



ASSESSMENT OF THE POLLUTION DEGREE BY PETROLEUM IN WATERS OF THE BAY OF SANTIAGO DE CUBA

EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR PETRÓLEO EN AGUAS DE LA BAHÍA DE SANTIAGO DE CUBA

Received 03 27 2017
Accepted 06 28 2017
Published 06 30 2017

Vol. 34, No.2, pp. 56-64, May./Jun. 2017
34(2), 56-64, May./Jun. 2017
Bolivian Journal of Chemistry

Full original article

Liliana Mesa Mesa^{1,*}, José Falcón Hernández²

¹Centro de Estudios Multidisciplinarios de Zonas Costeras, Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente, Av. de Las Américas s/n, phone +5322668084, Santiago de Cuba, Cuba, lili@uo.edu.cu

²Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Av. de Las Américas s/n, phone +5322640299, Santiago de Cuba, Cuba, falcon@uo.edu.cu

Keywords: Petroleum, Pollution, Bay, Water, Physical-Chemical Methods.

ABSTRACT

The bay of Santiago de Cuba is considered by stock market because of its configuration, which presents a narrow entrance channel that limits the renewal of its waters, favoring pollution processes. The main objective of the investigation is the determination of the presence of hydrocarbons in the bay water, using methods of physical-chemical analysis. For the development of the experimental part, samples of sea water were taken at selected points ("Guillermón Moncada" Port, "La Estrella" Beach and Oxidation Lagoon Zone of the "Hermanos Díaz" refinery). The methods of spectrophotometry and surface tension were applied. The obtained values were evaluated and compared with results of previous studies, demonstrating results of contamination by hydrocarbons in the study area.

*Corresponding author: lili@uo.edu.cu

RESUMEN

Spanish title: *Determinación de contaminación por Hidrocarburos en la bahía de Santiago de Cuba.* La bahía de Santiago de Cuba es considerada de bolsa por su configuración, la cual presenta un estrecho canal de entrada que limita la renovación de sus aguas, favoreciendo los procesos de contaminación. El objetivo principal de esta investigación es la determinación de la presencia de hidrocarburos en el agua de la bahía, utilizando métodos de análisis físico-químicos. Para el desarrollo de la parte experimental se tomaron muestras de agua de mar en puntos seleccionados de la misma (Puerto "Guillermón Moncada", Playa "La Estrella" y Zona de laguna de oxidación de la refinera "Hermanos Díaz"). Se aplicaron los métodos de espectrofotometría y tensión superficial. Fueron evaluados los valores obtenidos y se comparó con resultados de estudios precedentes, demostrándose resultados de contaminación por hidrocarburos en la zona de estudio.

INTRODUCCIÓN

Desde épocas remotas se tiene constancia de la existencia del petróleo, pero es en la sociedad actual en la que éste cobra una especial relevancia. Hoy en día el aumento de su consumo, debido fundamentalmente al crecimiento



demográfico, ha provocado que se dispare su producción, refinamiento y comercialización. En el presente existen fenómenos sociales, económicos y políticos en torno al hombre que han elevado la probabilidad de la ocurrencia de accidentes tecnológicos, y con ellos el derrame de hidrocarburos en el medio marino [1].

Los ecosistemas costeros constituyen uno de los principales recursos naturales de nuestro país y se encuentran asociados a más del 70 % del producto interno bruto nacional, fundamentalmente a actividades tales como el turismo, la industria pesquera y el transporte. Estas actividades son de vital importancia en la planificación estratégica de desarrollo nacional a corto, mediano o largo plazo. El rápido deterioro de los ecosistemas costeros debido al agotamiento de sus recursos de vida, la acidificación de los océanos, la creciente contaminación y erosión provocada por la acción antrópica, ha sido identificado con claridad por el gobierno cubano en el diagnóstico de la situación ambiental cubana [2].

Cuba, con características geográficas particulares posee amplias y diversas zonas costeras, entre las cuales se encuentran las bahías, las que generalmente son destinadas a diversos usos socio-económicos y que en la mayoría de los casos conlleva en mayor o menor medida a la introducción de contaminantes al ecosistema [3].

En particular, la franja costera de la Bahía de Santiago de Cuba, exhibe el deterioro de sus recursos naturales debido a la contaminación por hidrocarburos, lo que ha influido negativamente en los rendimientos pesqueros, la afluencia del turismo y el desarrollo de las comunidades costeras.

Existen diferentes métodos analíticos [4] que permiten estudiar este tipo de contaminación, entre los que se encuentran la cromatografía de gases, métodos de partición gravimétrica y métodos espectroscópicos infrarrojo y ultravioleta. Cada uno de ellos tiene ventajas y limitantes, de las que se pueden señalar, en el caso de los métodos instrumentales, el elevado costo del equipamiento y la necesidad de patrones de alta pureza de los hidrocarburos presentes en la contaminación. En la presente investigación se aplicaron los métodos de espectrofotometría y tensión superficial simultáneamente, y fueron comparados con estudios anteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

La contaminación provocada por los hidrocarburos mediante métodos de análisis físico-químicos, puede alcanzar gran complejidad, determinada por: la naturaleza del hidrocarburo, su acción en el medio, los métodos de análisis que se utilicen y la manera en que se empleen.

Localización y características de las estaciones de muestreo

Para realizar la base experimental se realizó la toma de muestras de agua de mar en tres puntos de la Bahía de Santiago de Cuba: el muelle del Puerto "Guillermón Moncada", muelle de la Refinería "Hermanos Díaz" y la playa "La Estrella". Estos puntos fueron seleccionados de acuerdo a su vulnerabilidad ante posibles derrames o fugas de hidrocarburos y la facilidad de acceso a los mismos.

Las muestras de agua de mar fueron tomadas durante tres días consecutivos, pues debían coincidir con los ensayos que se realizaron a escala de laboratorio, para corroborar el empleo de los siguientes métodos para la determinación de contaminación por hidrocarburos *in situ*. Para recolectar las muestras se utilizaron envases de plástico de 1,5 L de capacidad. Las muestras se tomaron a la misma hora todos los días, a diferentes profundidades y luego fueron trasladadas al laboratorio, según la metodología de la NC ISO 5667-3, 1994.

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon los siguientes métodos: espectrofotometría, tensión superficial y análisis estadístico.

Método de espectrofotometría

La determinación de la absorbancia en las muestras de agua tomadas en puntos seleccionados de la Bahía, se realizó según [5]. Se utilizaron tres probetas de 500 ml, para cada una de las muestras seleccionadas en los diferentes puntos de muestreo, a los que se realizó un seguimiento de tres días para establecer una comparación entre los resultados y a diferentes niveles de profundidad.

Para determinar la absorbancia se realizaron ensayos experimentales utilizando el espectrofotómetro ultravioleta (UV)-visible 2601, realizándose éstos en la región del espectro UV, en este caso se trabaja con la muestra de agua a



diferentes profundidades: 5 cm, a 10 cm y 20 cm, para esto se determinó la región de máxima absorción del espectro, denominada longitud de onda analítica, a las distintas profundidades, con un valor de 207nm.

Método de tensión superficial

La determinación de la tensión superficial, se realizó al igual que los ensayos de espectrofotometría, tomando muestras de aguas en los puntos seleccionados de la Bahía de Santiago de Cuba.

Para determinar la tensión superficial de las muestras de agua recolectadas, se utilizó el método de caída de peso y volumen, según [6] a partir del conteo de las gotas de agua reguladas por una bureta, y su posterior pesaje, escogiéndose para ello un número al azar de gotas, para un total de 10 corridas y 40 ensayos para cada uno de los puntos seleccionados.

Análisis estadístico

Para el desarrollo del análisis estadístico, se utilizó el programa profesional STATGRAPHICS. Centurion.XV.v15.2.14, con el cual se determinaron los valores medios más probables, haciendo una descripción de las muestras analizadas, obteniendo tablas resúmenes, las cuales incluyen medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del método espectrofotométrico

En la tabla 1 se muestra un resumen de los resultados de absorbancia y la longitud de onda analítica para cada punto de muestreo durante los 3 días, en el presente estudio.

Tabla 1. Resumen de resultados de absorbancia y la longitud de onda analítica

Prof. (cm)	Días	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
		% Abs	(nm)	% Abs	(nm)	% Abs	(nm)
5	1	1.955	204	1.965	207	1.912	205
	2	1.955	204	1.981	203	-	-
	3	1.953	205	1.899	205	-	-
10	1	1.955	204	1.985	203	1.192	205
	2	1.955	204	1.985	203	-	-
	3	1.953	205	1.912	205	-	-
20	1	1.950	204	2.151	203	2.088	205
	2	1.950	204	2.088	205	-	-
	3	1.962	205	1.909	207	-	-

Comparación de los valores de absorbancia con estudios precedentes y análisis estadístico.

En estudios anteriores [7], se utilizaron los mismos métodos empleados en esta investigación para determinar la presencia de hidrocarburos en acuatorios. La investigación fue sustentada en la simulación a escala de laboratorio, de un derrame de hidrocarburo en agua de mar, añadiendo diferentes concentraciones de los mismos (diesel y aceite de motor) y determinando los valores de absorbancia a diferentes profundidades. En esta investigación se realizó una comparación de los resultados del mismo método (a escala de laboratorio e *in situ*) a partir de los resultados obtenidos en este estudio, para corroborar que la puesta en práctica de los métodos propuestos, permite la determinación de la contaminación en puntos de la Bahía de Santiago de Cuba.

Resumen estadístico del método espectrofotométrico

Los valores de absorbancia obtenidos en esta investigación (en los puntos 1 y 2) que ofrecen valores significativos y los valores de absorbancia de los ensayos realizados a escala de laboratorio según Zambrano [7], fueron sometidos al



análisis estadístico mediante el programa STATGRAPHICS, obteniéndose las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. Ver tabla 2.

Tabla 2. Resumen estadístico de los valores de absorbancia para ambas investigaciones

	Absorbancia Punto 1	Absorbancia Punto 2	Absorbancia Diésel	Absorbancia Aceite Motor
Recuento	9	8	9	6
Promedio	1,98611	1,95325	0,793889	0,411667
Desviación Estándar	0,0844622	0,00218763	0,28693	0,178054
Coefficiente de Variación	4,25264%	0,111999%	36,1423%	43,2519%
Mínimo	1,899	1,95	0,44	0,247
Máximo	2,151	1,955	1,203	0,706
Rango	0,252	0,005	0,763	0,459
Sesgo Estandarizado	1,30821	-0,99264	0,423995	1,04435
Curtosis Estandarizada	0,327876	-0,576193	-0,976884	0,0114951

La siguiente tabla muestra el resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas en este caso, ninguna de las variables muestra valores de sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada fuera del rango esperado.

Para realizar la comparación de los valores de absorbancia obtenidos en la presente investigación con los resultados de la anterior, partimos de los valores expuestos en la tabla 1.2. Al analizar los valores de la tabla, podemos apreciar que los resultados de absorbancia fluctúan entre 0,247 y 2,151.

Los resultados de absorbancia obtenidos a escala de laboratorio para los hidrocarburos (Diesel y aceite de Motor) son menores a los obtenidos en los diferentes puntos de muestreo. Según la Ley de Beer Lambert [5] la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de la muestra (ecuación 1).

$$A = \epsilon bc \quad (1)$$

A: Absorbancia (%); ϵ : Coeficiente de extinción molar ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$);
 b: ancho de la cubeta (cm); c: Concentración de la muestra (mol/L)

A través de esta ecuación se calcula el valor de concentración, utilizando un valor de coeficiente de extinción molar ϵ igual a $10^{-4} L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$; siendo 1cm el valor del ancho de la cubeta y conociéndose además los resultados de absorbancia (A) tabulados anteriormente.

$$A = 10^{-4}(1)(c) \quad (1.1)$$

Despejando la misma se obtiene

$$c = A/10^{-4} \quad (1.2)$$

Los valores obtenidos de absorbancia y concentración para cada uno de los ensayos, con valores promedio representativos de cada muestra, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de concentración.

	Punto 1	Punto 2	Diesel	Aceite de Motor
Absorbancia (%)	1,98611	1,95325	0,793889	0,411667
Concentración (mol/L)	$1,98611 \times 10^{-5}$	$1,95325 \times 10^{-5}$	$0,793889 \times 10^{-5}$	$0,411667 \times 10^{-5}$

En se obtuvo los valores reportados en la bibliografía [7] agregando Diesel en cantidades de 2,5, 5 y 10 ml/L al agua de mar, valores de absorbancia y concentración que se muestran en la tabla 4. (Tomando la densidad del Diesel $0,846 \text{ g/cm}^3$).



Tabla 4. Valores de absorbancia y concentración, [7]

Absorbancia, %	Mililitros por litro	Gramos por litro
0,848	2,5	2,12
0,491	5	4,23
0,44	10	8,45

Ploteando estos valores de concentración y absorbancia, se obtiene la curva de la figura 1.

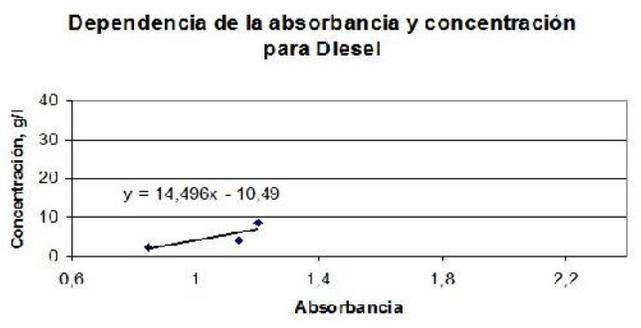


Figura 1. Absorbancia vs. concentración para Diesel

Para las mediciones realizadas en los puntos de muestreo, comparando los valores de absorbancia en función de la masa molar del Diesel (16 C y 34 H; Masa Molar (Mw) = 226 mol/L) se establece la dependencia entre masa molar y absorbancia que se muestra en la tabla 5, mostrándose en la figura 2 la ecuación que caracteriza la recta.

Tabla 5. Valores de absorbancia y concentración, [7]

Absorbancia (%)	Cantidad de sustancia (mol)
0,412	93
0,794	179
0,848	191
1,141	258
1,203	272
1,953	441
1,986	488

En ambos casos se observa similitud, incrementándose el coeficiente x, en relación a la figura 2, esto se observa a través de las siguientes relaciones $240,94/14,5 = 16,6$ y $12,384/10,49=1,18$.

Tabla 6. Valores de absorbancia y concentración recalculados

Absorbancia (%)	Concentración (g/L)
0,848	2,12
1,141	4,23
1,203	8,45
1,953	14,56
1,986	17,01



En el caso de los puntos 93 y 179 mol no se pueden tomar porque dan valores negativos, en cambio los 0,848; 1,141 y 1,203 tienen concentraciones conocidas y los valores de absorbancia de 1,953 y 1,986 son calculados considerando las relaciones precisadas anteriormente para las curvas, obteniéndose la tabla 6 (ver figura 3).

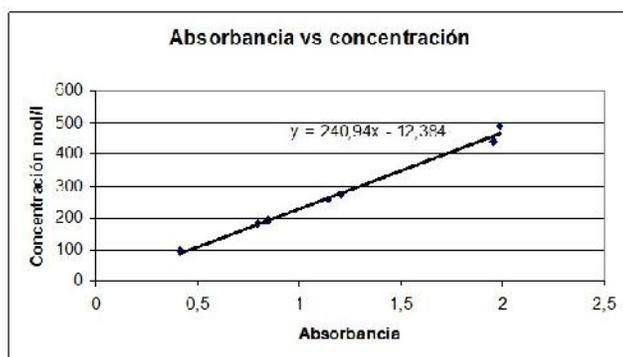


Figura 2. Absorbancia vs concentración

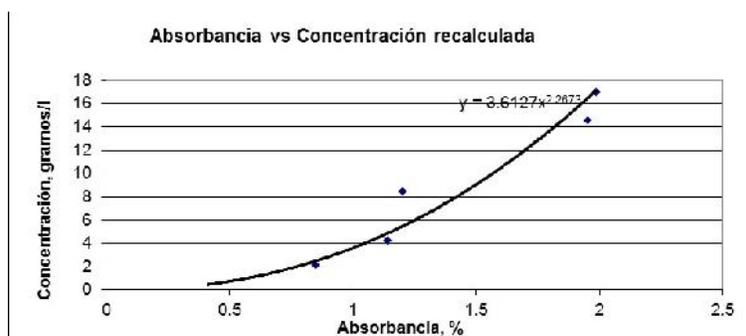


Figura 3. Absorbancia vs. concentración recalculados

En la figura 3 aparece la ecuación de correlación con valor de $R^2 = 0,9504$, que caracteriza la correspondencia entre los valores de concentración y absorbancia. La curva obtenida resulta aproximada ya que se determina considerando la masa molar para el Diesel y ésta cambiará para otros compuestos y para el propio petróleo crudo. Sin embargo, si se determina esta curva considerando la determinación másica del petróleo por otros métodos, o se “enseña a una red neuronal” con la misma, ello podrá ser empleado para determinar la contaminación por petróleo, mediante las técnicas propuestas en la presente investigación.

Resultados del método de tensión superficial

En este, caso no fue posible llevar a cabo la comparación de los resultados con estudios precedentes, por no haber medido la tensión superficial a las mismas condiciones de bureta, provocando grandes variaciones en los valores obtenidos de un estudio, respecto del otro. En las tablas 7, 8 y 9 se muestran los valores de tensión superficial correspondientes a los 3 puntos de muestreo.

Resumen estadístico del método de tensión superficial

La tabla 10 muestra el resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas en este caso, ninguna de las variables muestra valores de sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada fuera del rango esperado.

Al analizar los valores de la tabla 10, podemos apreciar que los resultados de tensión superficial oscilan entre 13,3929 y 95,915179 (dinas/cm).

El valor de la tensión superficial varía notoriamente según la naturaleza del líquido. Es el agua la que presenta el valor más elevado. Esta característica se relaciona con las fuertes interacciones que existen entre las moléculas de agua. Los números de mediciones fueron mayores que en estudios anteriores, con el objetivo de disminuir el grado de



error. El método arroja resultados para comprobar la presencia de hidrocarburos en agua de mar, pero para una mayor precisión sugerimos el empleo de un tensiómetro.

Tabla 7. Medición de tensión superficial (dinas/cm) en el Punto 1 de muestreo

No de experimentos	Corrida 1 TS (dinas/cm)	Corrida 2 TS (dinas/cm)	Corrida 3 TS (dinas/cm)	Corrida 4 TS (dinas/cm)
1	30.39	39.26	39.19	13.39
2	37.28	49.31	55.79	86.36
3	51.31	49.15	63.39	72.22
4	61.38	42.28	79.92	71.56
5	69.14	53.45	71.57	73.17
6	62.58	41.07	82.74	71.12
7	63.24	32.40	95.91	71.55
8	57.05	84.43	164.93	67.08
9	68.84	95.71	42.73	68.73
10	69.68	38.67	64.07	71.67

Tabla 8. Medición de tensión superficial (dinas/cm) en el Punto 2 de muestreo

No de experimentos	Corrida 1 TS (dinas/cm)	Corrida 2 TS (dinas/cm)	Corrida 3 TS (dinas/cm)	Corrida 4 TS (dinas/cm)
1	66.20	76.07	77.07	75.45
2	73.75	75.36	72.76	76.09
3	73.21	75.20	74.58	75.62
4	75.40	75.02	73.60	74.75
5	75.11	75	71.22	73.60
6	74.06	71.23	73.78	73.11
7	74.43	71.18	75.42	72.14
8	74.28	69.14	71.66	73.61
9	73.42	74.53	251.55	73.63
10	75.61	74.26	75.16	73.81

Tabla 9. Medición de tensión superficial (dinas/cm) en el Punto 3 de muestreo

No de experimentos	Corrida 1 TS (dinas/cm)	Corrida 2 TS (dinas/cm)	Corrida 3 TS (dinas/cm)	Corrida 4 TS (dinas/cm)
1	75.71	73.14	70.78	71.14
2	75.45	73.41	69.64	78.53
3	96.78	73.19	70.12	60.03
4	82.08	71.84	68.62	71.14
5	61.75	73.06	69.64	71.33
6	65.89	72.70	70.20	70.82
7	88.50	70.98	70.16	69.73
8	55.56	74.11	70.21	67.76
9	81.10	72.05	63.51	70.59
10	45.63	71.76	69.18	69.11

Comparación de los resultados obtenidos por ambos métodos.

Una vez obtenidos todos los resultados de los métodos físico-químicos empleados en la investigación, procedemos a realizar un último análisis de interacción entre éstos. En la tabla 11 se exponen los valores promedios obtenidos en cada punto de muestreo y para cada método aplicado.



Tabla 10. Resumen estadístico de los valores de tensión superficial

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Recuento	40	38	37
Promedio	59,1823	74,1571	71,6649
Desviación Estándar	0,190665	0,0141724	0,0402406
Coefficiente de Variación (%)	32,2166	1,91113	5,61511
Mínimo	13,3929	71,1786	61,75
Máximo	95,9152	77,0779	82,0833
Rango	Puerto	Estrella	Refinería
	0,825223	0,0589935	0,203333
Sesgo Estandarizado	-0,50484	-1,2263	0,778944
Curtosis Estandarizada	-0,55618	-0,021584	1,9444

Tabla 11. Resumen de los valores promedios para ambos métodos.

Lugar de muestreo	Absorbancia %	Tensión Superficial (dinas/cm)
Punto 1	1,954	63.1
Punto 2	1,982	74.3
Punto 3	1,971	70.9

En esta tabla se muestran los valores utilizados para la construcción de la figura 4.

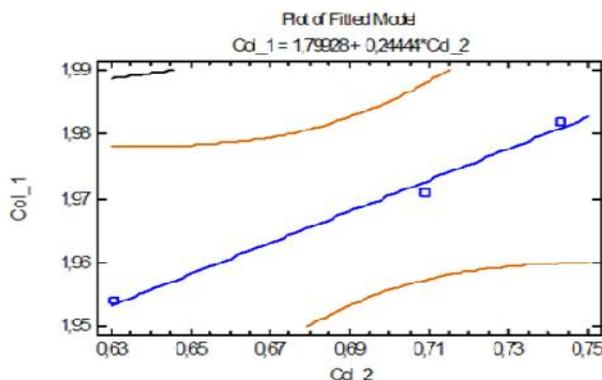


Figura 4. Correlación entre los valores de absorbancia y de tensión superficial

Utilizando la figura de correlación entre los valores de absorbancia y los de tensión superficial, se obtiene el modelo lineal que describe la relación que existe entre ambas magnitudes, la ecuación del modelo es:

$$\text{Col}_1 = 1,79928 + 0,24444 * \text{Col}_2 \quad (3.1)$$

Col_1: Valores de absorbancia; Col_2: Valores de tensión superficial.

En la tabla 12 aparece el análisis estadístico con el paquete ó software ANOVA

Tabla 12. Resultados tabla ANOVA.

	Suma de cuadrado	Fuente	Mean Square	F-Relación	P-Valor
Modelo	0,000394037	1	0,000394037	99,43	0,0636
Residual	0,0000039628	1	0,0000039628		
Total (Corr.)	0,000398	2			



En vista de que el valor de probabilidad (P) es mayor que 0,05 la relación entre columna 1 y 2 no es el nivel de confianza significativamente estadístico, este debe ser al menos de un 95%. La raíz cuadrada indica que el modelo se ajusta con un 99,0043% de la variabilidad en la columna 1. El coeficiente de correlación es igual a 0,995009, lo cual indica que existe una fuerte relación entre las variables. El error estándar, fue estimado siendo 0,00199068, por lo que se puede usar este método para la predicción del comportamiento de variables en nuevas investigaciones.

El modelo obtenido estadísticamente, al analizar los resultados de ambos métodos es confiable e indica que los valores son directamente proporcionales.

Lo anterior resulta importante para el control en un caso de derrame confinado, como el que ocurre de manera sistemática en la Bahía de Santiago de Cuba, en correspondencia con las fuentes aportadoras, que se señalan en el presente y anteriores trabajos. La selección de puntos o zonas para el control y la reiteración de mediciones en los mismos, pueden dar lugar al establecimiento, por ejemplo, de una red neuronal de base, que al realizar el control indique de inmediato la presencia del derrame y su posible característica. La facilidad y bajo costo del tipo de ensayos seleccionados le brinda mayores posibilidades y la obtención de resultados estadísticamente avalados.

CONCLUSIONES

Aplicando los métodos físico-químicos de esta investigación se determinó el % de absorbancia y la tensión superficial de las muestras tomadas; con el objetivo de comprobar la presencia de hidrocarburos en el agua de la Bahía, y se demostró que estos métodos son aplicables.

En relación a estudios anteriores, en cuanto a la medición de la absorbancia, combinando los valores registrados con una concentración conocida se observó una dependencia directamente proporcional, con lo que puede determinarse valores de contaminación de muestras de agua de la Bahía de Santiago de Cuba.

Utilizando el programa STATGRAFICS.Centurion.XV.v15.2.14 se observó que el modelo matemático obtenido estadísticamente al analizar los resultados de ambos métodos es confiable, con un coeficiente de correlación igual a 0,995009, que indica la existencia de una fuerte relación entre la tensión superficial y la absorbancia.

Se demostró que la medición de la tensión superficial se encuentra directamente relacionada con los valores de absorbancia, por lo que también puede ser utilizada como un segundo método para determinar la presencia de hidrocarburos en el de mar.

REFERENCIAS

1. Liu, Y., Macfadyen, A., Ji, Z.-G. y Weisberg, R. H. **2011**. Introduction to Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill, in Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise; American Geophysical Union, Washington, D. C.; Print ISBN: 9780875904856, Online ISBN: 9781118666753.
2. Peña, I. M. *et al*, **2014**, Desarrollo y aplicación de metodologías para la evaluación de la contaminación ambiental por metales en sedimentos marinos de la Bahía de Cienfuegos. Revista Anales de la academia de Ciencias de Cuba, 4, (2).
3. Ruiz, F., Pérez, M., Beltrán, J., Mancebo, H., Regadera, R., Martín, A., Ramirez, M. y Solar, F., **2008**, Estado actual de la calidad ambiental de la bahía de Matanzas y su evolución en el tiempo. Revista Investigaciones Marinas, 29 (1): 13-22.
4. Serviche, S. C., Castillo, B. M., Herrera F. J., Acevedo, B. R., **2013**, Evaluación analítica para la determinación de hidrocarburos totales en aguas por espectroscopia infrarroja. Revista boliviana de Química, 30, (2) ,146-152.
5. Arenas, S. I. & López, S. J., **2004**, Espectrofotometría de absorción. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Cuernavaca, Mor. Junio de 2004.
6. Carrera, M. C. A. I, Romero, M., Villegas, M. L., y Gonzo, E. E. **2013**. Obtención de la tensión superficial mediante el método de du nouy y el método de la gota pendiente, AAIQ Asociación Argentina de Ingenieros Químicos – CSPQ, VII CAIQ y 2das JASP.
7. Zambrano, T. V., **2015**. Ensayos de monitoreo de los derrames de hidrocarburos en la Bahía de Santiago de Cuba. Tesis de pregrado para obtener el título de ingeniero químico, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente. Cuba