

Estado del arte de materiales adsorbentes de arsénico y flúor basados en grafeno.

Mayela Vianey Rico Ramírez¹, Crystal Juarez Esquivel¹, Joani Rafael Rodríguez Medrano², Alejandro Albarrán García², Angel David Toledo Galván³, Alejandro Hernández Baca³, Dra. Adriana Saldaña Robles², Dr. César Eduardo Damián Ascencio³.

¹División de Ciencias de la Salud e Ingenierías Campus Celaya - Salvatierra.

²División de Ciencias de la Vida Campus Irapuato - Salamanca.

³División de Ingenierías Campus Irapuato - Salamanca.

Resumen

El agua es un recurso vital para los seres vivos, por ende, debe cumplir con estándares de calidad adecuados para el consumo humano. La procedencia de la mayoría de esta agua es de los mantos acuíferos, y puede presentar una contaminación fisicoquímica que provoca daños perjudiciales a la salud humana. Debido a ello han surgido diversas técnicas para la remoción de estos contaminantes en el agua. En la actualidad han emergido diferentes materiales para la remediación de contaminantes ambientales en el agua, un ejemplo de estos es el grafeno y sus derivados que han sido ampliamente estudiados debido a su capacidad de adsorción, siendo este adsorbente de los más viables, por otro lado, se ha demostrado que los adsorbentes a base de grafeno presentan ventajas económicas y de alta efectividad en comparación con otros materiales. Por lo que este artículo, presenta la síntesis y aplicación de adsorbentes basados en grafeno y carbono para la efectiva remoción de contaminantes en agua, tales como el arsénico y fluoruros.

Palabras clave: Adsorbentes, adsorción, remoción, arsénico, fluoruros, contaminación.

Introducción

El arsénico y el flúor son algunos de los elementos más tóxicos para los seres humanos, incluso si se exponen a bajos niveles de estos, sin embargo, la contaminación de agua y vegetales por la presencia de estos elementos es inevitable debido a reacciones geoquímicas, desechos industriales, uso de pesticidas e industrias de cerámica, entre otros. En la zona del bajo de Guanajuato se realizan actividades agrícolas como principal fuente económica, se sabe que el 75% del volumen de agua utilizado en México es empleado para el riego agrícola, generando un creciente déficit de este recurso. La extracción de agua a grandes profundidades ocasiona la contaminación con metales en altas concentraciones como F, As, entre otros.

Se ha presentado una gran problemática por el As presente en agua, debido que al ser ingerido puede ser dañino para la salud, ya que puede ser causante de lesiones cutáneas, problemas respiratorios, complicaciones neurológicas y trastornos circulatorios (Chen et al., 2009). Además, cánceres de piel y órganos reportados, de acuerdo con la OMS (2018). El F puede provocar efectos tóxicos y crónicos, como fluorosis dental y esquelética, y degeneración de las neuronas (Aguilar et al., 2001).

Hoy en día, de acuerdo a los diversos reglamentos aplicados por los organismos de protección del medio ambiente entre ellos la Organización Mundial de la Salud (OMS) (W.H. Organización, 2004), la concentración máxima aceptable de AS en el agua potable es de 0.5 mg L⁻¹ mientras que el F es de 1.5 mg L⁻¹ (Mesa-Lozano et al., 2016).

El As puede separarse en dos especies, orgánico e inorgánico siendo este último el que representa mayor toxicidad. Dentro de este grupo se encuentran dos tipos principales que es el arsenito (As III) y el arseniato (As V), los cuales se encuentran frecuentemente en la naturaleza.

Debido al peligro que representa el As y F se requiere proteger las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas, desarrollando técnicas eficientes, confiables y económicas para tratar las aguas contaminadas y remover estos contaminantes. Algunas técnicas ya existentes son la oxidación, coagulación, filtración por membrana, pero estas han presentado dificultades económicas y poco viables, al ya no poder hacer uso del agua en actividades agrícolas para el As, mientras que para el F hay métodos de remoción como son la remoción, osmosis inversa, técnica nalgonda e

intercambio iónico. Es por ello que la absorción es considerada el método más eficaz y económico, especialmente en un rango bajo de concentración para ambos elementos.

Entre los absorbentes propuestos para el As se encuentran carbón activado, nanohíbridos, (Chen et al., 2015), intercambiadores iónicos fibrosos (Vatutsina et al., 2007) y materiales basados en grafeno (Mishra and Ramaprabhu, 2012) y para el F se puede utilizar óxido de grafeno, carbono activado, calcita, cuarzo, o bien, cuarzo activado por iones férricos. Entre las características de los nano compuestos podemos encontrar una alta capacidad de absorción gracias a su naturaleza porosa y amplia área específica superficial. Los materiales basados en grafeno y los nano compuestos más utilizados en la actualidad, son aquellos a base de hierro, debido a que tiene una gran afinidad de absorción por el As y F. Los cuales han mostrado amplia efectividad en la absorción y eliminación de diversos contaminantes, en algunos casos materiales para contaminantes específicos.

Justificación

El restablecimiento de los niveles de agua de los acuíferos se basa en las buenas prácticas de riego y sus tecnologías, es por ello que a mediano plazo podría considerarse una solución sostenible en la eliminación de As y F.

En la actualidad podemos desarrollar tecnologías que ayuden a la eliminación del As y F del agua de riego y para el consumo humano, con estas nuevas tecnologías se encontraron alternativas que fueran eficientes y accesibles para la remoción de dichos contaminantes para evitar la contaminación de suelos y alimentos por estos elementos que pongan en riesgo la salud humana. Es sabido que el proceso de adsorción es eficiente para la remoción de contaminantes en solución acuosa, siendo el caso que tanto el As como metaloide y el F como halógeno se esperan altos resultados en remoción.

Síntesis de óxido de grafeno

Etapas 1. Síntesis de óxido de grafito

El óxido de grafito se preparó a partir del grafito utilizando el método Hummers modificado (Hummers y Offeman, 1958), de la siguiente manera:

Se comienza agregando 10 g de grafito en 230 mL de ácido sulfúrico y se mantiene en agitación continua en un baño frío de hielo, enseguida se agrega lentamente 30 g de KMnO_4 manteniendo la temperatura por debajo de $20\text{ }^\circ\text{C}$, se enfrió hasta alcanzar $2\text{ }^\circ\text{C}$ y se dejó a temperatura ambiente durante 30 minutos hasta que adquiere un color verde.

Después, se agregó lentamente 230 mL de agua destilada en el recipiente que contenía la mezcla y se mantuvo a una temperatura debajo de $98\text{ }^\circ\text{C}$, se agita durante 15 minutos y se torna color café.

Se agregó 1.4 L de agua destilada a la solución, y se adicionó 100 mL de peróxido de hidrógeno al 30 %, y el color verde oliva fue dominante.

La solución se mantiene toda la noche a temperatura ambiente, se realiza una separación de las partículas del óxido de grafito de la mezcla por decantación con el método de vasos comunicantes.

Se vuelve a llenar el matraz con agua mientras se mantiene en agitación, este procedimiento se repitió durante 5 veces y se dejó durante dos noches.

Posteriormente se separó el sobrenadante superior por decantación con el método de vasos comunicantes, el óxido de grafeno del sobrenadante superior fue extraído por centrifugación y se introdujo en un matraz cónico, se volvió a llenar la suspensión restante con agua y se mezcló.

Se debe comprobar el pH y la existencia de BaSO_4 por adición BaCl_2 ($\text{pH} \approx 3.03 \pm 0.02$), es decir, cuando el agua de lavado de la solución sea de pH 3.03 aproximadamente, entonces el óxido de grafito será separado por centrifugación (5000 rpm durante 30 min a $0\text{ }^\circ\text{C}$), el material obtenido debe mantenerse en el congelador durante varios días. Finalmente se obtendrá un polvo fino de color marrón oscuro.

Etapas 2. Síntesis de óxido de grafeno

Para la preparación de suspensiones de láminas de óxido de grafeno, se muele en un mortero de ágata el óxido de grafito hasta obtener un polvo fino.

Se agregan 1.5 g de grafito oxidado a un matraz con 247.5 mL de agua destilada y la suspensión es sometida a ultrasonido durante 2 horas. Posteriormente, la suspensión es filtrada a través de un filtro de membrana de Whatman (47 mm de diámetro, 0.2 μm de tamaño de poro) y el filtrado se deja secar durante 24 horas. Por último, se remueve el polvo de la membrana y se almacena para su consecuente caracterización.

Compuestos adsorbentes

Existe una variedad de compuestos adsorbentes para remover distintos tipos de contaminantes, en particular, aquellos que son sintetizados con el propósito de remover arsénico y fluoruros del agua. Dentro de estos compuestos adsorbentes, podemos encontrar diversos óxidos, carbones, óxido de grafito, y óxido de grafeno.

Óxidos de grafeno híbridos y su aplicación

Arsénico

Pradhan et al. (2020) desarrollaron un compuesto de óxido de grafeno reducido y nanopartículas de magnetita IO@rGO, a través de una síntesis por el método hummers, después se modificó agregando FeCl_3 y una solución de NaBH_4 bajo agitación magnética, para obtener el IO@rGO, mostrando una eficiencia de eliminación de arsénico de hasta un 96% en un tiempo de 120 min a un pH de 7, los resultados muestran como incrementa la eficiencia de remoción del contaminante respecto al tiempo de contacto. Por lo tanto, el sistema desarrollado IO@rGO puede ser considerado como un buen candidato para la eliminación de arsénico. Por otro lado, Das et al. (2020) sintetizan un material a base de hierro y óxido de grafeno con la finalidad de incrementar la capacidad de adsorción. La síntesis del nanohíbrido de hierro (GFeN) se realizó haciendo crecer hierro/óxido de hierro ($\text{Fe}/\text{Fe}_x\text{O}_y$) sobre la superficie del GO, la eliminación de arsénico por GFeN no está controlada únicamente por las fuerzas electrostáticas, sino que la complejación de la superficie desempeñó un papel importante para hacerla efectiva en un amplio rango de pH (pH 3-9). Las nano partículas de hierro se adhieren sobre la superficie del óxido de grafeno y se obtienen una mayor remoción de arsénico, logrando obtener capacidades de adsorción de 306 mg/g para arsénico (III) y 431 mg/g para arsénico(V). Lingamdinne et al., (2020) evaluaron el potencial del nanocompuesto magnético de esfera hueca, óxido de grafeno-óxido de gadolinio GO-Gd₂O₃ para la eliminación de arsénico, este material se prepara mediante un sencillo método de coprecipitación hidrotérmica. Se obtuvieron capacidades de adsorción de 216.7 mg/g usando el compuesto (0.1 g/L) a un pH de 6 y a una temperatura de 293 K. Las observaciones que generaron se basan en la eficiencia de adsorción, la velocidad y la estabilidad del material, por lo que se pueden superar problemáticas como la separación y estabilidad del GO, el compuesto propuesto puede reducir la cantidad de arsénico de una manera aceptable para el agua potable según agencias de protección ambiental.

Sweta et al. (2018) desarrollan un material económico y con grandes resultados de remoción de arsénico, para ello desarrollan un compuesto de óxido de grafeno (GO) incorporado un óxido mixto de hierro y aluminio (GfAMO). Las muestras se prepararon con cinco contenidos de GO diferentes, de entre las cuales las muestras con 1, 2 y 3 gramos de GO indicaron una eficiencia de eliminación de arsénico aceptable (92-95 %), también consideraron los efectos de la temperatura y el pH. Validan sus datos experimentales, sus datos cinéticos y caracterizan el material. Por otro lado, Linh et al. (2019) produjeron un material de nano-hojas de grafeno a partir de exfoliación electroquímica de grafito, con la finalidad de eliminar arsénico de agua. Las propiedades del material se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido, espectroscopia de rayos X, se obtuvo una capacidad de adsorción de 25.84 mg/g en interacción efectiva. Se evaluó el pH en el rango de 2 a 12 usando 25 mL de NaCl 0.01 M y 0.1 g del material durante 48 horas a temperatura ambiente, se encontró que la superficie es relativamente neutra en el valor de pH_{PZC} de 6.8 ± 0.2 . En este mismo sentido Sadeghi, et al. (2020) realizan nanocintas de óxido de grafeno como grafeno unidireccional con áreas superficiales específicas, cuya superficie tiene una mayor cantidad de oxígeno y por lo tanto una mayor capacidad para la adsorción de contaminantes. Aplicaron isotermas para evaluar los resultados experimentales obtenidos, resaltando la capacidad de adsorción con un valor de 155.61 mg/g.

Soni et al., (2019) proponen un mecanismo para la eliminación de arsénico usando óxido de grafeno y zeolita (ZrGO). el modelo Redlich-Peterson tiene una dependencia lineal de la concentración en el numerador y una función exponencial en el denominador para representar los equilibrios de adsorción en un amplio rango de concentraciones, que puede ser aplicarse tanto en sistemas homogéneos como heterogéneos debido a su versatilidad. Se puede concluir que la

adsorción de arsénico en el ZrGO es un mecanismo híbrido y no sigue la adsorción ideal monocapa. Luo et al., (2020) sintetizaron el material adsorbente Zn-MOF-74/rGO/PAM para la eliminación de arsénico (III) en aguas contaminadas, debido a que el arsenito ha presentado mayores retos de eliminación por otros materiales adsorbentes. En este estudio se integró Zn-MOF-74 y PAM en la superficie de rGO, esta unión ha mejorado la eficacia de adsorción de arsénico (III), proporcionando mayor estabilidad, mejor rendimiento de adsorción, amplia área superficial y capacidad de reciclaje. Al realizar la adsorción de arsénico en agua de grifo con las condiciones óptimas ya descritas anteriormente, eliminaron el 98 % de 0.2 mg L^{-1} de As (III) y el ~96% de 0.1 mg L^{-1} de arsénico (III). Además, autores como Hui et al., (2017) y Zhang et al., (2010) desarrollaron una serie de compuestos basados en óxido de grafeno (GO) con hidróxido férrico para eliminar el arsénico del agua potable y aguas contaminadas. Zhang et al., trató el GO con sulfato ferroso, peróxido de hidrogeno e hidróxido de amonio, los compuestos generados se evaluaron para conocer sus capacidades de adsorción. La eficiencia de eliminación de arseniato utilizando GO-Fe-5 como adsorbente fue siempre superior al 95 % con una concentración de arseniato de 20.00 o 8.93 ppm. Sin embargo, cuando el pH de estas dos soluciones se aumentó aún más, el porcentaje de arseniato eliminado por GO-Fe-5 disminuyó al 70 % a un pH de 8, y disminuyó aún más a aproximadamente 40 % con un pH de 9. Cuando se diluyó la concentración de arseniato a 1.07 ppm, este aún podría eliminarse completamente por GO - Fe-5 con pH de 4 a 8. Sin embargo, cuando el pH de esta solución llegó a 9, la eficiencia de eliminación de arseniato disminuyó a 46.7 %, mientras que Hui et al., encontró que las eficiencias de adsorción variaron como sigue, <30 % y <50 % para arsenito y arseniato respectivamente. Sin embargo, después de la decoración con β -FeOOH, el compuesto β -FeOOH @ GO-COOH exhibe una mejora significativa en la adsorción hacia ambas especies de arsénico, y una eficiencia de adsorción de aproximadamente el 100% dentro de un amplio rango de pH 4-11. Algunos autores tales como, Fausey et al (2019) desarrollan nano-fibras de ácido poli (láctico-co-glicólico), quitosano, cubiertas de óxido de grafeno y dióxido de titanio con la finalidad de oxidar mejor el arsénico.

Sahu et al., (2017) realizan un nuevo compuesto de $\text{CeO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ /grafeno sintetizado por un proceso hidrotermal para la eliminación de arsénico, el material adsorbente fue caracterizado a través de SEM, TEM, EDX, HRTEM, XRD, BET y FTIR. Encontraron que en estado óptimo el porcentaje de remoción para el arsénico (III) y arsénico (V) era de 98.53 % y 97.26 %, respectivamente.

Fluoruros

Algunos otros autores Li et al., (2011) en busca de remover algunos otros contaminantes, tales como el flúor, usan grafeno. Toman en consideración el tiempo que tarda en remover el contaminante, la temperatura y el pH. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el grafeno es un adsorbente eficaz para eliminar el fluoruro de una solución acuosa. Los datos experimentales se ajustaron bien a la ecuación de isoterma de Langmuir. La capacidad de adsorción en monocapa del fluoruro por grafeno resultó ser de 35.59 mg/g a $\text{pH} = 7.0$ y 298 K . Los datos cinéticos estaban bien ajustados a un pseudo-segundo orden modelo cinético, lo que sugiere que la adsorción fue un producto químico-proceso de control. Las investigaciones termodinámicas indicaron que la reacción de adsorción fue espontánea, endotérmica y proceso irreversible. Por otro lado, Kuang et al., (2017) investigaron un material de Goethita de nanopartículas ancladas sobre óxido de grafeno y Akaganeita, siendo sintetizado mediante un procedimiento de hidrólisis, realizaron comparaciones entre materiales para medir el rendimiento de adsorción de fluoruro, compararon sus rendimientos de adsorción de fluoruro para abordar el efecto de la estructura cristalina y crecimiento inducido por acetato de sodio (NaAc), un ligando orgánico importante en agua y suelo. Sus resultados muestran que la adición de un acetato que actuaba como modificador de cristal para el FeOOH incrementaba la capacidad de adsorción de fluoruro. El anclaje de partículas de óxido de hierro en el GO ha probado ser una opción bastante prometedora desde el punto de vista práctico. El tamaño de la superficie y del poro también afectó la capacidad de adsorción llegando a cantidades de 19.82 mg/g en un rango de pH más amplio que va desde los 2.75 hasta los 10.8, por lo que también es importante tomar en cuenta. Kanrar et al., (2016) también sintetizaron un compuesto de óxido de grafeno incorporado una mezcla de óxido de hierro y aluminio. Los resultados muestran que la capacidad de adsorción varió con la temperatura y el pH. A su vez se observó que la cantidad de óxido de grafeno (GO) también tiene un efecto sobre la capacidad de adsorción de flúor, demostrando que para este caso al incrementar la cantidad de GO en la mezcla, aumentaba la capacidad de adsorción. Aquí se empiezan a observar más las formas de caracterización como lo son el FTIR, XRD, TGA/DTA, SEM y TEM., Sin embargo algunos investigadores tales como He et al., (2018) muestran mediante experimentación que un compuesto de alginato de sodio y óxido de grafeno a base de itrio debido a su alta dispersión de agua, biocompatibilidad, estructura porosa mediante el proceso de sol-gel presenta una capacidad máxima de adsorción de fluoruro de 288.96 mg/g a un pH de 4 según el modelo de isoterma de Langmuir.

Carbón activado nanofuncionalizado y sus aplicaciones

Arsénico

Li et al., (2020) proponen un novedoso material a base de escoria de cobre para la remoción de arsénico, usando el material como neutralizador. La escoria de cobre era el residuo producido tras de los tratamientos de trituración, flotación y cribado para la recuperación del cobre, realizaron análisis termodinámicos y experimentos para conocer el comportamiento entre las aguas residuales y la escoria de cobre. Obtuvieron resultados exitosos, mostrando que se elimina hasta el 97.86 % de arsénico de las aguas residuales con una concentración inicial de arsénico de 10230 g/L mediante la escoria de cobre en una relación molar Fe/As de 2 a 80 °C durante 12 horas, por otro lado Rangel y Vitela (2012) usaron la metodología de Nieto-Delgado y Rangel-Méndez (2011) para la modificaron de carbón activado granular (F400, CAZ y CAP) con nanopartículas de hidróxido de hierro mediante hidrólisis forzada en una solución de FeCl_3 para remover arsénico (V) de aguas contaminadas. De acuerdo con los resultados obtenidos por Rangel y Vitela (2012) se determinó que F400-M cuenta con una mayor capacidad absorbente de arsénico (V), esto se debe a que a un pH 7 tiene una superficie menos negativa ayudando a que los aniones de arsénico (V) tengan menos repulsión que con los otros carbones activados modificados. También se ha sintetizado el g-C₃N₄ con hierro (Baek et al., 2020) con la finalidad de eliminar el arsénico (III) y arsénico (V) del agua, que son las especies de arsénico que se encuentran más comúnmente en la naturaleza. El mecanismo de g-C₃N₄ modificado es una oxidación fotocatalítica de arsénico (III) a arsénico (V) bajo luz visible y después una fase de hierro amorfo en la superficie se encarga de proveer zonas de absorción para arsénico (V), de esta manera se logra la adsorción simultánea de arsénico. Acorde con los resultados de Baek et al., (2020) se eliminó el arsénico a un 50 % en luz UV, el 41 % en luz visible y 33 % en oscuridad utilizando FG-3. La implementación de FG-9 logro eliminar el arsénico a un 18 % con luz UV, 15 % con luz visible y un 13 % con oscuridad. Conforme a los resultados se concluyó que el FG-3 mostraba una mejor eficiencia de eliminación y oxidación bajo las diferentes irradiaciones de luz. Se han realizado también modificaciones al carbón activado con MnO_2 (Liu et al., 2020) para la eliminación simultánea de arsénico (III) y arsénico (V) en aguas contaminadas, este absorbente funciona mediante procesos de absorción y oxidación del arsénico. Los resultados XPS muestran que el 93.3 % de arsénico (III) fue oxidado a arsénico (V) y el 42.6 % de Mn (IV) fue reducido a Mn (II) durante adsorción de arsénico (III).

Flúor

Ching-Lung et al., (2019) estudiaron el modo de adsorción de flúor en carbón activado tratado con tensioactivos catiónicos, para comprender las características de los tensioactivos sobre la modificación del carbón activado y su relación con la adsorción de flúor, y evaluar la viabilidad y la regeneración de carbones activados tratados con Quats en términos de eliminación de fluoruro. De entre todas las sales, el dodeciltrimetilamonio (DDTMA) mostró una mejor capacidad de adsorción de fluoruro, también demostraron que todas las soluciones de carbón activado tratados con sales aumentaron la capacidad de adsorción en comparación al carbón activado sin tratamiento.

Otros

Debido a la contaminación que han venido sufriendo ríos, lagos lagunas y aguas subterráneas, se han desarrollado una serie de materiales adsorbentes para la eliminación de arsenico, entre ellos tenemos materiales tales como polvo de zinc para la eliminación simultánea de contaminantes como Co, Cu, Cd y Ni, cuyos resultados muestra que se puede eliminar < 0,04 mg/L de cobre, 0,015 mg/L de cobalto, < 0,01 mg/L de cadmio y < 0,1 mg/L níquel (Lu et al., 2020). Cpor otro lado, Colonia et al., (2013) sintetizaron las nanopartículas de ZnO_2 que tiene diversas aplicaciones, como en la industria farmacéutica se ha utilizado como un aditivo antiséptico en enfermedades de la piel. Ahangar et al., (2019) sintetizaron nanopartículas de NZF se sintetizaron mediante el método de coprecipitación inversa e indicaron que los adsorbentes que muestras las capacidades máximas de adsorción son NZF y CNZF con una adsorción de 56 mg/g y 66 mg/g, respectivamente, con un tiempo de contacto de 30 minutos, una dosis de adsorbente de 6 g/l y un pH de 2. Kumar et al., (2021) prepararon membranas de fibra hueca pura con contenido de ZnO-MgO , estos autores encontraron que las membranas que contenían ZnO-MgO proporcionaron una mayor remoción de arsénico mejorado tendencia a la eliminación sin comprometer la permeabilidad de retención. Murambasvina y Mahamadi (2020) realizaron experimentos con varias propuestas de materiales, los cuales son perlas de Jacinto dopadas con óxido de aluminio hidratado (WH-HAO), la mezcla con óxido de hierro (WH-HFO) y la combinación de ambos (WH-HAO-HFO), para la eliminación de fluoruro de una solución acuosa. Estudiaron los efectos del pH, encontrando que las capacidades

de adsorción fueron de 4.43, 4.25 y 4.18 mg/g para WH-HAO, WH-HAO-HFO y WH-HFO, respectivamente. Al aumentar el pH se reducía la capacidad de adsorción.

Borghain et al., (2020) y Gao et al., (2019) desarrollaron la síntesis de nano estructuras porosas para la eliminación de fluoruro en soluciones. Borghain et al., (2020) encontró que el material sintetizado muestra una capacidad máxima de adsorción de 29.131 mg/g a 313 K, además, el proceso de adsorción es termodinámicamente favorable y es exotérmico por naturaleza. Las nanoestructuras son muy estables y son reutilizables hasta el quinto ciclo sin perder demasiado su rendimiento de adsorción. Por otro lado, Jong-Soo et al., (2020) sintetizaron quitosano-óxido de grafeno/gadolinio (CGO-Gd), con el cual realizaron estudios de pH, cinética de adsorción e isothermas para evaluar la remoción de arsénico, encontrando que la mayor adsorción se consigue en un rango de pH de 3 a 7 y también encontraron que descende a un pH mayor a este, la capacidad de remoción de As (V) fue de 252.12 y 128.2 mg/g para 0.1 y 0.3 g/L del nanocompuesto. Además, la remoción por adsorción de arsénico (V) sobre CGO-Gd disminuye ligeramente del 99 % al 78 % después del quinto ciclo. Turk (2016) utilizó ceniza de Pirita (PA) para remover arsénico, los resultados mostraron que la máxima capacidad de adsorción del sorbente fue de 294 µg/g. La PA pudo eliminar hasta el 97 % del arsénico en una dosis de adsorbente de 10 g/L, una solución de pH de 9, a una temperatura de 25 °C y una concentración inicial de arsénico de 300 g/L. El arsénico ha sido removido a través de la adsorción sobre granulos de FeOOH / γ- Al₂O₃ a nano escala, sus resultados mostraron una capacidad de adsorción de 4.264 mg/g.

Conclusiones

Este trabajo concluye que existe una amplia investigación sobre materiales, técnicas y tecnologías para la remoción de arsénico y fluoruros de un medio acuoso. Dentro de estos materiales se encuentran compuestos adsorbentes, como lo son diversos óxidos, carbones, óxido de grafito, y óxido de grafeno. La mayoría presentan un rango de eficiencia en un rango del 92% al 96% de adsorción, la cual varía de acuerdo con las propiedades y características de cada material. Un claro ejemplo es la eficiencia de eliminación de arseniato es el material adsorbente GO-Fe-5 ya que su capacidad de adsorción fue superior al 95 % con una concentración de arseniato de 20.00 a 8.93 ppm. Además, los resultados en las investigaciones revisadas muestran que existen diversos parámetros que afectan la capacidad de adsorción de los contaminantes, algunos de los más importantes y que han sido analizados son el pH, la temperatura, la concentración inicial de los contaminantes, la competencia de otros iones en el medio acuoso, sin embargo, otros factores pertenecientes al propio material que afectan su capacidad de remoción de contaminantes, son el área superficial específica, los compuestos con que puede ser decorado el adsorbente, así como la carga de su superficie. La capacidad de adsorción de estos materiales permite que sea aplicados en muchas áreas, desde el sector industria hasta el sector agrícola, sin embargo, los grandes volúmenes de agua utilizados en la agricultura presentan un reto para el tratamiento de agua destinado a este uso.

Bibliografía/Referencias

- Ahangari, A., Raygan, Sh., y Ataite, A. (2019). Capabilities of nickel zinc ferrite and its nanocomposite with CNT for adsorption of arsenic (V) ions from wastewater. ELSEVIER.
- Chen, M., Sun, Y., Huo, C., Liu, C., y Wang, J. (2015). Akaganeite decorated graphene oxide composite for arsenic adsorption/removal and its preconcentration at ultra-trace level. ELSEVIER.
- Choi, J., Prasanna, L., Yang, J., Chang, Y., y Reddy, J. (2020). Fabrication of chitosan/graphene oxide-gadolinium nanorods as a novel nanocomposite for arsenic removal from aqueous solutions. ELSEVIER.
- Colonia, R., et al. (2013). SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE ZnO₂ EMPLEANDO ULTRASONIDO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y MORFOLÓGICA PARA APLICACIONES BACTERICIDAS.
- Cortes, D., y Mella, A. (2019). Performance of doped graphene nanoadsorbents with first-row transition metals (Sc-Zn) for the adsorption of water-soluble trivalent arsenicals: A DFT study. ELSEVIER.
- Das, T., Sakthivel, T., Jeyaranjan, A. Seal, S., y Bezbaruah, A. (2020). Ultra-high arsenic adsorption by graphene oxide iron nano hybrid: Removal mechanisms and potential applications. ELSEVIER.

Fausey, C., Zucker, I., Shaulsky, E., Zimmerman, J., y Elimelech, M. (2019). Removal of arsenic with reduced graphene oxide-TiO₂-enabled nanofibrous mats. ELSEVIER.

García, G., Longoria, L., Cruz, G., Olayo, M., Mejía, R., y Ávila, P. (2018). Fe-TiO_x nanoparticles on pineapple peel: Synthesis, characterization and As (V) sorption.

Hadi, M., Ahmadzadeh, M., y Mohammadi, T. (2020). One-dimensional graphene for efficient aqueous heavy metal adsorption: Rapid removal of arsenic and mercury ions by graphene oxide nanoribbons (GONRs). ELSEVIER.

Hua, J. (2020). Synthesis and characterization of gold nanoparticles (AuNPs) and ZnO decorated zirconia as a potential adsorbent for enhanced arsenic removal from aqueous solution. ELSEVIER.

Kim, J., et al. (2020). Bifunctional iron-modified graphitic carbon nitride (g-C₃N₄) for simultaneous oxidation and adsorption of arsenic. ELSEVIER.

Kumar, M., et al. (2020). Effect of binary zinc-magnesium oxides on polyphenylsulfone/cellulose acetate derivatives hollow fiber membranes for the decontamination of arsenic from drinking water. ELSEVIER.

Kumar, R., et al. (2019). Emerging technologies for arsenic removal from drinking water in rural and peri-urban areas: Methods, experience from, and options for Latin America. ELSEVIER.

Kumar, U., Sankar, S., y Kishore, R. (2017). Application of Box-Behnken Design in response surface methodology for adsorptive removal of arsenic from aqueous solution using CeO₂/Fe₂O₃/graphene nanocomposite.

Li, Y., Zhu, X., Q. X., Shu, B., Zhang, X., Li, K., Wei, Y., Hao, F., y Wang, H. (2020). Efficient removal of arsenic from copper smelting wastewater in form of scorodite using copper slag. ELSEVIER.

Liang, Y., et al. (2019). Facile synthesis of ZnO QDs@GO-CD hydrogel for synergetic antibacterial applications and enhanced wound healing. ELSEVIER.

Lu, J., et al. (2020). Simultaneous removal of Co, Cu, Cd and Ni from zinc sulfate solution by zinc dust cementation. ELSEVIER.

Maji, S., et al. (2018). Efficiency evaluation of arsenic(III) adsorption of novel graphene oxide@ iron-aluminium oxide composite for the contaminated water purification. ELSEVIER.

Pawar, R., et al. (2018). Efficient removal of hazardous lead, cadmium, and arsenic from aqueous environment by iron oxide modified clay-activated carbon composite beads. ELSEVIER.

Ploychompoo, S., et al. (2020). Fabrication of Zn-MOF-74/polyacrylamide coated with reduced graphene oxide (Zn-MOF-74/rGO/PAM) for As(III) removal. ELSEVIER.

Pradha, S., Nguyen, T., Kwon, Y., y Lee, C. (2015). Synthesis and characterization of metal-doped reduced graphene oxide composites, and their application in removal of Escherichia coli, arsenic and 4-nitrophenol. ELSEVIER.

Pradhan, S., Konwar, K., Ghosh, T., Mondal, B., Sarkar, S., y Deb, P. (2020). Multifunctional Iron oxide embedded reduced graphene oxide as a versatile adsorbent candidate for effectual arsenic and dye removal. ELSEVIER.

Prasanna, L., et al. (2020). Potential of the magnetic hollow sphere nanocomposite (graphene oxide-gadolinium oxide) for arsenic removal from real field water and antimicrobial applications. ELSEVIER.

Radhakrishnan, A., et al. Synthesis and characterization of multi-carboxyl functionalized nanocellulose/graphene oxide-zinc oxide composite for the adsorption of uranium (VI) from aqueous solutions: Kinetic and equilibrium profiles. ELSEVIER.

Rosenthal, L., et al. (2008). Synthesis of stabilized nanoparticles of zinc peroxide. ELSEVIER.

SINGH, N., et al. (2010). CONTROLLING THE FLOW OF NASCENT OXYGEN USING HYDROGEN PEROXIDE RESULTS IN CONTROLLING THE SYNTHESIS OF ZnO/ZnO₂.

Soni, R., y Praise, D. (2019). Data on Arsenic (III) removal using zeolite-reduced graphene oxide composite. ELSEVIER.

Soni, R., y Praise, D. (2019). Synthesis of fly ash based zeolite-reduced graphene oxide composite and its evaluation as an adsorbent for arsenic removal. ELSEVIER.

Tasneem Abbasi, et al. (2012). Water Quality Indices. ELSEVIER.

Turk, T. (2016). Removal of Dissolved Arsenic by Pyrite Ash Waste.

Uppal, H., et al. (2016). Zinc peroxide functionalized synthetic graphite: An economical and efficient adsorbent for adsorption of arsenic (III) and (V). ELSEVIER.

Uppal, H., et al. (2019). Facile chemical synthesis and novel application of zinc oxysulfide nanomaterial for instant and superior adsorption of arsenic from water. ELSEVIER.

Vázquez, M. (2020). Compósitos de óxido de hierro – óxido de grafeno utilizados en la remoción de arsénico en solución acuosa.

Verduzco, L., et al. (2019). Enhanced removal of arsenic and chromium contaminants from drinking water by electrodeposition technique using graphene composites. ELSEVIER.

Vitela, A., et al. (2013). Arsenic removal by modified activated carbons with iron hydro (oxide) nanoparticles. ELSEVIER.

Wang, Y., et al. Simultaneous removal and oxidation of arsenic from water by &-MnO₂ modified activated carbon. ELSEVIER.

Xuan, H., Thi, P., Nhat, N., Van, P., Minh, P., Hong, P., y Van, D. (2019). Electrochemical mass production of graphene nanosheets for arsenic removal from aqueous solutions. ELSEVIER.

Zakir, H., et al. (2020). Assessment of health risk of heavy metals and water quality indices for irrigation and drinking suitability of waters: a case study of Jamalpur Sadar area, Bangladesh. ELSEVIER.

Zhang, K., Dwivedi, V., Chi, C., y Wu, J. (2010). Graphene oxide/ferric hydroxide composites for efficient arsenate removal from drinking water. ELSEVIER.