Infomin, Vol. 11, enero-diciembre 2019, E-ISSN: 1992-4194, http://www.infomin.co.cu

Artículo Original

# Evaluación de bentonita cubana como material absorbente para la recogida de hidrocarburos

## Cuban bentonite evaluation as absorbent material for hydrocarbon collection

http://opn.to/a/hthpO

**Lester Rivas Trasancos [1] *, Yamila Navarro Sosa [1], Maydeibys León Barrios [1], Miguel Ángel Díaz Díaz [1], Roberto Romero Silva [1], Daylén Salazar Alemán [1], Carlos C. Cañete Pérez [1]**

**RESUMEN:** Las regulaciones ambientales mundiales para los derrames de petróleo en suelos y aguas imponen la aplicación de soluciones que mitiguen este impacto, utilizando materiales absorbentes. Por ese motivo, existe la tendencia a buscar materiales base fibras o arcillas naturales, dada su alta capacidad de absorción y bajos costos. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la capacidad de absorción de hidrocarburos de dos arcillas: Bentonita natural ácida y Bentonita natural sódica. Para el análisis experimental de la capacidad máxima de absorción de los combustibles y el crudo empleados, se aplicó la metodología descrita en las Normas ASTM D 5831-96, F 726-12 y el protocolo canadiense "Oil Sorbente: Testing Protocol and Certification listing program". Se realizaron pruebas a escala de banco con diferentes concentraciones de arcillas y tipos de hidrocarburos para determinar la capacidad de absorción de las bentonitas evaluadas a diferentes concentraciones, las que se determinarón por método gravimetrico. La mejor capacidad de absorción se obtuvo con la menor concentración de ambas bentonitas. El análisis estadístico de la capacidad de absorción demuestra que el peso fundamental está dado por la combinación de todos los factores: concentraciones y tipo de absorbente e hidrocarburo.

**Palabras claves:** absorbente, hidrocarburos, arcillas naturales.

**ABSTRACT:** The global environmental regulations for oil spills in soil and water require the application of solutions that mitigate this impact, using absorbent materials. For this reason, there is a tendency to look for materials based on fibers or natural clays, given their high absorption capacity and low costs. The objective of this work is to evaluate the hydrocarbon absorption capacity of two clays: natural acid bentonite and natural sodium bentonite. For the experimental analysis of the maximum absorption capacity of the fuels and crude oil employed, the methodology described in ASTM D 5831-96, F 726-12 and the Canadian protocol "Oil Sorbent: Testing Protocol and Certification listing program" was applied. " Bench scale tests were performed with different concentrations of clays and types of hydrocarbons to determine the absorption capacity of the bentonites evaluated at different concentrations, which were determined by gravimetric method. The best absorption capacity was obtained with the lowest concentration of both bentonites. The statistical analysis of the absorption capacity shows that the fundamental weight is given by the combination of all the factors: concentrations and type of absorber and hydrocarbon.

**Key words:** absorbent, hydrocarbons, natural clays.

Recibido: 03/04/2018

Aprobado en su forma original: 10/05/2019

[1]Centro de Investigación del Petróleo. Churruca No 481, Cerro, La Habana, Cuba, CP 12000.
*Autor para correspondencia: *Lester Rivas Trasancos*. E-mail: lester@ceinpet.cupet.cu

## INTRODUCCIÓN

El término bentonita fue sugerido por primera vez por Knight en 1898 (Galán & Ferrero, 1982) y se definió como una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas. Actualmente, la definición más ampliamente aceptada es la dada por (Cruz *et al.*, 2007): "Bentonita es una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas con independencia de su génesis y modo de aparición". Desde este punto de vista, la bentonita es una roca compuesta por más de un tipo de minerales, aunque son las esmectitas sus constituyentes esenciales y que le confieren sus propiedades características.

En la literatura actual, el material arcilloso que se refiere se denomina indistintamente como bentonita o montmorillonita (Bravo, 2004; Bradanovic, 2007). El grupo de las esmectitas, al que pertenece la bentonita, tiene empaquetamiento 2:1, consta de dos láminas tetraédricas de sílice con una lámina octaédrica central de aluminio, carga por sustitución isomórfica entre 60 y 120 meq/100g y cationes hidratados entre sus láminas (Barroyeta, 2009). Por este motivo la dimensión del eje c (espaciado basal, es decir, la suma del espesor de una lámina y la distancia interlaminar) puede variar desde 9,6 Å cuando las láminas están pegadas, hasta aproximadamente 21 Å cuando existen moléculas polares entre ellas. Estas tres capas constituyen una lámina de grosor 9,6 Å, que teóricamente se extiende indefinidamente en dos dimensiones, ejes a y b. A lo largo del eje c, las láminas se van superponiendo sucesivamente. Una partícula la constituyen entre 8 y 10 láminas elementales superpuestas. El espacio interlaminar depende de la naturaleza y grado de hidratación de los cationes que allí se encuentren, variando entre los ~ 10 Å cuando están totalmente deshidratadas, hasta alcanzar los 40 ó 50 Å por hidratación.

Las características de las montmorillonitas tanto por su composición química como por su peculiar estructura permiten su modificación mediante procedimientos más o menos sencillos. Algunos de estos suponen la transformación a estructuras de naturaleza zeolítica y a la intercalación de pilares, generándose así nuevas estructuras cuyas propiedades de textura y estructura difieren respectos a las del material de partida, optimizando las características del material de acuerdo a las necesidades de la aplicación a la que sean destinadas.

Entre las aplicaciones más importantes se encuentra su empleo en el campo de la sorción, lo cual está relacionado con su alta capacidad de intercambio iónico (Sun Kuo, 2000; Picasso & Sun Kuo, 2008). Así mismo presentan limitaciones debido a la deshidratación y deshidroxilación de su estructura, la cual fue resuelta por intercalación de compuestos de gran tamaño que actúan como pilares de la estructura, manteniéndolas abiertas a temperaturas superiores a 200°C.

De estas ideas surge el concepto de arcillas apilaradas o PILC´s (pillared interlayer clays). El pilar sostiene las láminas y las "galerías" obtenidas forman una red de microporos. Estos materiales, conocidos como arcillas apilaradas (PILC´s), presentan una distribución homogénea de microporosidad, con poros desde 4 a 9 Å, dependiendo del tipo de pilares, lo que les hace capaces de absorber y transformar moléculas grandes (Gil *et al.*, 2000).

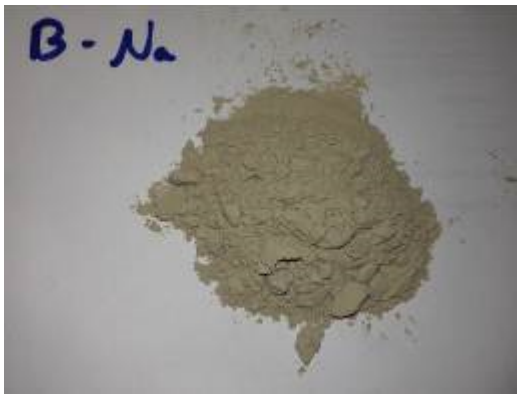
Este método de obtención de nuevos materiales da como característica principal una porosidad determinada, alta estabilidad térmica y acidez (Galán & Ferrero, 1982). (Barrer & Mac Leod, 1978), en los años 50, introdujeron el concepto de arcillas pilariadas cuando observaron que en un mineral de arcilla se podía crear una porosidad permanente cuando se intercalaban iones tetralquilamonio entre las láminas bidimensionales del silicato: el catión $R_4N^+$ funciona como un pilar y evita el colapso de las láminas. El sistema poroso que resulta tiene muchas de las características de las zeolitas convencionales, pero a éstas se suma la gran ventaja de tener mayores dimensiones de poro (6-40Å), pudiendo variar el tamaño del pilar o el espacio entre los pilares, o ambos, por lo que de forma teórica se puede ajustar el tamaño de poro para una aplicación determinada. El interés surge esencialmente de la posibilidad de controlar la química de superficie (acidez) y la microtextura (área superficial, micro y mesoporosidad) de los materiales sintetizados (Sergio *et al.*, 2006).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material absorbente empleado

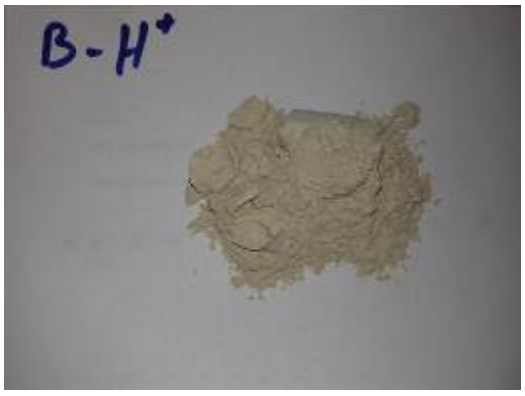
Se emplearon dos tipos de Bentonitas, una sódica (B - Na) y otra ácida (B - $H^+$), suministradas por el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM) provenientes del yacimiento Managua. En las figuras 1 y 2 se muestran las bentonitas empleadas.

Ambas fueron evaluadas utilizando gasolina, diésel y petróleo crudo mediano compósito (22,5 $^0$API) (Ayllon, 2015).




Fuente: imágenes del autor.

**Figura 1.** Bentonita natural Sódica.




Fuente: imágenes del autor.

**Figura 2.** Bentonita natural Ácida.

### Ensayo área superficial y distribución del volumen de poros

El área superficial y la distribución de tamaño de poros se determinaron por absorción de nitrógeno en un equipo Micromeritics ASAP 2020. El área superficial se determinó utilizando la ecuación de Brunauer, Emmett y Teller (BET). La distribución del tamaño de poros se obtuvo a partir de los datos de adsorción del nitrógeno, utilizando la ecuación de Harkins - Jura o Halsey y el método de integración numérica BJH.

### Ensayo de capacidad de absorción

Para determinar la capacidad de sorción de las Bentonitas se realizaron pruebas a escala de banco en recipientes abiertos (figura 3), colocado en estos, dosis de 20, 100 y 200 g de los combustibles evaluados. Se depositaron 10, 50 y 100 g de las Bentonitas evaluadas, las cuales se dejaron reposar sobre el combustible con tiempo de contacto de 15 minutos. Posteriormente fue retirada la Bentonita y pesada.



**Figura 3.** Pruebas de sorción. Fuente: imágenes del autor

### Análisis de capacidad de sorción de hidrocarburos

Para el análisis experimental de capacidad máxima de sorción de los combustibles y crudo empleado; se aplicó la metodología según la Norma ASTM D 5831-96, F 726-12 y el protocolo canadiense “Oil Sorbente: Testing Protocol and Certification listing program”, en las cuales se determina la masa de crudo sorbido por gramo de material sorbente mediante la ecuación:

$$Ca = \frac{mt - mo}{mo} \quad (1)$$

Dónde:

Ca - capacidad de sorción.

Mt - masa de material impregnado (peso del sorbente e hidrocarburo (HC) sorbido).

Mo - masa del material sorbente seco.

### Alternativas de manejo y disposición del material

La disposición final de las bentonitas después de utilizadas en las pruebas se evaluó, utilizando una variante de manejo a escala de banco donde se analizó la posible autodegradación de las mismas.

La variante consistió en exponer 100 g de ambas bentonitas contaminadas con 100 g de los combustibles a mezclado, aireación, humectación periódica y tiempo de luz solar, por espacio de 30 días.

El seguimiento analítico durante el proceso ejecutado incluyó la caracterización química y microbiológica de las muestras, mediante la realización de los ensayos: grasas y aceites (G y A), hidrocarburos totales (HCT), pH y conductividad eléctrica a 21 y 30 días, conteo de microorganismos totales (CMOT) y conteo de microorganismos degradadores de hidrocarburos (CMDH) a 0 días. Para todos los análisis químicos y microbiológicos, las muestras fueron homogenizadas y secadas. Se tomó una muestra representativa para ser analizada.

Los ensayos de G y A e HCT se ejecutaron según los métodos (EPA 3540C, 1996) (APHA, 2005).

El análisis microbiológico para el CMOT se realizó por el método establecido en la ISO 8199:2005.

La determinación del pH y la conductividad eléctrica, se realizó por el método descrito en la (NC 32: 2009).

Las determinaciones del contenido de humedad (%H) se realizaron por el Método P001 (BBSS, 2000).

Se calcularon las tasas de degradación según la siguiente expresión:

$$TB = \frac{CI - CF}{CI} * 100 \quad (2)$$

donde:

TB - tasa de degradación (%).

CI - concentración inicial de G y A e HCT (mg/kg).

CF - concentración final de G y A e HCT (mg/kg).

### Análisis estadístico

Para evaluar la capacidad de sorción del material se elaboró un diseño de experimentos de compósito central (superficie de respuesta) con 4 factores de diseño, 2 numéricos y 2 categóricos, según experiencias conocidas. Para ello se utilizó el programa Design Expert versión 6.0.1 de Stat - Ease Corporation 2000. Los factores de diseño seleccionados fueron: 2 factores numéricos (dosis de absorbente y dosis de combustible) y 2 categóricos (tipo de absorbente y tipo de combustible).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados caracterización inicial de las bentonitas

En la tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización química de las bentonitas.

En la tabla 2 se presentan los valores de área BET, volumen de microporos y volumen total de poros para las muestras estudiadas.

Los valores de área de una bentonita pueden llegar hasta 300 $m^2/g$. La bentonita ácida presenta valores muy bajos de área superficial, volumen de microporos y volumen total de poros si los comparamos con la bentonita sódica, lo que pudiera deberse al método de activación empleado. Para la bentonita natural sódica se obtuvo un valor de área que se encuentra en el rango de los reportados para este tipo de material.

Las isotermas obtenidas son del Tipo II características de los adsorbentes no porosos y macroporosos.

La distribución de poros es heterogénea, va desde el entorno de los microporos (0-20 Å) hasta por encima de la mesoporosidad (20 y 500 Å). Los gráficos de distribución de poros presentan comportamientos diferentes. Las isotermas corroboran que el método de activación ácido pudiera influir en la brusca disminución del área superficial en la bentonita.

**Tabla 1.** Caracterización química de las bentonitas

| Muestra | G y A (mg/kg) | HCT (mg/kg) | pH (25 °C) | Conductividad (µS/cm) (25 °C) | % Humedad |
|---|---|---|---|---|---|
| B - Na | 230 ± 0,03 | 200 ± 0,03 | 9,16 ± 0,79 | 1062 ± 2,7 | 11,49 |
| B - $H^+$ | 590 ± 0,1 | 470 ± 0,1 | 3,28 ± 0,28 | 0,004, ± 0,01 | 13,06 |

**Tabla 2.** Análisis de textura

| Muestra | Área superficial ($m^2/g$) | Volumen de microporos ($cm^3g^{-1}$) | Volumen total de poros ($cm^3g^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| B - Na | 105,69 | 0,0155 | 0,098 |
| B - $H^+$ | 18,09 | 0,0018 | 0,044 |

En la figura 4 se muestran el gráfico de las isotermas de adsorción para las muestras analizadas donde se evidencia que tienen comportamiento del tipo II aunque la 14-17 (B - $H^+$) muestra valores inferiores de área.

La figura 5 refleja las curvas de distribución de poros. El comportamiento de la muestra 14-17 (ácida) difiere de la 13-17 (sódica) y muestra una disminución en la porosidad, prácticamente en todos los rangos de poros, razón por la cual hay una severa disminución de su área superficial como queda reflejado en la tabla 2.

## Resultados del ensayo de capacidad de sorción

Los resultados de este ensayo se muestran en las figuras 6 y 7. Los mejores valores de capacidad de sorción fueron obtenidos con la menor dosis de ambos materiales absorbentes (10 g) reportando valores entre 0,40 - 0,46 g HC /g absorbente. La (B - $H^+$) resulto la de mejor comportamiento para las diferentes dosis del material ensayado y para todos los tipos y dosis de los combustibles evaluados.

Los valores de capacidad de sorción obtenidos para ambos materiales resultan bastante inferiores a los alcanzados por (Díaz *et al.*, 2014) para este mismo tipo de material absorbente, donde reportan capacidades de sorción promedio para la bentonita ácida de 0,94 y 0,68 g HC/g absorbente para la sódica.

## Análisis del experimento compósito central (superficie de respuesta)

### Modelo Lineal

El modelo secuencial de la suma de cuadrados nos muestra que hay diferencias significativas en los resultados obtenidos, cuando aplicamos el modelo cuadrático con relación al modelo lineal. De acuerdo a estos resultados seleccionamos el modelo lineal como primera opción para el análisis. Focalice en el modelo maximizar el R-cuadrado ajustado y el R- cuadrado predicho.

El " valor F del Modelo" de 1,60 implica que el modelo no es significativo relativo al ruido. Hay una probabilidad de 17,78 % de que un " valor F del Modelo" de esta magnitud pudiera ocurrir debido al ruido. Valores de "Probabilidad > F" menores de 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso B son términos del modelo significativos. Valores mayores de 0,1000 indican que los términos del modelo no son significativos. Si hay muchos términos del modelo insignificantes, la reducción del modelo puede mejorarlo.

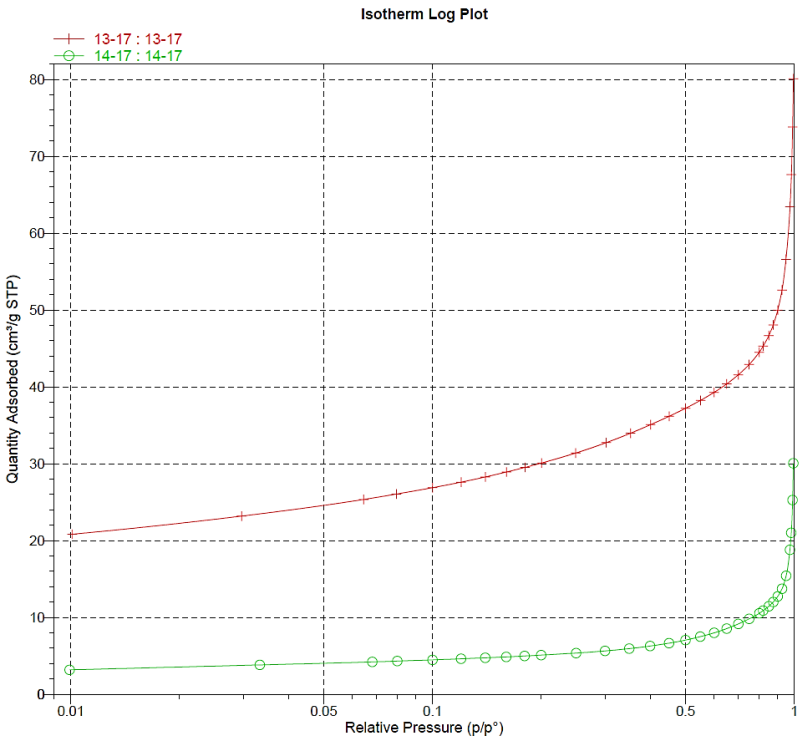



**Figura 4.** Isoterma de adsorción y distribución de poros de las bentonitas. Fuente equipo Micromeritics ASAP 2020.

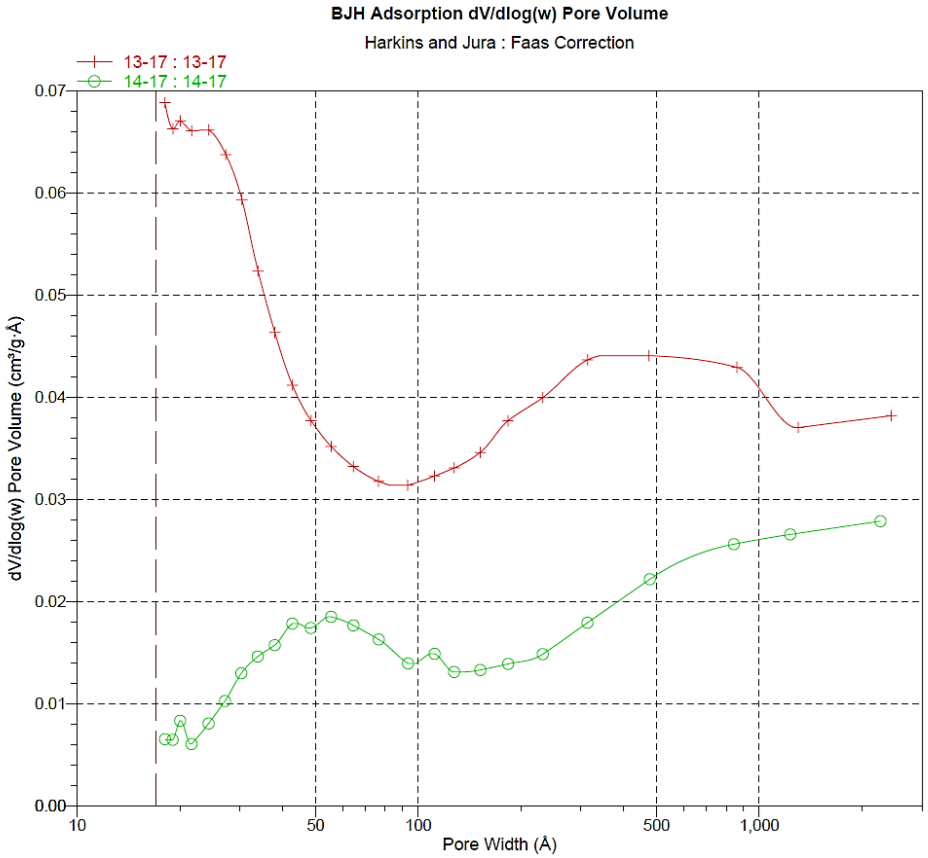



**Figura 5.** Distribución de poros por volumen de poros. Fuente: equipo Micromeritics ASAP 2020.

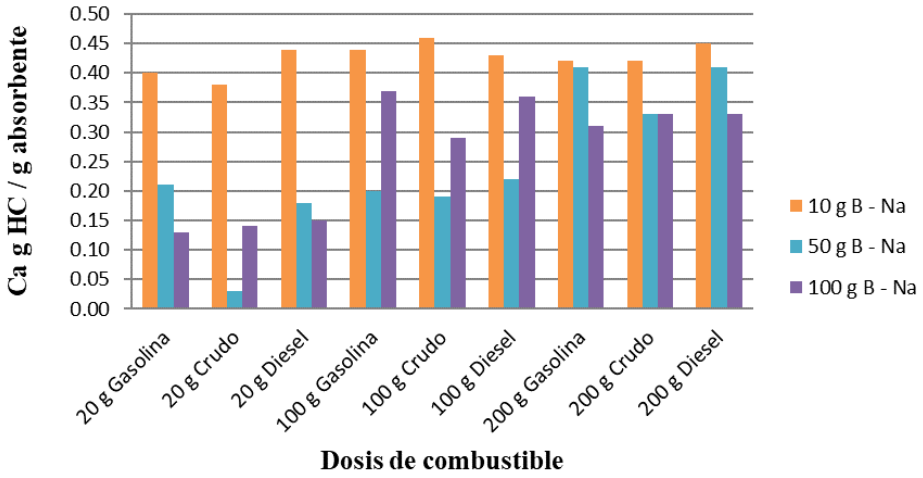



**Figura 6.** Gráfico capacidad de sorción B - Na. Fuente: Elaboración del autor.

## Ecuación Final en Términos de Factores Codificados

$$\text{Absorción}=0{,}41-0{,}072*A+0{,}17*B+0{,}080*C-0{,}073*D[1]-0{,}045*D[2] \quad (3)$$

## Análisis del experimento compósito central (superficie de respuesta)

## Modelo Cuadrático

El "valor F del Modelo" de 0,94 implica que el modelo no es significativo relativo al ruido. Hay una probabilidad de 53,95 % de que un " valor F del Modelo" de esta magnitud pudiera ocurrir debido al ruido. Valores de "Probabilidad > F" menores de 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso no hay términos del modelo significativos. Valores mayores de 0,1000 indican que los términos del modelo no son significativos. Si hay muchos términos del modelo insignificantes, la reducción del modelo puede mejorarlo.

### Ecuación Final en términos de Factores Codificados

$$\begin{aligned}\text{Absorción} = {} & 0{,}47 - 0{,}066*A + 0{,}17*B \\ & + 0{,}084*C - 0{,}076*D[1] - 0{,}049*D[2] - 0{,}16*A2 \\ & + 0{,}06*B2 + 0{,}017*AB - 1{,}148x10^{-3}*AC \\ & - 1{,}988x10^{-3}*AD[1] + 0{,}022*AD[2] \\ & + 0{,}10*BC - 0{,}10*BD[1] - 0{,}11*BD[2] \\ & - 0{,}069*CD[1] - 0{,}061*CD[2]\end{aligned} \quad (4)$$

Con relación a la capacidad de sorción, se aprecia tanto para el modelo lineal como el cuadrático obtenido que el peso fundamental está dado por el conjunto de todos los factores, donde se refleja que la combinación de ellos influye en el aumento de la capacidad de sorción.

### Soluciones numéricas de Optimización

Se encontraron 60 soluciones numéricas en las cuales los cuatro factores no tienen efecto sobre los resultados de optimización, siendo seleccionada la que se refiere a continuación.

### Resultados de la alternativa de manejo y disposición del material

### Seguimiento químico - microbiológico de la variante

Las concentraciones obtenidas de microorganismos degradadores de hidrocarburos tabla 3, permiten afirmar que ambas bentonitas no aportan contribución microbiana al proceso de degradación del contaminante.

Las concentraciones obtenidas de microorganismos totales y degradadores de hidrocarburos para las muestras evaluadas no favorecen la biota necesaria y acción metabólica suficiente para la degradación de los contaminantes. La conductividad eléctrica se mantuvo durante todo el ensayo dentro del rango establecido. Los valores de pH se comportaron acorde a la naturaleza de la muestra.

Los resultados obtenidos en los ensayos de autodegradación a 21 y 30 días de iniciado el proceso figuras 8 y 9 reportan TB de G y A e HCT que se mantienen similares en el tiempo, lo que indica que no existió degradación del contaminante. Las variaciones acontecidas parecen estar asociadas a un proceso de evaporación, más que a la degradación del contaminante, estando relacionadas además con la naturaleza del mismo y la heterogeneidad obtenida en la toma de la muestra. Razón que

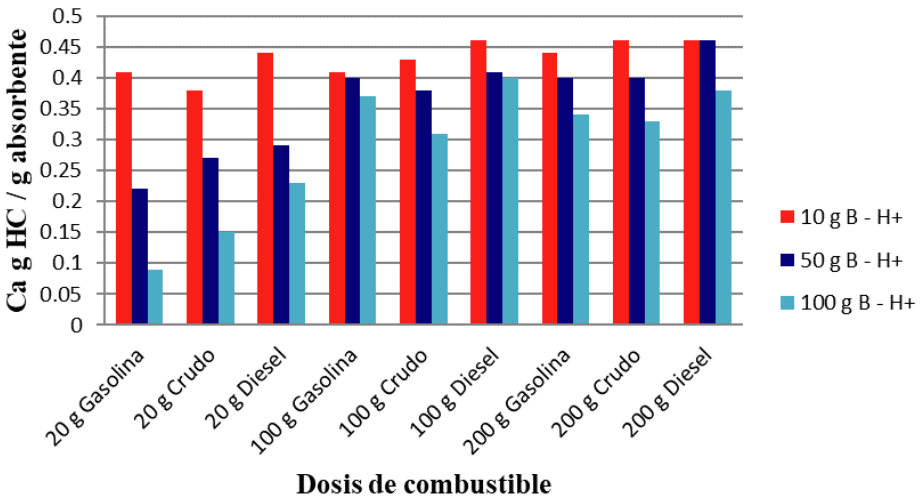



**Figura 7.** Gráfico capacidad de sorción B - $H^+$. Fuente: Elaboración del autor.

| Número | Dosis absorb* | Dosis comb* | Absorbente* | combustible* | Deseabilidad |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 69,90 | 186,41 | BNa | gasolina | 1,000 |

**Tabla 3.** Caracterización microbiológica de las Bentonitas

| Muestra | CMOT UFC/g suelo | CMDH UFC/g suelo | N total (%) | P total (mg/g) |
|---|---|---|---|---|
| B - Na | < 1 | < 1 | 0 | 0 |
| B - $H^+$ | < 1 | < 1 | 0 | 0 |
| **Ercoli, 2000** | **$10^4$ - $10^5$** | **$10^3$ - $10^4$** | - | - |

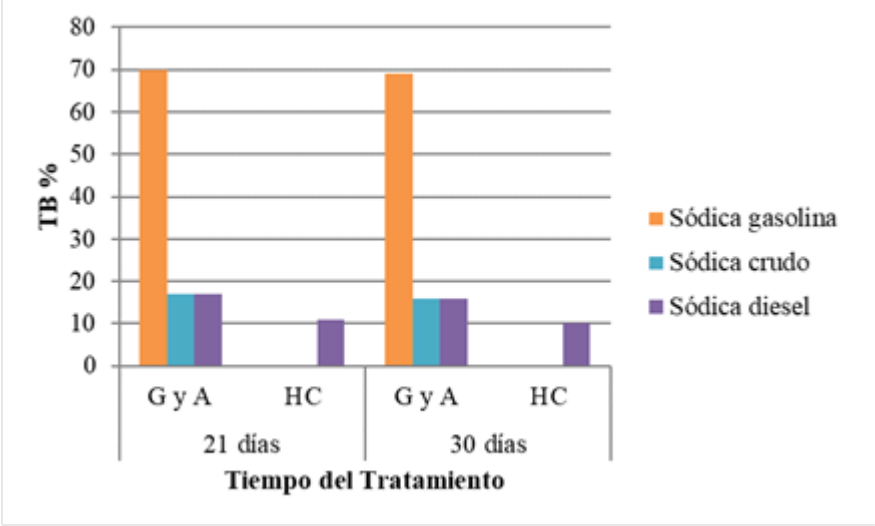



**Figura 8.** Tasa de degradación (TB) B - Na. Fuente: Elaboración del autor.

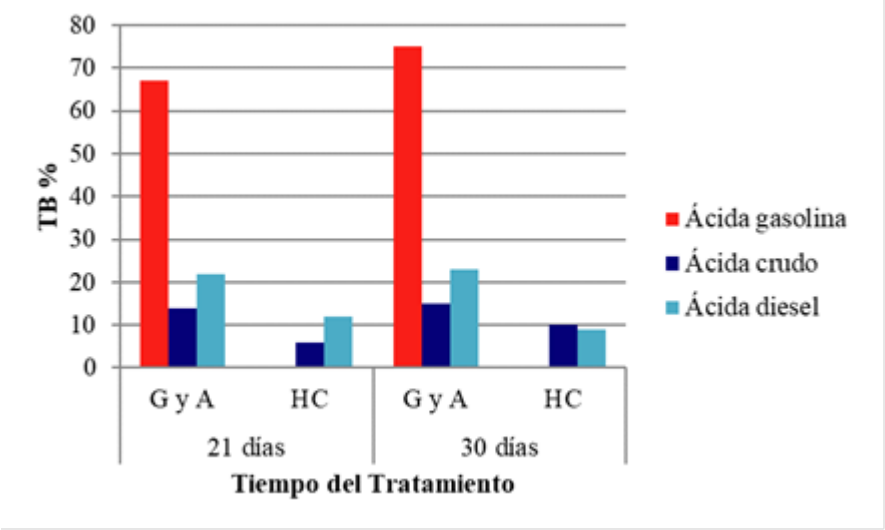



**Figura 9.** Tasa de degradación (TB) B - $H^+$. Fuente: Elaboración del autor.

permite concluir que la autodegradación no es efectiva para llevar a cabo la disposición y manejo del material impregnado con el contaminante.

## CONCLUSIONES

1. Las mejores capacidades de sorción fueron obtenidas con la menor dosis de ambos materiales absorbentes.
2. El análisis estadístico de la capacidad de sorción demostró que el peso fundamental está dado por la combinación de todos los factores (dosis y tipo de absorbente y combustible).
3. El análisis de la variante de tratamiento aplicada, evidenció disminución de las concentraciones de los contaminantes evaluados en el tiempo, comportamiento que pudiera estar asociado más a un proceso de evaporación que a la degradación del contaminante.

## BIBLIOGRAFÍA

Ayllon, R. 2015. Monitoreo y Calidad de los compositos de Petróleo de la franja norte de crudos pesados y EPEP Majagua. Caracterización de pozos de nueva creación. Proyecto 6006. Etapa 42. 20 p.

Barrer, R.M. & Mac Leod. 1978. Zeolites and Clays Minerals as Sorbents and Molecular Sieves. Acad. Press, New York, 8 p.

Barroyeta, Z.M. 2009. Estudio de arcillas porosas heteroestructuradas y sus aplicaciones como catalizadores ácidos. Tesis de Licenciatura Química, Venezuela: Universidad de Oriente.

Bradanovic, T. P. 2007. Arcillas y bentonitas. Soc.Com. Hermes Ltd. Arica.

Bravo, N. P. 2004. Utilización de adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas y efluentes líquidos. Belgrano: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Centro de Gestión y Desarrollo de la Calidad ONN. 2009. Norma Cubana Calidad del suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación. no. NC 32: 2009. La Habana.

Centro de Gestión y Desarrollo de la Calidad ONN. 2017. Norma Cubana Manejo de Fondaje de tanques y sus derivados. no. NC 819:2017.

Cruz, S.A.; Molina, R.; Centeno, M. A.; Odriozola, J. A. & Moreno. S. 2007. SECAT Compendio de trabajos, P-072, 303 p.

Díaz, D. M.; Rivas, T. L.; León, B. M.; & Acosta, S. J. 2014. Identificación de productos para la recogida y absorción de hidrocarburos en suelos y aguas. Proyecto 6002. Etapa 07. 15 p.

EPA 3540 C. 1996. Soxhlet Extraction. CD Rom. Rev. 3.

Galán, E. & A. Ferrero. 1982. Clays & Clay Min. 30: 191.

Gil, A. M.; Vicente, M. A. & Gandía. L.M. 2000. Microp. and Mesop. Materials. 34: 115-125 p.

International Standarization Organization. 2005. Conteo Total de Bacterias con medio Agar Triptona Soya. ISO 8199:2005.

Picasso, G. & Sun Kou, M. del R. 2008. Aplicaciones tecnológicas de las arcillas modificadas. Revista Sociedad Química, 74 (1).

Sergio, M. et al. 2006. Aluminium- pillaring of a montmorillonitic clay textural properties as a function of the starting mineral particle size. Available: Available: http:// www.azajomo.com , [Consulted: April 2017].

SunKou, M.R. 2000. Arcillas pilareadas: un nuevo tipo de material micro poroso y sus aplicaciones en adsorción y catálisis. Revista de Química. Vol. XIV, No. 2: 177-89.

Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA 2005. 21st ed. United Book Press Inc., Baltimore.

Standard Test Method for Screening Fuels in Soils. ASTM 2001. D 5831-96.

Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents and Canadian protocol. 1999. Oil Sorbente: Testing Protocol and Certification listing program.

Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents. ASTM F 726-12. 2012. Vol. 11.05.

Wyndham et al. 1981. MBH Medium (Modified Bushnell and Hass Salt solution). Conteo de Microorganismos degradadores de hidrocarburos. Appl. Environ.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.
Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)