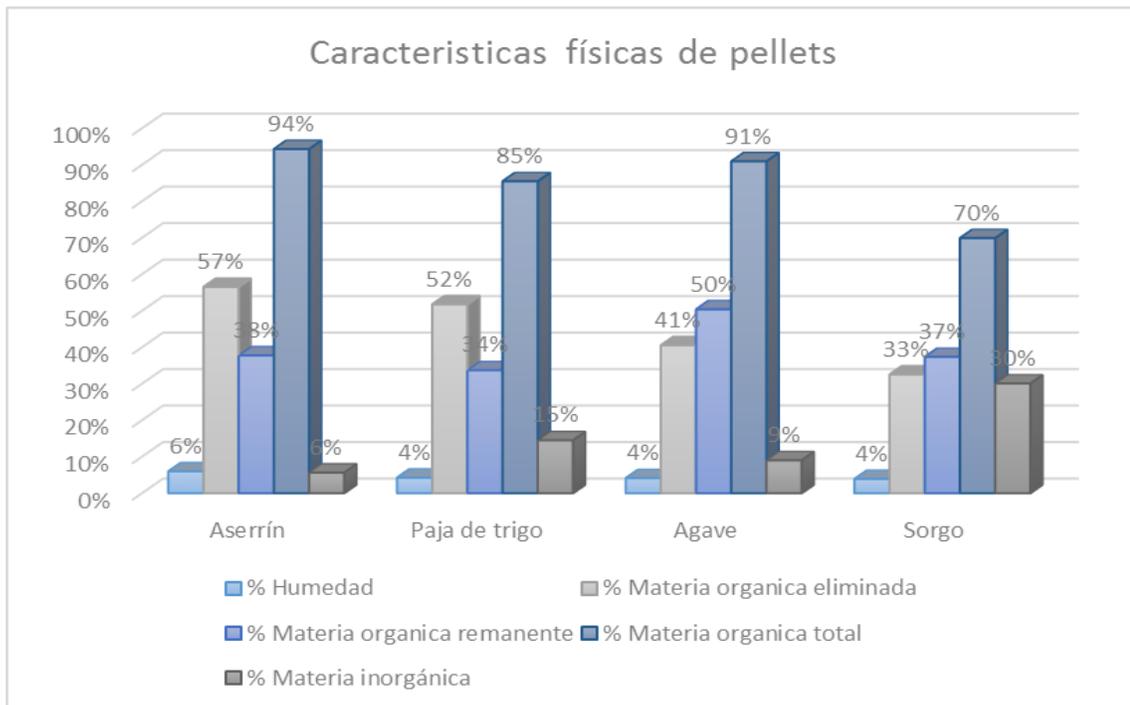


Figura 1. Composición porcentual de materia orgánica e inorgánica de pellets

Todos los pellets contienen cantidades mínimas de arsénico en su composición original, sin importar la biomasa a partir de la cual fueron generados, según los resultados de los análisis por ICP-MS, aunque la normas europeas no mencionan al

arsénico como parámetro a analizar para la calidad de los pellets (EPC, 2013), es un parámetro importante a analizar ya que es el elemento que deseamos remover del agua, sin embargo durante las pruebas de adsorción no se encontró aporte de arsénico a las muestras control (blanco) por lo que la presencia de arsénico en dicha concentración no representa un problema para nuestra investigación.

4. CONCLUSIONES.

Existen pocos trabajos de investigación que utilizan materiales lignocelulósicos como material bioadsorbente para la eliminación del As que consideren un enfoque sostenible y de bajo costo para comunidades marginadas. Es necesario establecer la optimización de los pellets que se pretenden emplear; así como realizar pruebas de concentración de Fe presente en el agua ya que al parecer se desprende de los pellets dejando residuos en el agua tratada, además es oportuno probar la efectividad del material lignocelulósico para los metales en exceso que reporta el análisis de agua del sitio en estudio. En general el principal desafío es desarrollar el proceso de biosorción a escala comercial para satisfacer demandas económicas y resolver los problemas relacionados con el proceso, incluida la recuperación de metaloides y la disponibilidad ininterrumpida del material biosorbente.

5. BIBLIOGRAFÍA.

Comisión Estatal del Agua en Guanajuato. Febrero 2019. Situación Hídrica y disponibilidad en el estado de Guanajuato. [Consultada el 22 de marzo del 2020] Recuperada de http://expoagua.guanajuato.gob.mx/pdf/fuentes_consulta/situacion_agua_gto_extensa.pdf

González Navarrete, B. D. (2017). Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico. Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Química Y Biotecnología Desarrollo, 103.

Hao, L., Liu, M., Wang, N., & Li, G. (2018). A critical review on arsenic removal from water using iron-based adsorbents. *RSC Advances*, 8(69), 39545–39560. doi:10.1039/c8ra08512a

Hadiani, M. R., Khosravi-Darani, K., & Rahimifard, N. (2019). Optimization of As (III) and As (V) removal by *Saccharomyces cerevisiae* biomass for biosorption of critical levels in the food and water resources. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 7(2) 102949. doi:10.1016/j.jece.2019.102949

Jiang, J. Q. Removing arsenic from groundwater for the developing world: a review. *Water Sci. Technol.* 2001, 44 (6), 89-98. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0348>

Litter, M. I., Armienta, M. A., Villanueva Estrada, R. E., Villaamil Lepori, E. C., & Olmos, V. (2020). Arsenic in Latin America: Part II. Arsenic in Drinking Water and Food, 113–182. doi:10.1007/978-981-13-8587-2_5

Nicomel, K. Leus, K. Folens, P. Van Der Voort, G. Du Laing, Technologies for arsenic removal from water: current status and future perspectives, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 13 (2016) 62.

OMS, 2018. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. Versión electrónica para la Web. [Consultado el 04 de marzo de 2020]. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sahmoune, M. N. (2016). The Role of Biosorbents in the Removal of Arsenic from Water. *Chemical Engineering & Technology*, 39(9), 1617–1628. doi:10.1002/ceat.201500541

Serafín A., Medina M., Vido F., Noriega B. (2016), Uso potencial de pellets para el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico en comunidades de Xichú, Gto., México , *Acta Universitaria*, volumen (26), pp.22-32. doi:10.15174/au.2016.1502