

COMUNICACIÓN CORTA

**CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS EN  
ZONAS COSTERAS CON INCIDENCIA DE LA  
ACTIVIDAD PETROLERA**

**CONTROL OF POLLUTION BY HYDROCARBONS IN COASTAL AREAS WITH  
INCIDENCE OF OIL ACTIVITY**

*Ana Núñez Clemente<sup>1\*</sup>, Zuleika Marquetti Ramos<sup>1</sup>, Jeniffer de la C. Martínez  
González<sup>1</sup>, Octavio del Sol Ortega<sup>1</sup>, Maydeibys León Barrios<sup>1</sup>  
y Carlos L. Sosa Muñoz<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigación del Petróleo, CEINPET, Churruca, N° 481, e/ Vía Blanca y Washington,  
Cerro, La Habana, Cuba.

Recibido: Septiembre 21, 2019; Revisado: Octubre 25, 2019; Aceptado: Noviembre 27, 2019

**RESUMEN**

La industria petrolera cubana tiene varias de sus instalaciones ubicadas en áreas cercanas a la zona costera, por lo que existe un alto riesgo de contaminación por hidrocarburos del petróleo en los cuerpos receptores marinos relacionados con las mismas. Este trabajo tiene como objetivo determinar y caracterizar los hidrocarburos presentes en sedimentos marinos provenientes de tres bahías asociadas a empresas comercializadoras de combustibles: bahías de Matanzas, Nuevitas y Nipe. Estos resultados permitirán la identificación y aplicación de medidas que minimicen o eliminen la contaminación que pudiera generarse. Los resultados obtenidos indican, en mayor o menor medida, la presencia significativa de hidrocarburos que tienen su origen en el petróleo, en algunos casos se apreció alto grado de degradación. Por lo general se aprecia una tendencia a la disminución en los niveles de concentración de hidrocarburos con respecto a los obtenidos en estudios anteriores.

**Palabras clave:** contaminación; hidrocarburos del petróleo; sedimento marino.

**ABSTRACT**

The Cuban oil industry has several facilities located near the coastline zone, so there is a high risk of contamination by oil hydrocarbons in the receiving marine bodies related to them. The objective of this work is to determine and characterize the present



Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Ana Núñez, Email: [anan@ceinpet.cupet.cu](mailto:anan@ceinpet.cupet.cu)



hydrocarbons in marine sediments coming from three bays of national interest associated to fuel trading companies: Matanzas, Nuevitas and Nipe bays. These results will allow the identification and application of measures that minimize or eliminate the contamination that could be generated. The obtained results indicate, in greater or minor amount, the significant presence of hydrocarbons that have their origin in petroleum; in some cases a high degree of degradation was observed. In general, there is a trend towards a decrease in hydrocarbon concentration levels with respect those obtained in preceding studies.

**Keywords:** hydrocarbons petroleum; marine sediment; pollution.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria petrolera puede ocasionar afectaciones al medio ambiente circundante por lo que es necesaria una vigilancia del posible impacto de esta actividad sobre los ecosistemas marino-costeros asociados a la misma. Por tal motivo, desde hace más de una década se han desarrollado proyectos y servicios científico-técnicos de monitoreo en varios de estos ecosistemas con el fin de controlar la posible contaminación por hidrocarburos.

Este trabajo tiene como objetivo determinar y caracterizar los hidrocarburos presentes en sedimento marino provenientes de tres bahías que están asociadas a empresas comercializadoras de combustibles y que se encuentran identificadas dentro del programa de enfrentamiento a la contaminación de las bahías de interés nacional: bahías de Matanzas, Nuevitas y Nipe, cuyos resultados permitirán la identificación e implementación ulterior de medidas para eliminar y reducir los niveles de contaminación que se genera.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño de muestreo y análisis de las muestras.

Los muestreos se ejecutaron en los meses de marzo y abril (período seco) del año 2018. En la figura 1 se indica la ubicación de los puntos donde se tomaron las muestras de sedimentos marinos colectados en las tres bahías estudiadas. Los puntos de muestreo fueron georeferenciados con equipo GPS eTrex Summit, marca GARMIN taiwanés.



**Figura 1.** Ubicación de los puntos de muestreo. (A) Bahía de Nipe, (B) Bahía de Nuevitas y (C) Bahía de Matanzas

Los procedimientos de muestreo y preservación de los sedimentos marinos siguieron normas establecidas (COI/UNESCO, 1982) para el posterior procesamiento y análisis de las muestras.

## 2.2. Análisis de las muestras.

Las muestras de sedimentos marinos fueron procesadas por el método de extracción Soxhlet (EPA 3540C, 1996) utilizando diclorometano grado cromatográfico, en presencia de cobre en polvo activado y determinadas por el método gravimétrico. La purificación del extracto se realizó por cromatografía de adsorción en columna con sílica/alúmina (IOC, 1992), utilizando como solventes de elución el n-hexano y una mezcla de diclorometano/n-hexano (1:1). Las fracciones se concentraron para ser analizadas cuantitativamente por el método gravimétrico.

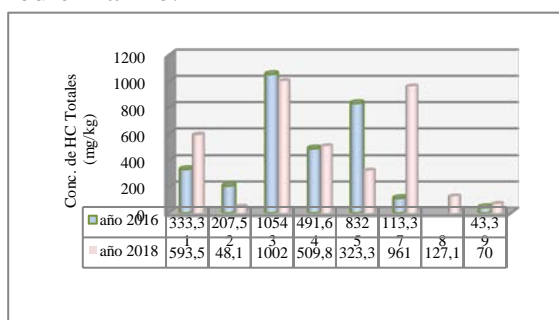
El contenido de hidrocarburos totales del petróleo (HTP-fracción aromática) se determinó en un equipo de fluorescencia marca SiteLab (SiteLAB, 2006).

El análisis cualitativo de los hidrocarburos se realizó en un cromatógrafo Agilent 7890A con detector de espectrometría de masas 5975C (Agilent), y helio como gas portador. El modo de ionización fue por impacto electrónico, con una energía de 70 eV. Las condiciones cromatográficas fueron:  $T_{\text{inyector}} = 300^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{interfase MS}} = 280^{\circ}\text{C}$  y el programa de temperatura fue de  $60^{\circ}\text{C}$  durante 2 min hasta  $300^{\circ}\text{C}$  a  $6^{\circ}\text{C min}^{-1}$  y se mantuvo isotérmico por 20 min. La inyección de  $1\mu\text{l}$  del extracto orgánico se realizó con un autoinyector Agilent en modo splitless durante 45 seg. El análisis estadístico de los resultados se realizó con el programa *StatGraphics 5*, empleando el método de comparación de datos y el estadígrafo *t-Student*.

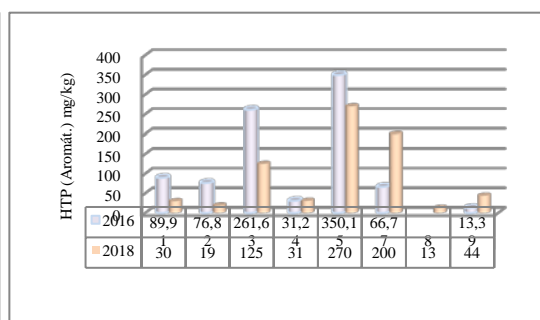
## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Bahía de Nuevitas, zona de influencia de la Terminal Marítima

Las figuras 2 y 3 representan gráficamente el contenido de hidrocarburos totales y aromáticos, los cuales son comparados con los obtenidos en el año 2016. Teniendo en cuenta que otros autores (Ponce-Vélez y col., 2000) han citado normas internacionales que establecen como límite permisible de hidrocarburos en sedimentos marinos de  $70\text{ mg/kg}$ , se obtuvo que en la mayoría de los puntos (1, 3, 4, 5 y 7) los valores sobrepasan este nivel de concentración, lo cual denota la existencia de aportes de hidrocarburos al medio marino.



**Figura 2.** Distribución de HC totales en la Bahía de Nuevitas (años 2016 y 2018)



**Figura 3.** Distribución de HC aromáticos en la Bahía de Nuevitas (años 2016 y 2018)

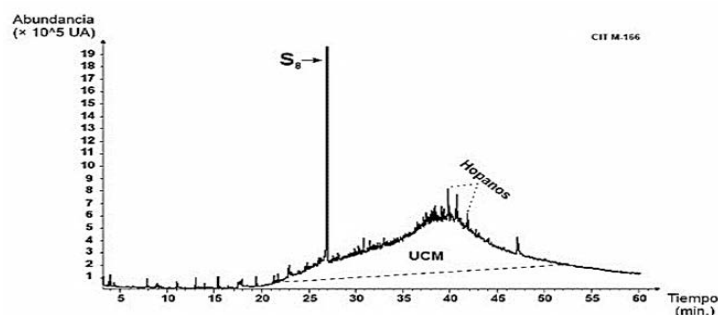
La media de los valores de hidrocarburos totales obtenidos para los años 2016 y 2018 (los que cumplen una distribución normalizada) en el ecosistema completo fue de  $439 \pm 351$  y  $454 \pm 319\text{ mg/kg}$  respectivamente, resultados significativos que ratifican lo planteado con anterioridad con un 95% de confianza, según las pruebas estadísticas realizadas.

En los puntos 3 y 7 se determinaron concentraciones de hidrocarburos elevadas, lo que

puede estar asociado a la incidencia de los aportes derivados de las operaciones de carga y descarga de combustible por vía marítima o debido a la acumulación en el tiempo de este contaminante por el escurrimiento de las aguas pluviales e infiltración de los residuales urbano e industriales de la zona. Los menores valores de concentración de hidrocarburos totales y aromáticos se encontraron en los puntos 2, 8 y 9 una de las cuales está asociada a un área de baño (9).

De manera general el sedimento marino de la zona manifiesta, con relación al año 2016, una tendencia al aumento o a mantener en el mismo orden los niveles de contaminación por hidrocarburos.

La figura 4 muestra de forma representativa el perfil característico de la corriente iónica total (CIT) de los hidrocarburos totales presente en los sedimentos de la zona, los cuales evidencian la presencia de contaminación por hidrocarburos del petróleo con alto grado de oxidación, lo que viene dado por la casi total ausencia de n-parafinas, el predominio de UCM (curva de mezcla de compuestos no resueltos) y la familia de los hopanos, siendo esto más marcado en las muestras provenientes de los puntos 1, 3, 4, 5 y 7. Los perfiles cromatográficos también revelan la existencia significativamente elevada de azufre ( $S_8$ ) en los sedimentos.



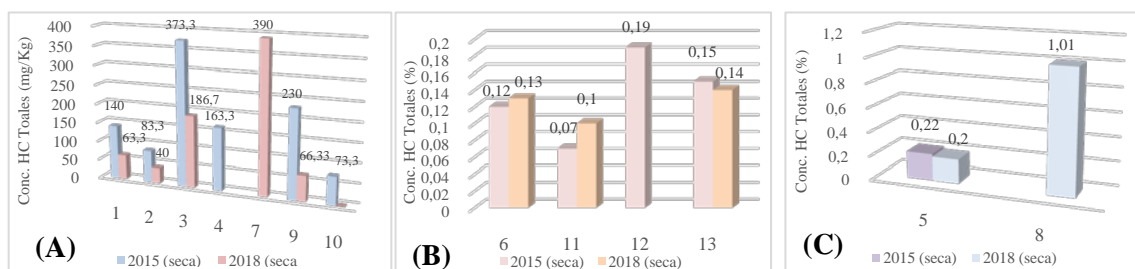
**Figura 4.** Perfil cromatográfico de los hidrocarburos. Bahía de Nuevititas, punto 7 (2018)

### 3.2. Bahía de Nipe, zona de influencia de la UEB Felton

En la figura 5 se representa gráficamente el contenido de hidrocarburos en la zona, los cuales fueron agrupados según el rango de concentración de este contaminante en el sedimento (figura 5A, 5B y 5C). En las mismas se aprecia que en las estaciones 5, 6, 7, 8, 11, 13 y 14 existe apreciable contenido de hidrocarburos. El valor máximo se alcanzó en el punto 8 (figura 5C), lo que puede estar asociado a que hace unos años atrás (2013) en esta zona se determinó un elevado grado de contaminación por petróleo (19,6 %) debido al aporte de un tramo de ducto fuera de servicio sumergido en ese lugar. A pesar de lo anterior y del poco intercambio que tiene esta zona con el mar abierto se pudo comprobar que existe una significativa disminución en la concentración de este contaminante (1,01 %) respecto al año 2013, lo cual apunta a la ausencia de nuevos aportes de hidrocarburos, así como la paulatina recuperación natural del medio marino costero afectado. De manera general, los sedimentos de la zona manifiestan una tendencia a la disminución de la contaminación por hidrocarburos con relación al 2015, aunque los valores medios de hidrocarburos totales del ecosistema completo en estos dos años se mantienen significativamente superiores a 70 mg/kg ( $\mu_{Nipe2015} = 778 \pm 530$  y  $\mu_{Nipe2018} = 645 \pm 516$  mg/kg), con un 95% de confianza.

En la figura 5A se denota que en las estaciones vinculadas a las actividades de recreación (2, 3, 9 y 10) existe una significativa disminución de la concentración de

hidrocarburos totales respecto a los obtenidos en el año 2015, así como se comprobó la ausencia de contaminación por hidrocarburos del petróleo en el punto 10.



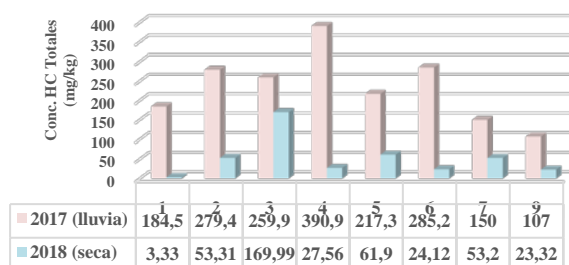
**Figura 5.** Distribución de HC presentes en sedimento marino. (A) valores de concentración expresados en mg/kg. (B) y (C), valores de concentración expresada en porcentaje (%)

En el análisis de la fracción aromática en los puntos 2, 3 y 10 se determinaron valores de concentración en el intervalo entre 6,0 y 14,0 mg/kg peso seco, los cuales se consideran aceptables si se tiene en cuenta que otros autores sugieren el valor de 5 mg/kg como límite permisible de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos y que en las directrices para evaluación de calidad de los sedimentos (NOAA, 2008) se establece el valor 16,8 mg/kg como nivel de efecto probable (*PEL- Probable Effect Level*), concentración sobre la cual se encuentran frecuentemente efectos biológicos adversos.

En los perfiles de la corriente iónica total (CIT) de los hidrocarburos presentes en la mayoría de los sedimentos de esta zona, se evidencia que existe la presencia de contaminación por hidrocarburos del petróleo con alto grado de degradación, con la excepción de los puntos 1, 2, 3 y 10, cuyos perfiles no mostraron la presencia de este contaminante.

### 3.3. Bahía de Matanzas, zona de influencia de la ECC Matanzas

La figura 6 exhibe gráficamente los niveles de concentración de hidrocarburos en los sedimentos y se compara con los resultados obtenidos en el año 2017 (período de intensas lluvias). El muestreo realizado en el 2018 denota que en las estaciones 2, 3, 5 y 7 existe el mayor contenido de hidrocarburos con un máximo en el punto 3, zona donde se realizan operaciones de carga y descarga de derivados del petróleo y que pueden llegar al mar e incorporarse al sedimento marino.



**Figura 6.** Distribución de hidrocarburos presentes en sedimento marino

En las zonas destinadas para el baño (puntos 7 y 9), tienen concentraciones de hidrocarburos que están dentro del rango reportado por otros autores (Beltrán y col., 2017) que han citado que los sedimentos de la Bahía de Matanzas presentan valores de concentración de hidrocarburos totales en el rango de 20 a 70 mg/kg, considerándola

como una bahía no contaminada. No obstante, la ubicación geográfica del punto 7 favorece la llegada de hidrocarburos al medio marino que proviene de varias fuentes, dentro de las cuales se encuentran las domésticas, industrial y la actividad marítimo-portuaria. Otros autores (Ponce-Vélez y col., 2000) han citado normas internacionales que establecen como valor límite permisible de hidrocarburos totales en sedimentos 70 mg/kg. En la mayoría de los puntos se determinaron concentraciones inferiores a 70 mg/kg en el año 2018, obteniéndose una media de  $35 \pm 20$  mg/kg, a diferencia del año 2017, cuyo valor medio de concentración de hidrocarburos totales fue de  $234 \pm 75$  mg/kg con un 95% de confianza. Los mayores valores de concentración de HTP-aromáticos se hallaron en los puntos 2, 3 y 5, con valores de 24,0; 35,0 y 19,0 mg/kg, respectivamente.

Los perfiles cromatográficos de los hidrocarburos presentes en el sedimento marino de los puntos 2, 3, 4, 5 y 7 mostraron indicios de la presencia de hidrocarburos del petróleo con alto grado de degradación, dado por la casi total ausencia de las n-parafinas y otros indicadores, lo que demuestra que la contaminación no es reciente.

En cuatro de las muestras analizadas se obtuvo un pico de máxima intensidad cuyo ión característico es el azufre (128 m/z), compuesto químico presente en el petróleo, pero también su presencia puede estar dada por la acumulación de ácido sulfhídrico en el fondo marino.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. Se constató que en algunas zonas de las tres bahías estudiadas existe el aporte de hidrocarburos que tienen su origen en el petróleo, demostrándose que la Bahía de Matanzas es la menos afectada por este tipo de contaminación.
2. Se manifiesta una tendencia a la disminución de los valores de concentración de hidrocarburos totales, respecto a los obtenidos en los estudios de años anteriores.

#### **REFERENCIAS**

- Beltrán, J., Pérez, M., Gómez, Y.; Regadera, R., Ruiz, F., Valdés, M., Quintana, H., Chabalina, L., Villasol, A., Sistema de monitoreo y estado ambiental de las principales bahías y puertos de Cuba., Memorias XI Convención Internacional sobre Medio Ambiente, P. de Convenciones, La Habana, Cuba, 2017, pp. 196-207.
- COI/UNESCO., Determinación de los hidrocarburos del petróleo en los sedimentos., Manuales y Guías 11, 1982, Paris, pp. 1-35.
- EPA 3540C., Soxhlet Extraction. Environmental Protection Agency., USA, 1996, pp. 1-8.
- IOC., Intergovernmental Oceanographic Commission., Determination of petroleum hydrocarbons in marine sediments, Manual and Guides No. 20, 1992.
- NOAA., Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs)., National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, 2008, pp. 1-34.
- Ponce-Vélez, G., Botello A.V., y Díaz, G., Evaluación integral de los hidrocarburos del petróleo en el Golfo de México., Resúmenes 5<sup>to</sup> Congreso de Ciencias del Mar Marcuba 2000, La Habana, Cuba, 2000.
- SiteLab UVF-3100., Operating Manual for all Sitelab Petroleum Hydrocarbon Applications., Sitelab Corporation, 2006, pp. 1-12.