

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE FLUORURO EN SUELO VERTISOL CRÓMICO DEL ESTADO DE GUANAJUATO Y SU USO POTENCIAL PARA REMEDIACIÓN DEL AGUA ^a

ANALYSIS OF FLUORIDE ADSORPTION CAPACITY IN CHROMIC VERTISOL SOIL FROM THE STATE OF GUANAJUATO AND ITS POTENTIAL USE FOR WATER REMEDIATION

Solis Reyes, K.F.¹; Saldaña Robles, A.^{1,2, *}; Zanor, G.A.^{1,3}; García, M.G.⁴; Saldaña Robles, N.^{1,2}

¹Posgrado en Biociencias, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato Silao Km 9, Irapuato 36500, Guanajuato, México.

²Departamento de Ingeniería Agrícola, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato Silao Km 9, Irapuato 36500, Guanajuato, México.

³Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato Silao Km 9, Irapuato 36500, Guanajuato, México.

⁴Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA) CONICET -UNC, Argentina; Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1611, X5016CGA, Córdoba, Argentina.

* E-mail: adriana.saldana@ugto.mx (autor de correspondencia)

Fecha de envío: 15, octubre, 2022

Fecha de publicación: 20, junio, 2023

Resumen:

La concentración de Fluoruro (F⁻) en el agua subterránea del estado de Guanajuato excede el límite permisible para consumo humano señalado por la normatividad nacional (1.5 mg/L). Desafortunadamente, la principal fuente de agua en Guanajuato proviene de los mantos acuíferos, por lo tanto, la población se encuentra expuesta a enfermedades asociadas al F⁻. Este estudio tuvo como objetivo analizar la capacidad de adsorción del F⁻ en solución acuosa sobre suelo tipo Vertisol crómico y evaluar su uso potencial para la remediación del agua. Se determinaron las principales características fisicoquímicas del suelo y los datos experimentales del equilibrio de adsorción de F⁻ fueron evaluados aplicando las isothermas de Langmuir y Freundlich. Los resultados demostraron que la concentración de F⁻ fue eficazmente adsorbido por el suelo Vertisol crómico y se puede relacionar con el alto contenido de arcilla, materia orgánica (MO) y minerales de Hierro (Fe). Además, se comprobó que los datos experimentales de adsorción se ajustaron al modelo de Langmuir y se determinó una máxima capacidad de adsorción (q_m) de 214.13 mg/kg en condiciones básicas. Estos resultados evidencian que el suelo Vertisol crómico posee características que permiten una alta capacidad de adsorción de F⁻, por lo cual su uso como material adsorbente es viable.

Palabras clave: geomaterial adsorbente, contaminación del agua, flúorfluoruro, isoterma.

^a Tesis

Abstract:

The concentration of fluoride (F^-) in groundwater in the state of Guanajuato exceeds the permissible limit for human consumption established by national regulations (1.5 mg/L). Unfortunately, the main source of water in Guanajuato comes from aquifers; therefore, the population is exposed to diseases associated with F^- . This study aimed to analyze the adsorption capacity of F^- in aqueous solution on Chromic Vertisol soil and to evaluate its potential use for water remediation. The characteristics of the studied soil were determined and the experimental data of the F^- adsorption equilibrium were evaluated by applying the Langmuir and Freundlich isotherms. The results showed that the F^- concentration was effectively adsorbed by the chromic Vertisol soil and can be related to the high content of clay, organic matter (MO) and iron (Fe) minerals. In addition, the experimental adsorption data were found to fit the Langmuir model and a maximum adsorption capacity (q_m) of 214.13 mg/kg was determined under basic conditions. These results show that the chromic Vertisol soil has characteristics that allow a high adsorption capacity of F^- , therefore it is viable for use as an adsorbent material.

Keywords: adsorbent geomaterial, water contamination, fluor, isotherm.

INTRODUCCIÓN

La población de Guanajuato se encuentra expuesta a problemas de salud asociados al consumo de F^- , tales como la fluorosis dental y esquelética, debido a que la principal fuente de agua proviene de mantos acuíferos con concentraciones de F^- que superan el límite establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de 1.5 mg/L. De acuerdo con Morales-Arredondo et al. (2018), la contaminación por F^- en aguas subterráneas se asocia a causas naturales (geología local y manifestaciones geotermales).

Diversos estudios, tales como Wambu et al. (2016) y Pillai et al. (2021), indicaron que la implementación del suelo como adsorbente destaca por tener una elevada área superficial, estar fácilmente disponible en abundancia y por su naturaleza no tóxica. Además, según Pickering (1985) el uso del suelo como material adsorbente en la remoción de F^- del agua es eficiente, puesto que, uno o más componentes del suelo, principalmente MO, arcilla y oxi-hidróxidos de Aluminio (Al) y Fe, presentan afinidad por el F^- . En particular, los suelos Vertisoles contienen 30% o más de arcilla y predominan en el estado de Guanajuato (INEGI, 2005; USDA-NRCS, 1999).

Para analizar la capacidad de adsorción del elemento estudiado en solución acuosa sobre el material adsorbente y bajo diferentes concentraciones del contaminante se utilizan técnicas como las isothermas de adsorción (Plazinski y Plazinska, 2012). Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo analizar la capacidad de adsorción del F^- en solución acuosa utilizando suelo tipo Vertisol crómico y evaluar su uso potencial para la remediación de aguas contaminadas con F^- .

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectó una muestra simple de suelo superficial (0-20 cm de profundidad) de tipo Vertisol crómico y sin impacto antropogénico en el municipio de Yuriria del estado de Guanajuato (Figura 1). Asimismo, se identificó el color *in situ* mediante la Tabla Munsell. Para efectuar el muestreo del suelo en el área de estudio, la preparación de la muestra y las determinaciones de propiedades físicas y químicas como conductividad eléctrica (CE), textura, contenido de MO y pH, se siguieron los protocolos de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Además, todas las determinaciones y experimentos se realizaron por triplicado para lograr exactitud experimental y estadística.

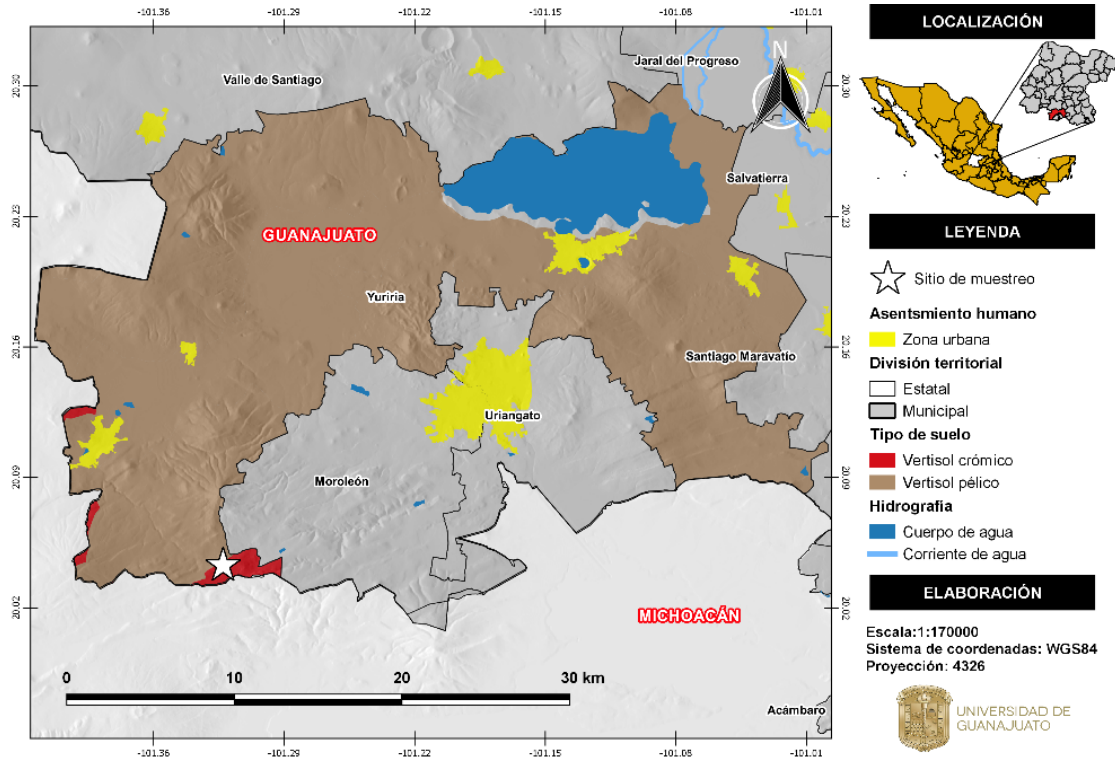


Figura 1. Caracterización edafológica del municipio de Yuriria, Guanajuato. Se muestra el sitio de muestreo. Fuente: INEGI (2005).

Figure 1. Edaphological characterization in the municipality of Yuriria, Guanajuato. The sampling site is shown. Source: INEGI (2005).

Experimento de adsorción

Se realizaron experimentos de adsorción en reactores por lotes a pH 6 y concentraciones de F^- en solución en un rango de 0-10 ppm (con intervalos de 1 ppm). Las soluciones de F^- se prepararon a partir de la dilución de fluoruro de sodio (NaF) en agua destilada. Se utilizó una relación adsorbente-solución 1:20, la suspensión se mantuvo a 25 °C y 120 rpm en un agitador orbital (modelo IKA KS4000) hasta alcanzar condiciones de equilibrio. El pH de la mezcla al inicio y durante el experimento fue constantemente verificado y se ajustó mediante la adición de 0.1 M de hidróxido de sodio (NaOH). En condiciones de equilibrio, la suspensión se centrifugó a 4000 rpm durante 15 min y se filtró con una membrana de celulosa de 0.45 μm . El contenido de F^- en la solución se midió con un electrodo de ion combinado para F^- (Modelo Oriontm 9609BNWP). Antes de la medición se utilizó una solución amortiguadora de fuerza iónica total (TISAB, por sus siglas en inglés) II, para ajustar el pH y evitar la interferencia con Silicio (IV), Fe (III) y Aluminio (III). La cantidad de F^- adsorbido (q_e) fue calculada mediante la ecuación (1).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{M} \quad (1)$$

En donde C_0 es la concentración inicial de F^- en la solución; C_e es la concentración de F^- en la solución en equilibrio; M es la masa del suelo; y V es el volumen de la solución.

Modelos de Isotermas

En condiciones de equilibrio, se utilizaron los modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich para describir los datos experimentales utilizando las ecuaciones (2) y (3) de los modelos, respectivamente.

$$q_e = q_m \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

$$q_e = K_f + C_e^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

En donde, K_L es la constante de Langmuir y se relaciona con la energía de adsorción; K_f es el factor de capacidad de Freundlich; n es el parámetro de intensidad de Freundlich y refleja la favorabilidad de la adsorción. Los datos experimentales de adsorción fueron ajustados a estos los modelos de isotermas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo

El color del suelo se identificó como marrón rojizo oscuro, correspondiente al código 2.5YR 3/4 de la Tabla Munsell, debido a la presencia de óxidos de Fe (Tiwari, 2004). El suelo mostró una CE menor a 1 dS/m, lo que indicó que el suelo no presentó salinidad, lo cual es una característica positiva ya que la disponibilidad de sodio aumenta la velocidad de dilución de F^- (Chowdhury et al., 2019). La clase textural resultó arcillosa, esto es un factor importante para la capacidad de adsorción de F^- , debido a que el F^- se enlaza en los minerales arcillosos al desplazar el hidróxido (OH^-) de la superficie de la arcilla (Liu et al., 2014). El contenido de MO resultó con un valor de 11.84% (clase alta), lo cual es favorable puesto que la escasa materia orgánica promueve la desorción y la movilidad del F^- (D'Alessandro et al., 2012). Finalmente, el pH fue de 5.69, por lo tanto, el suelo se clasificó como medianamente ácido.

Estudio de adsorción

Las isotermas de adsorción de F^- a pH 6 se muestran en la Figura 2 y los parámetros calculados de cada modelo se presentan en la Tabla 1. De acuerdo con el R^2 , el modelo de Langmuir (1916) describió mejor los datos experimentales, sugiriendo que la capacidad de adsorción de F^- del suelo incrementa con el aumento de la concentración de F^- en solución, la adsorción se limita a una monocapa, la energía de adsorción es constante y no existe transmigración de adsorbato en la superficie del suelo (Langmuir, 1916). Los resultados muestran que a pH 6 se presentó una q_m de 214.13 mg/kg.

Algunos estudios como los presentados por Bjorvatn et al. (2003) y Gomoro et al. (2012), reportaron una q_m de 100 y 2.47 mg/kg respectivamente, en suelos lateríticos provenientes de Etiopía, en comparación, el suelo Vertisol estudiado en este trabajo tiene mayor afinidad por el F^- , en consecuencia, la capacidad de adsorción fue mayor, lo cual puede atribuirse al efecto de la textura y la mineralogía del suelo.



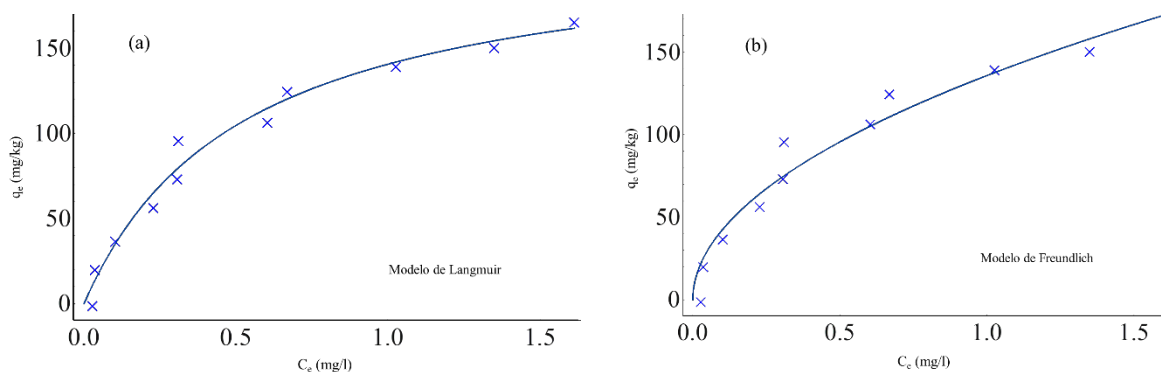


Figure 2. Ajuste de los datos experimentales de la adsorción de F^- en suelo Vertisol crómico a los modelos de (a) Langmuir y (b) Freundlich bajo condiciones de pH 6.

Figure 2. Fitting of experimental data of F^- adsorption on chromic Vertisol soil to the (a) Langmuir and (b) Freundlich models under pH 6 conditions.

Table 1. Parámetros precedidos de Freundlich y Langmuir mediante el ajuste de los datos experimentales de adsorción en pH 6.

Table 1. The predicted parameters of Freundlich and Langmuir by fitting to adsorption data at pH 6.

Modelo de Langmuir			Modelo de Freundlich		
q_m (mg/kg)	K_L (l/mg)	R^2	n	K_f (l/mg)	R^2
214.13	1.91	0.99	0.50	135.74	0.98

CONCLUSIÓN

El suelo Vertisol crómico con un contenido alto de MO, arcilla y minerales de Fe presentó una alta capacidad de adsorción a pH 6, por lo cual puede utilizarse para eliminar el exceso de F^- del agua potable. Los resultados son útiles para desarrollar tecnologías de bajo costo en la remoción del F^- en el agua y que puedan ser adaptadas a zonas rurales remotas, ofreciendo una estrategia sustentable para resolver un problema de prioridad nacional.

LITERATURA CITADA

- Bjorvatn, K., Reimann, C., Ostvold, S. H., Tekle-Haimanot, R., Melaku, Z., & Siewers, U. (2003). A health problem in the Ethiopian Rift Valley 1. Assessment of lateritic soils as defluoridating agents. *Oral health & preventive dentistry*, 1(2), 141–148.
- Chowdhury, A., Adak, M. K., Mukherjee, A., Dhak, P., Khatun, J., & Dhak, D. (2019). A critical review on geochemical and geological aspects of fluoride belts, fluorosis and natural materials and other sources for alternatives to fluoride exposure. *Journal of Hydrology*, 574, 333–359. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.033>
- D'Alessandro, W., Bellomo, S., & Parello, F. (2012). Fluorine adsorption by volcanic soils at Mt. Etna, Italy. *Applied Geochemistry*, 27(6), 1179–1188. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.02.028>
- Gomoro, K., Zewge, F., Hundhammer, B., & Megersa, N. (2012). Fluoride removal by adsorption on thermally treated lateritic soils. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 26(3), 361–372. <https://doi.org/10.4314/bcse.v26i3.5>
- INEGI. (2005). Conjunto de datos edafológicos. Escala 1:1 000 000. Serie I. En *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- Langmuir, I. (1916). The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. *Journal of the American Chemical Society*, 38(11), 2221–2295. <https://doi.org/10.1021/ja02268a002>
- Liu, X., Wang, B., & Zheng, B. (2014). Geochemical process of fluorine in soil. *Chinese Journal of Geochemistry*, 33(3), 277–279. <https://doi.org/10.1007/s11631-014-0688-9>
- Morales-Arredondo, J. I., Armienta, M. A., & Rodríguez, R. (2018). Estimación de la exposición a elevados contenidos de fluoruro en agua potable en distintas comunidades de Guanajuato, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 09(3), 156–179. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-03-07>
- Norma Oficial Mexicana. (1996, enero 18). NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*.
- Pickering, W. F. (1985). The mobility of soluble fluoride in soils. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical*, 9(4), 281–308. [https://doi.org/10.1016/0143-148X\(85\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0143-148X(85)90004-7)
- Pillai, P., Dharaskar, S., Pandian, S., & Panchal, H. (2021). Overview of fluoride removal from water using separation techniques. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101246. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101246>

Plazinski, W., & Plazinska, A. (2012). Equilibrium and Kinetic Modeling of Adsorption at Solid/Solution Interfaces. En A. Bhatnagar (Ed.), *Application of Adsorbents for Water Pollution Control* (pp. 31–80). Bentham science publishers. <https://doi.org/10.2174/97816080526911120101>

Tiwari, S. C. (2004). *Soil*. AuthorHouse.

USDA-NRCS. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (United States Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service, Eds.; 2a ed., Vol. 436).

Wambu, E. W., Ambusso, W. O., Onindo, C., & Muthakia, G. K. (2016). Review of fluoride removal from water by adsorption using soil adsorbents – an evaluation of the status. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 6(1), 1–29. <https://doi.org/10.2166/wrd.2015.073>

