



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Estudios de remoción de Cafeína y Diclofenaco sobre Bentonitas naturales de la región Norpatagónica de la República Argentina

Descripción general (resumen y metodología):

Durante los últimos veinte años comenzó a reportarse, en diferentes cursos de agua superficiales y subterráneas de todo el mundo, la existencia de sustancias que solo podían llegar al ambiente como resultado de diversas actividades antropogénicas y cuyo impacto no siempre está del todo definido dado que se desconoce su ecotoxicidad. Estas sustancias se conocen como contaminantes emergentes (CE) (Koch et al., 2021). Entre ellos, los fármacos como la cafeína y el diclofenaco se han identificado como especialmente relevantes por su amplia distribución y efectos adversos en la salud y los ecosistemas acuáticos (Bouhcain et al., 2022).

Las fuentes controladas de llegada de CE al ambiente se asocian especialmente a los residuos domiciliarios, lo cual evidencia la insuficiencia de los tratamientos actuales y la necesidad de estudiar y desarrollar procesos complementarios con el fin de eliminarlos definitivamente (Schulz-Bañares et al., 2021). En este contexto, la adsorción se ha propuesto como una de las técnicas más versátiles por su sencillez, bajo coste y eficiencia, especialmente al emplear materiales alternativos como biochars o adsorbentes derivados de plantas, que han demostrado buena capacidad de eliminación de cafeína y diclofenaco (Correa-Navarro et al., 2022; Latiza et al., 2024).

Entre los materiales naturales, la bentonita se presenta como un recurso natural abundante y de gran interés. Diversos estudios han demostrado que, tanto en su forma natural como modificada, las bentonitas pueden ser empleadas exitosamente para la adsorción de compuestos farmacéuticos desde medios acuosos (Quintero-Jaramillo et al., 2024; Lamghari et al., 2025). En particular, investigaciones recientes han evidenciado su eficacia frente a la cafeína y metabolitos derivados, utilizando diferentes modificaciones estructurales (Lenzi et al., 2020; Goldner et al., 2025). Ante esto, en la región norpatagónica podría representar una posible respuesta dado que se cuenta en la misma con un yacimiento de bentonitas de altísima pureza. Estos minerales regionales han sido evaluados como adsorbentes de diferentes CE desde medios acuosos mostrando buenos resultados (Lombardi et al., 2003; Parolo et al., 2008; Roca Jalil et al., 2015). Esto último evidenció la necesidad de estudios que permitan profundizar en el conocimiento de estos sistemas de adsorción y que aporten información útil para mejorar el diseño experimental posterior.

En este mismo sentido, aún existen sustancias que generan interés que no han sido ampliamente estudiadas en sistemas de adsorción con bentonita. Estudios recientes destacan la relevancia de evaluar antibióticos y antiinflamatorios como el diclofenaco mediante bentonitas modificadas (França et al., 2024), así como otros fármacos como las tetraciclinas (Pereira et al., 2025). En este contexto, resulta pertinente ampliar el análisis a compuestos de uso masivo como la cafeína (CF) y el diclofenaco (DCF), cuya presencia constante en el ambiente plantea riesgos ambientales y sanitarios. El presente proyecto busca contribuir en esa dirección, mediante la evaluación de bentonitas naturales como posibles adsorbentes de estas moléculas de gran interés actual.

El plan de trabajo se encuentra enmarcado en una tarea experimental, por lo que la metodología será la de utilizar técnicas conocidas y estudiadas a lo largo de la carrera e implementar nuevas técnicas y herramientas necesarias para el análisis de los resultados.

La metodología consistirá en:

1. Diseño del trabajo experimental: Se analizará el diseño y se definirán las tareas y el orden para llevar a cabo el trabajo.
2. Cuantificación del CE: Se aplicarán técnicas de cuantificación de Cafeína (CF) y Diclofenaco (DCF) desde medios acuosos.
3. Estudios de adsorción en batch: Se estudiará la capacidad de retención de los materiales seleccionados para los dos CE desde medios acuosos. Se evaluarán diferentes parámetros de adsorción mediante estudios de adsorción vs pH y cinéticas de adsorción. Con el fin de evaluar la capacidad máxima de adsorción de los materiales estudiados se obtendrán las isothermas de adsorción correspondientes.
4. Redacción del informe escrito y exposición del mismo ante el grupo de trabajo.

Tipología: Trabajos experimentales, de toma de datos de campo o de laboratorio.

Objetivos planteados:

El objetivo principal del proyecto será estudiar dos bentonitas regionales en su forma natural como posibles adsorbentes de dos contaminantes emergentes desde medios acuosos. No obstante, durante el desarrollo de este proyecto se espera que el estudiante pueda:

- § Comprender el proceso de adsorción y su utilidad y posibles aplicaciones ambientales.
- § Mejorar su trabajo dentro del laboratorio y adquirir aptitudes técnicas específicas del trabajo experimental.
- § Adquirir criterios para el diseño de experiencias en el laboratorio basado en objetivos propuestos y resultados obtenidos.
- § Adquirir competencias de trabajo en un laboratorio, tanto sobre las prácticas específicas en sí como de la interacción con un grupo de trabajo interdisciplinario.
- § Analizar resultados mediante búsqueda de información científica y elaborar un texto científico a partir del trabajo realizado.

Bibliografía básica:

Bouhcain, B., Carrillo-Peña, D., El Mansouri, F., Ez Zoubi, Y., Mateos, R., Morán, A., Quiroga, J. M., & Zerrouk, M. H. (2022). Removal of emerging contaminants as diclofenac and caffeine using activated carbon obtained from argan fruit shells. *Applied Sciences*, 12(6), 2922. <https://doi.org/10.3390/app12062922>

Correa-Navarro, Y. M., Moreno-Piraján, J. C., Giraldo, L., Ríos-Granados, S., & Buitrago-Sierra, R. (2022). Competitive adsorption of caffeine and diclofenac sodium onto biochars derived from fique bagasse: An immersion calorimetry study. *ACS Omega*, 7(51), 46202– 46214. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04872>

França, D. B., y colaboradores. (2024). Diclofenac removal by alkylammonium clay minerals: Study of adsorption isotherm, kinetics, and thermodynamics. [Nombre de la revista]. Disponible en PubMed Central. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11635518/>

Goldner, D. M. B., Viana, L., & Masini, J. C. (2025). Adsorption of caffeine and demethylated metabolites on Na⁺-exchanged bentonite. *Minerals*, 15(6), 573. <https://doi.org/10.3390/min15060573>

Koch, N., Islam, N. F., Sonowal, S., Prasad, R., & Sarma, H. (2021). Environmental antibiotics and resistance genes as emerging contaminants: Methods of detection and bioremediation. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100027. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100027>

Lamghari, C., Hubert, S., & otros. (2025). Purified bentonite from Nador, Morocco: A sustainable adsorbent for caffeine removal from aqueous solutions. *E3S Web of Conferences*, 632, 01030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202563201030>

Latiza, R. J. P., Mustafa, A., Delos Reyes, K., Nebres, K. L., & Rubi, R. V. C. (2024). Adsorbents derived from plant sources for caffeine removal: Current research and future outlook. *Engineering Proceedings*, 67(1), 15. <https://doi.org/10.3390/engproc2024067015>

Lenzi, G. G., Fuziki, M. E. K., Fidelis, M. Z., Fávaro, Y. B., Ribeiro, M. A., Chaves, E. S., & Lenzi, E. K. (2020). Caffeine adsorption onto bentonite clay in suspension and immobilized. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20180637. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020180637>

Lombardi, B., Baschini, M., & Torres Sánchez, R. M. (2003). Bentonite deposits of Northern Patagonia. *Applied Clay Science*, 22(6), 309-312. [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(03\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(03)00121-2)

Parolo, M. E., Savini, M. C., Vallés, J. M., Baschini, M. T., & Avena, M. J. (2008). Tetracycline adsorption on montmorillonite: pH and ionic strength effects. *Applied Clay Science*, 40(1-4), 179- 186. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.08.003>

Pereira, A., Freitas, A., Silva, M., Camara, A., Moura, H., Ballesteros-Plata, D., Rodríguez-Castellón, E., & de Carvalho, L. (2025). Efficient removal of tetracycline hydrochloride via adsorption onto modified bentonite: Kinetics and equilibrium studies. *Applied Sciences*, 15(6), 3372. <https://doi.org/10.3390/app15063372>

Quintero-Jaramillo, J. A., Carrero, J. I., & Sanabria-González, N. R. (2024). Caffeine adsorption on a thermally modified bentonite: Adsorbent characterization, experimental design, equilibrium and kinetics. *Colloids & Interfaces*, 8(2), 26. <https://doi.org/10.3390/colloids8020026>

Roca Jalil, M. E., Baschini, M., & Sapag, K. (2015). Influence of pH and antibiotic solubility on the removal of ciprofloxacin from aqueous media using montmorillonite. *Applied Clay Science*, 114, 69- 76. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.05.010>

Schulz-Bañares, B., Sandoval-Cifuentes, C., Sandoval-Quijada, T., & Müller-Ramírez, C. (2021). Residuos farmacéuticos domiciliarios en el medio ambiente: de la preocupación a la acción. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45, e144. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.144>

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: ÓSCAR BALLESTEROS GARCÍA

Ámbito de conocimiento/Departamento: QUÍMICA ANALÍTICA

Correo electrónico: oballest@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos: M^a Eugenia Roca Jalil

Correo electrónico: eugenia.rocajalil@fain.uncoma.edu.ar

Nombre de la empresa o institución: Laboratorio de Aguas y Arcillas. Facultad de Ingeniería-UNCo,
Departamento de Química -UNCo

Dirección postal: Buenos Aires 1400, Argentina

Puesto del tutor en la empresa o institución: Investigador

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: CARLOS GARCIA MOLIZ

Correo electrónico: carlosmoliz@correo.ugr.es