

Artículo Original

**APLICACIÓN DE LA BENTONITA EN EL TRATAMIENTO DE
EFLUENTES DE TANQUES DE COMBUSTIBLE EN LA EMPRESA
PETROMOC, MOZAMBIQUE**

**APPLICATION OF BENTONITE IN THE TREATMENT OF FUEL TANK
EFFLUENTS AT PETROMOC COMPANY, MOZAMBIQUE**

Esnaider Rodriguez Suarez^{1,2,*} <https://orcid.org/0000-0001-8615-3259>

Julio Omar Prieto García³ <https://orcid.org/0000-0002-9279-4412>

¹Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Universidad Eduardo Mondlane.
Maputo, Mozambique.

²Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Planeamiento Físico. Universidad UniTiva-Witive.
Maputo, Mozambique.

³Departamento Licenciatura en Química. Facultad de Química y Farmacia.
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Julio 26, 2023; Revisado: Septiembre 4, 2023; Aceptado: Octubre 20, 2023

RESUMEN

Introducción:

Según Barros (2017), la Bentonita es una mezcla de arcillas, generalmente impuras, de grano muy fino, formada principalmente por 60 a 80% de montmorillonita y también Caolinita, Calcita y Pirita. En la base operacional de la Empresa Petromoc Maputo, existe un conjunto de tanques para el almacenamiento de combustibles que forman un complejo de depósitos con tuberías acopladas para la entrada y retirada de combustibles y eliminación de efluentes.

Objetivo:

Evaluar el uso de la bentonita en la remoción de cationes tóxicos de los vertidos generados en la empresa Petromoc.

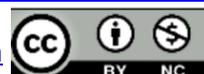
Materiales y Métodos:

La recogida de muestras de bentonita se realizó en la empresa de Minerales Industriales. Las muestras efluente y afluente se colectaron en la caja separadora de la base Operacional. Los experimentos fisicoquímicos se ejecutaron en el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad Eduardo Mondlane. Para la caracterización física



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Esnaider Rodriguez, Email: erodriguezsuarez2013@gmail.com



de la bentonita, se determinaron la densidad picnométrica, porosidad (P) y superficie específica. La caracterización mineralógica se realizó por análisis de difracción de rayos X. La caracterización química del efluente y afluente se realizó mediante la Espectroscopía de Emisión Atómica por Plasma Inductivamente acoplado.

Resultados y Discusión:

La caracterización mineralógica demostró la presencia de minerales de bentonita. El pH del efluente antes de interactuar con la bentonita era de 3,22, tras la interacción el pH está entre 5,8 a 9.

Se determinaron altas concentraciones de Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Titanio (Ti) y Zinc (Zn), en el efluente antes de la interacción con la bentonita. Después de la interacción, se verifica remoción de elementos tóxicos.

Conclusiones:

La bentonita demostró alta eficiencia en la remoción de cationes tóxicos.

Palabras clave: bentonita; base operacional; efluentes; remoción.

ABSTRACT

Introduction:

According to Barros (2017), Bentonite is a mixture of clays, generally impure, very fine grained, formed mainly by 60 to 80% of montmorillonite and also Kaolinite, Calcite and Pyrite. At the operational base of Petromoc Maputo Company, there is a set of tanks for fuel storage, that from a complex of tanks with coupled pipelines for the entry and withdrawal of fuels and effluent disposal.

Objective:

To evaluate the use of bentonite in the removal of toxic cations from the effluents generated at Petromoc Company.

Materials and Methods:

Bentonite samples were collected at the Industrial Minerals company. The effluent and influent samples were collected in the separator box of the operational base. The physicochemical experiments were carried out at the Analytical Chemistry Laboratory of the Eduardo Mondlane University. For the physical characterization of the bentonite, the pycnometric density, porosity (P) and specific surface area were determined. The mineralogical characterization was performed by X-ray diffraction analysis. The chemical characterization of the effluent and influent was performed by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy.

Results and Discussion:

Mineralogical characterization showed the presence of bentonite minerals. The pH of the effluent before interacting with the bentonite was 3.22, after interaction the pH is between 5.8 and 9. High concentrations of Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Copper (Cu), Titanium (Ti) and Zinc (Zn) were determined in the effluent before the interaction with the bentonite. After the interaction, a removal of toxic elements is verified.

Conclusions:

The bentonite showed high efficiency in the removal of toxic cations.

Keywords: bentonite; operational basis; effluents; removal.

1. INTRODUCCIÓN

Mozambique es rico en georecursos dispuestos por todo el país y se encuentra en proceso de desarrollo, lo que contribuye a la apertura de varias industrias mineras y petrolíferas, que resultan en la deposición masiva de diferentes tipos de residuos. Muchanga (2020) afirma que la sociedad mozambiqueña se enfrenta a uno de los mayores desafíos impuestos por la actividad minera y petrolera, especialmente en relación con el destino de los residuos industriales.

Los métodos de tratamiento de efluentes son muy costosos, por lo que muchas empresas los desechan sin haber pasado por ningún procedimiento de tratamiento, poniendo así en peligro el ecosistema marino y contribuyendo al declive de la economía pesquera.

En la empresa Petromoc, la separación del combustible del efluente, compuesto en su mayor parte por agua y mezclas combustibles, se realiza en una caja de separación por un proceso simple de diferencia de densidades, en la que se deja reposar el fluido hasta que se produce la separación y, en consecuencia, el efluente pasa por un filtro y, posteriormente, se desecha en el mar.

Surge así la necesidad de poner atención a la forma en que se tratan los efluentes en este sector, recurriendo para su tratamiento a los residuos existentes en el país.

El objetivo del presente estudio consistió en evaluar el uso de la bentonita en la remoción de cationes tóxicos de los vertidos generados en la empresa Petromoc.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo para la colecta de bentonita fue realizado en la empresa de Minerales Industriales de Mozambique Limitada, con Licencia: 1002 C, localizada en la Provincia de Maputo, en la localidad de Mafuiane en el Distrito de Namaacha, Provincia de Maputo.

La base operacional de la empresa Petromoc está compuesta por cuarenta (40) tanques en su conjunto. Todos los depósitos disponen de tuberías conectadas a ellos mediante válvulas. Sólo cinco de los tanques están en funcionamiento en la base industrial de la empresa, de los que tres contienen diesel y dos almacenan gasolina. Se realizó un reconocimiento de los tanques que permitió un mayor conocimiento de la empresa, referente a los tanques y finalmente la toma de muestras en la caja separadora con las siguientes cantidades, 3L de efluente y 2L de afluente.

Para la colecta del efluente, el trabajo de campo fue realizado en la base operacional de la empresa Petromoc en la ciudad de Matola, provincia de Maputo. En esta etapa, se recolectaron muestras de efluentes y afluentes como se muestra en la figura 1, donde: se identificó la caja separadora de agua y aceite (A), Se midió la temperatura del efluente y del afluente (B). Luego, se insertó el bidón (C) para la remoción del efluente y afluente; Se tiene el efluente y afluente conservados en contenedores (D).



Figura 1. Ilustración del proceso tecnológico en la base operacional de la empresa Petromoc

Para la preparación de las muestras, se preparó una solución acuosa de 500 mL de $0,1 \text{ mol.dm}^{-3}$ de HCL y se mantuvo en contacto con 5 g de polvo de bentonita, a una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ bajo agitación magnética constante a una rotación de 400 rpm. A intervalos sucesivos de 10 min, se extrajo, se filtró y se analizó por valoración ácido-base utilizando un patrón primario de Na_2CO_3 (5,3g/L) y un indicador rojo de metilo. El proceso cinético de activación de la bentonita natural duró 5 min, tiempo durante el cual se absorben prácticamente todos los protones H^+ . Posteriormente, el efluente se sometió a dos digestiones ácidas. En el proceso de activación de la bentonita aplicaron las recomendaciones de otros investigadores que realizaron la preparación de bentonita activada y su comportamiento de adsorción sobre pigmento verde soluble en aceite (Zheng y col., 2017; Zuo y col., 2017; Murray, 2006; Starodoubtsev y col., 2002).

A continuación, para la preparación de la muestra del efluente, se filtró para eliminar todos los residuos que son posibles de observar a simple vista. Y después se añadieron al efluente las mismas cantidades de los ácidos utilizados.

La caracterización mineralógica se determinó mediante análisis de difracción de rayos X (DRX), en un equipo denominado difractómetro de rayos X marca Olympus BTX-525, la muestra de bentonita se analizó en forma de polvo que pasó por el tamiz de malla n° 150 μm y se depositó sobre un portaobjetos de vidrio con cavidad circular.

La caracterización química se determinó mediante el método de Espectroscopía de Emisión Atómica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICPE-9820).

Para la caracterización física de la bentonita, se determinaron los siguientes parámetros: densidad real (d_r) o densidad picnométrica. Los valores de densidad permiten calcular otras propiedades físicas como la porosidad (P). También se determinan el valor de la superficie específica y los valores de cada uno de los parámetros físicos.

La porosidad de un sólido es una medida de la rugosidad y capilaridad de la superficie. Su determinación es compleja, por lo que se realiza relacionándola con la ecuación de la densidad (Quero-Jiménez y col., 2021).

$$p = \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right)100 \quad (1)$$

Donde:

p – Porosidad (%);

d_a – Densidad aparente (g/mL);

d_r – Densidad real (g/mL).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización física de la bentonita

De la caracterización física se observa que la superficie específica (tabla 1), es característica de la bentonita con tamaño de partícula pequeño (Montmorillonita) y se encuentra en el rango descrito (Lombardi y col., 2002; Lombardi y col., 2003). Los resultados experimentales de la densidad picnométrica de la bentonita de la empresa mozambicana son similares a los reportados por los estudios realizados por Quero-Jiménez y col., (2021) con la bentonita cubana.

Tabla 1. Propiedades físicas de la bentonita

| <i>Parámetros físicos</i> | <i>Valores experimentales</i> |
|---------------------------|-------------------------------|
| Densidad picnométrica | 2,09 g/Ml |
| Porosidad | 38,76 % |

3.2. Determinación de composición mineralógica de la bentonita

La tabla 2 y la figura 2 ilustran los resultados de la caracterización mineralógica de la bentonita, que se obtuvo a través del análisis de difracción de rayos X (DRX) para la identificación de las fases cristalinas presentes en el material, lo que permite conocer la relación entre las capas de las placas de bentonita. El análisis de DRX compara los patrones de DRX de la materia prima (roca de bentonita) y de la fracción de bentonita recogida.

Tabla 2. Composición mineralógica de la bentonita

| | <i>SiO₂</i> | <i>Al₂O₃</i> | <i>Fe₂O₃</i> | <i>CaO</i> | <i>MgO</i> | <i>SO₃</i> | <i>K₂O</i> | <i>MnO</i> | <i>Na₂O</i> | <i>Otros</i> | <i>PPI</i> | <i>Total</i> |
|----------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------------------|--------------|------------|--------------|
| Roca bentonita | 57,74 | 18,71 | 7,07 | 1,85 | 1,80 | 0,02 | 0,65 | 0,12 | 2,68 | 0,76 | 8,57 | 99,97 |
| Fracción bentonítica | 43,89 | 24,73 | 11,13 | 1,38 | 2,63 | 0,08 | 1,10 | 0,14 | 1,99 | 3,11 | 9,81 | 99,99 |

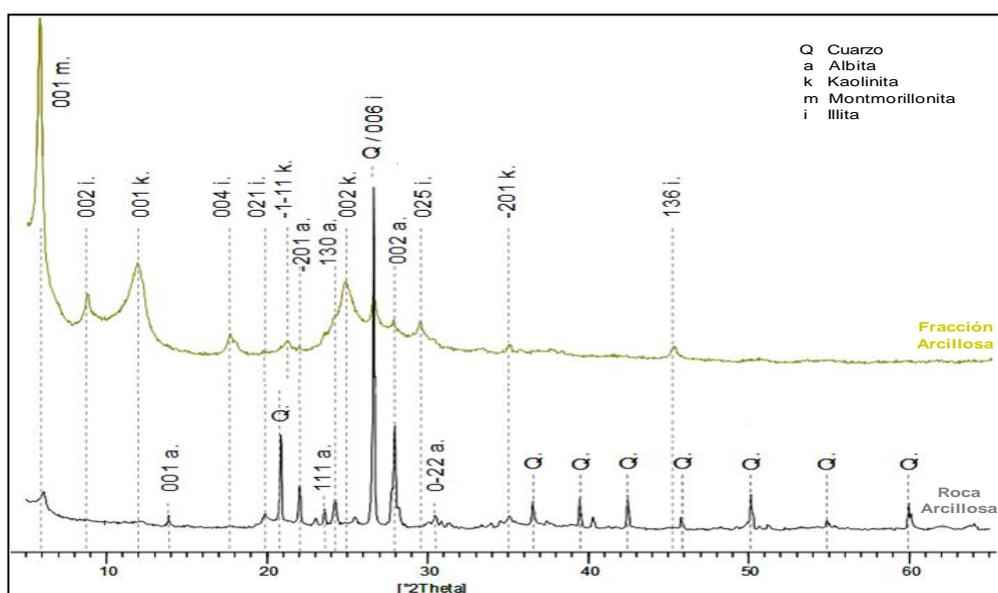


Figura 2. Difractograma de la fracción de bentonita y de la bentonita encontrada en el campo

El espectro resultante del método de difracción de rayos X mostró picos intensos de minerales como la montmorillonita $[Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot n(H_2O)]$, la ilita $[(Si_{8-x}Al_x)(Al,Mg,Fe)_4O_2(OH)_4 \cdot Kx]$ y la caolinita $[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$. Y picos reducidos de Albita $Na(AlSi_3O_8)$ y Cuarzo (SiO_2). En un mineral de tipo Caolinita, las capas tetraédricas y octaédricas se disponen alternativamente con los grupos hidroxilos (OH) ocupando un tercio de las posiciones atómicas en el plano común, para ambas capas. Destacan Quero-Jiménez y col., (2021) en sus investigaciones que el difractograma de rayos X de la bentonita cruda reveló que el principal componente mineralógico es la montmorillonita (>90%), algo muy parecida a los resultados obtenidos en la presente investigación, también ellos identificaron cantidades menores de plagioclasa, cristobalita, calcita y presencia casi indetectable de cuarzo.

Para autores como Maskan y Bagci, (2003), la composición y las propiedades físicas de la bentonita de la empresa industrial de la provincia de Maputo objeto de estudio, encuadrarse dentro de la adecuada para su uso en la purificación de aceites, lubricantes y residuos de petróleos.

3.3. Caracterización física del efluente

Los resultados obtenidos del análisis físico del efluente se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Variaciones del pH del efluente después de la integración con bentonita

| <i>Tiempo (segundos)</i> | <i>pH</i> | <i>Temperatura (°C)</i> |
|--------------------------|-----------|-------------------------|
| 0 | 3,22 | 23,0 |
| 5 | 3,23 | 24,3 |
| 10 | 5,68 | 21,33 |
| 15 | 5,80 | 22,0 |
| 20 | 5,88 | 24,7 |
| 25 | 5,98 | 22,22 |
| 30 | 6,70 | 22,04 |

La tabla revela que después del efluente interactuar con bentonita activada en diferentes momentos muestra la reducción importante de la acidez.

3.4. Caracterización física del afluente

Los resultados obtenidos del análisis físico de las muestras de afluentes se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Variación del pH del afluente después de la interacción con la bentonita

| <i>Tiempo (min.)</i> | <i>pH</i> | <i>Temperatura (°C)</i> |
|----------------------|-----------|-------------------------|
| 0 | 5,40 | 23,4 |
| 5 | 7,58 | 21,9 |
| 10 | 8,56 | 21,39 |
| 15 | 8,03 | 23,3 |
| 20 | 8,85 | 22,9 |
| 25 | 8,82 | 24,0 |
| 30 | 9,00 | 24,8 |

Para el afluente se realizó el mismo procedimiento de medición del pH, donde para el pH en el tiempo cero se pudo notar que es ácido con el valor inicial de 5,40 a una temperatura de 23,4°C, y después de la interacción con la bentonita se puede constatar en la figura 3, una tendencia a la reducción de la acidez.

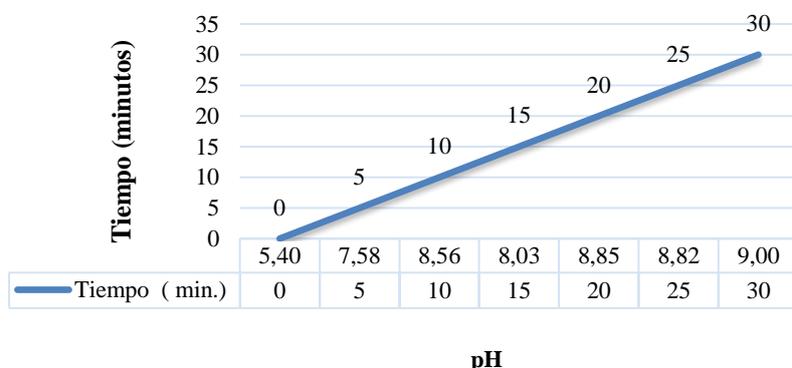


Figura 3. Variación del pH del afluente después de la interacción con la bentonita

Una evaluación comparativa de la variación del pH del efluente y afluente después de la interacción con la bentonita activada de ilustra en la figura 4.

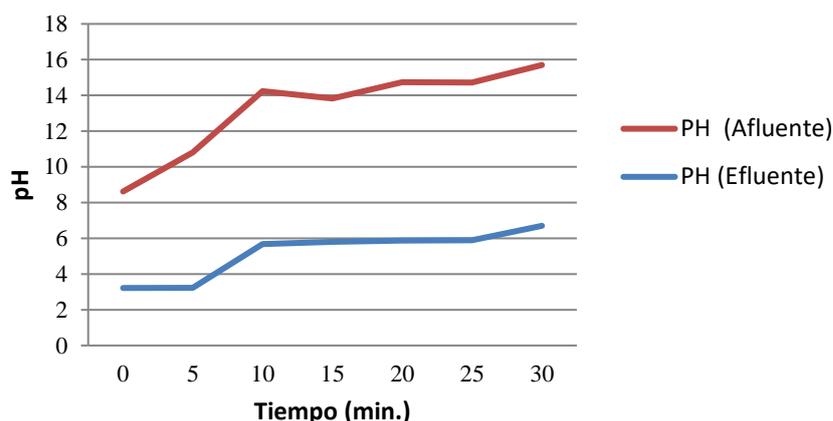


Figura 4. Resultados comparativos de pH del efluente y afluente

Se puede notar que la acidez del efluente es reducida por el tiempo de reacción, tornándolo menos ácido, y el valor de pH debe estar entre 5 y 9 siendo considerados como estándares específicos por la norma nacional NT-202.R-10 - Criterios y Estándares para Liberación de Efluentes Líquidos.

3.5. Caracterización química del efluente

En esta parte se exponen los resultados de los análisis químicos del efluente. La figura 5 muestra las variaciones de las concentraciones de cada elemento en el efluente, y los promedios de las concentraciones que se calcularon.

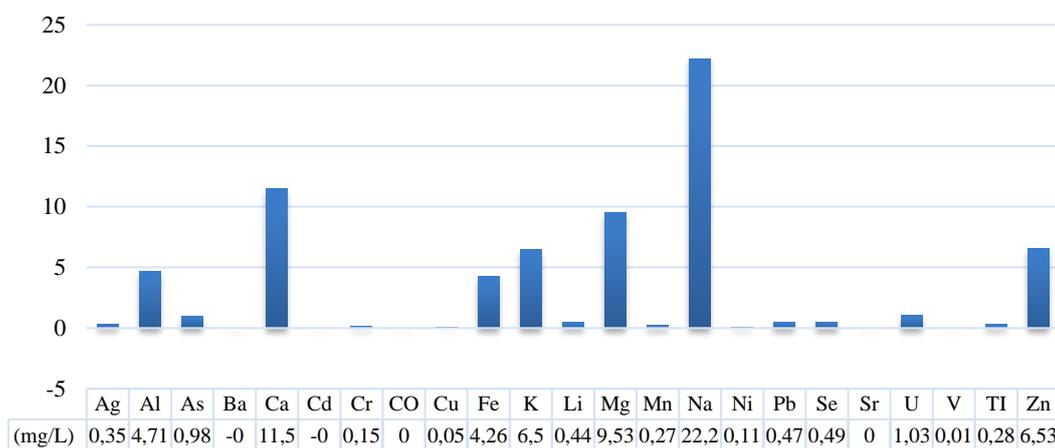


Figura 5. Concentraciones de los elementos del efluente antes de la interacción con la bentonita

En la figura anterior, se determinaron las concentraciones de los elementos en el efluente antes de la interacción con la bentonita, por lo que se identificó una alta concentración de elementos como aluminio (Al), Calcio (Ca), Arsénico (As), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Zinc (Zn), entre otros estando por encima de los estándares establecidos por la norma NT-202. R-10 - Criterios y Normas para Liberación de Efluentes Líquidos, siendo considerados elementos tóxicos e inadecuados para la disposición en el mar, pudiendo causar un desequilibrio en el ecosistema marino.

3.6. Análisis del efluente después de la interacción con la bentonita

En la figura 6 se presentan los resultados obtenidos para el efluente tras la interacción con la bentonita activada.

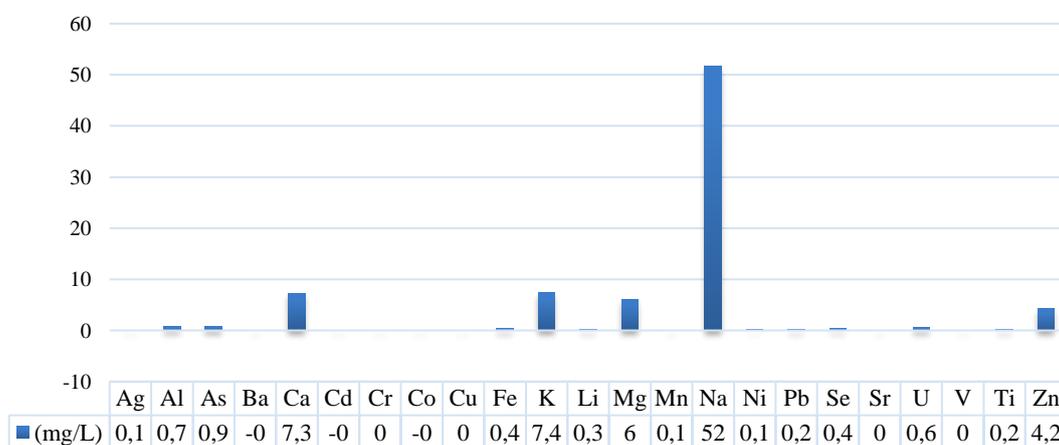


Figura 6. Media de las concentraciones del efluente de la empresa Petromoc después de la interacción con bentonita

Es posible observar que la figura 6 revela concentraciones más elevadas en casi todos los elementos, sin embargo en la figura 7 se puede constatar que las concentraciones y los picos de la mayoría de los elementos se han reducido después de la acción de la bentonita. Cuanto mayor es la interacción con la bentonita, mayor es la disminución de la concentración de los cationes tóxicos en el efluente.

3.7. Caracterización química del afluente después de la interacción con la bentonita activada

En la figura 7, están ilustrados los resultados del análisis químico del afluente de la empresa en estudio, después del proceso de interacción con la bentonita activada.

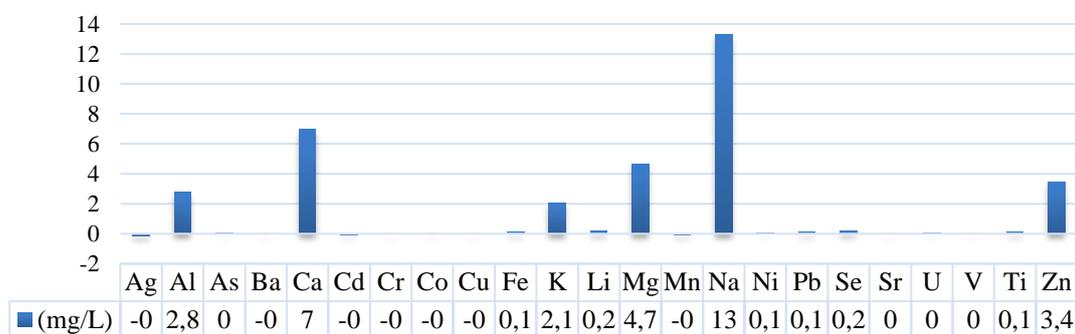


Figura 7. Resultados del análisis del afluente después de la interacción con la Bentonita

Tras la interacción del afluente de la base operacional de la empresa Petróleos de Mozambique (Petromoc) con la bentonita activada, los resultados mostraron una reducción significativa de las concentraciones de elementos tóxicos presentes.

4. CONCLUSIONES

1. Los resultados de la caracterización física de la bentonita muestran que tiene una densidad real (dr) de 2,09 g/ml y una porosidad de 38,76%. También se encontró a través del análisis de difracción de rayos X, se identificaron minerales como Montmorillonita, Illita, Caolinita, Albita y Cuarzo.
2. La composición físico-química de los efluentes generados en la base operacional de la Empresa Petromoc, fue determinada a través del pH que al final del tiempo establecido (30 minutos) fue pH (efluente) = 6,70 y pH (afluente) = 9.
3. Los resultados de los análisis químicos demostraron que la bentonita puede reducir la concentración de cationes tóxicos como Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Titanio (Ti) y Zinc (Zn).
4. Se ensayaron diferentes dosificaciones de bentonita, donde se pudo realizar el examen de adsorción de iones H^+ , comprobándose que pueden ser remediados en un promedio de 5 minutos, siendo el pico de máxima adsorción a los 30 minutos.

REFERENCIAS

- Barros, A.C.R., Avaliação e Caracterização dos Adsorventes Carvão Ativado e Argila Bentonita na Remoção do Inibidor e Fermentativo Furfural., Bacharel (Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Brasil, 2017. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13554>
- Lombardi, B., Baschini, M., & Torres, R.R., Characterization of montmorillonites from Bentonite deposits of North Patagonia, Argentina: physicochemical and structural parameters correlation., The Journal of Argentine Chemical Society, Vol. 90, No. 4/6, 2002, pp. 87-99. <https://www.aqa.org.ar/images/anales/pdf9046/art6.pdf>

- Lombardi, B., Baschini, M., & Torres, R.R., Bentonite deposits of Northern Patagonia., *Applied Clay Science*, Vol. 22, No. 6, 2003, pp. 309-312. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131703001212>
- Maskan, M., & Bagci, H., Effect of different adsorbents on purification of used sunflower seed oil utilized for frying., *European Food Research and Technology*, Vol. 217, No. 3, 2003, pp. 215-218. https://www.academia.edu/76074195/Effect_of_different_adsorbents_on_purification_of_used_sunflower_seed_oil_utilized_for_frying
- Muchanga, Z.S., Estudo das potencialidades de aproveitamento da lama abrasiva resultante do processo de beneficiamento do granito como agregado alternativo parcial em argamassas de pavimentação na construção civil, Caso de estudo: Huaxi Helin Mining Co. Lda - Província de Manica –Chimoio., Monografia (Engenharia Geológica e de Minas) – Instituto Superior de Ciências e Tecnologia de Moçambique, Maputo, 2020.
- Murray, H., Bentonite applications, *Developments in Clay Science.*, Chapter 6, Vol. 2, Elsevier, 2006, pp.111-130. <http://dx.doi.org/10.1016/S1572-4352>
- Quero-Jiménez, P.C., Arias, L.A., Prieto, J.O., Jorge, M.E., de la Torre, J., Montenegro, O.N., Molina-Ruiz, R., & Tiscornia, I.S., Local Cuban bentonite clay: composition, structure and textural characterization., *Andean geology*, Vol. 48, No. 3, 2021, pp. 546-556. <https://dx.doi.org/10.5027/andgeov48n3-3362>
- Starodoubtsev, S., Ryabova, A., Dembo, A., Dembo, K., Aliev, I., Wasserman, A., & Khokhlov, A., Composite gels of poly (acrylamide) with incorporated bentonite. Interaction with cationic surfactants, ESR and SAXS study., *Macromolecules*, Vol. 35, No. 16, 2002, pp. 6362-6369. <http://dx.doi.org/10.1021/MA012021Z>
- Zheng, R., Gao, H., Ren, Z., Cen, D., Chen, Z. Preparation of activated bentonite and its adsorption behavior on oil-soluble green pigment., *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, Vol. 53, No. 2, 2017, pp. 829-845. <https://doi.org/10.5277/ppmp170213>
- Zuo, R., Gao, H., Yang, J., Zhang, P., Chen, G., Li, Y.W., Investigation on the thermal activation of montmorillonite and its application for the removal of U (VI) in aqueous solution., *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 80, 2017, pp. 754-760. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107017304819>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Esnaider Rodríguez Suarez. Gestión de proyectos, conceptualización, redacción - primera redacción, investigación, metodología, software.
 - Dr.C. Julio Omar Prieto García. Redacción - revisión y edición, metodología, validación.
-