

Caracterización y evaluación de los residuales líquidos de la Refinería “Camilo Cienfuegos”, Cuba

*Characterization and Evaluation of Liquid Residuals from Refinery
“Camilo Cienfuegos”, Cuba*

Dra. C. Rita Y. Sibello-Hernández^I, MSc. Dismey Sosa-Rodríguez^I, Dr. C. Augusto Comas-González^I, Ing. Maricela Rodríguez-Alayón^{II}, Ing. Angel Rodríguez-Quesada^{II}, Ing. José Raúl Rodríguez-Álvarez^{II}

rita@ceac.cu, dismey@ceac.cu, augusto@gestion.ceac.cu, mralayon@cuvempetrol.cu

^ICentro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba; ^{II}Refinería “Camilo Cienfuegos”

Recibido: 8 de octubre de 2015

Aprobado: 2 de febrero de 2016

Resumen

La industria petrolera en la provincia de Cienfuegos está representada por la Refinería “Camilo Cienfuegos” la cual presupone un riesgo potencial de contaminación y de degradación del aire, agua y suelo, ya sea por derrames accidentales o por la emisión al medio de sus desechos, clasificados como peligrosos. Por eso es necesario el establecimiento de programas de monitoreo continuo, la evaluación de los resultados y la actuación para disminuir o eliminar los riesgos y daños. Con este objetivo se monitorearon los residuales líquidos en el último eslabón de la Planta de Tratamiento de Residuales de la Refinería, constituido por una piscina biológica y también en el registro de salida de los residuales, previo a su vertimiento a la bahía de Cienfuegos. Se midieron los principales parámetros de contaminación y los resultados se evaluaron según la Norma Cubana NC 521: 2007 “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones”.

Palabras claves: contaminación, industrias petroleras, residuales, Cuba.

Abstract

Petroleum industry in Cienfuegos province is represented by “Camilo Cienfuegos” Refinery. It is a potential contamination and degradation risk of air, water and soil, whether for accidental discharges or for the emission of its dangerous residuals to the environment. For this reason, it is necessary to establish environmental continue monitoring programs, to evaluate the derived results, and to take the appropriate actions to eliminate or to reduce the risks and damages. The objective of this research was to evaluate the liquid residuals in the biologic oxidative pool, the last stage of the Residual Treatment Plant of the Refinery, and also in the last control point previous to the discharge of the residuals to Cienfuegos’ bay. The main contamination parameters were measured and evaluated according to the Cuban norm: NC 521:2007. Water Wastes Discharges to the Coastal Zone and to Marine Waters.

Keywords: contamination, petroleum industry, residuals, Cuba.

Introducción

En la provincia de Cienfuegos, Cuba, uno de los ecosistemas más vulnerables a la contaminación pudiera ser la bahía, donde se vierten los residuales de la Refinería “Camilo Cienfuegos” después de haber sido procesados en la planta de tratamiento para este fin. La dirección técnica de esta industria, comprometida con el cuidado del medio ambiente, ejecuta un monitoreo mensual en la Planta de Tratamiento de los Residuales (PTR). El último eslabón de esta planta lo constituye la Piscina Biológica T – 125/3. Estas lagunas biológicas utilizadas como instalaciones clarificadoras de residuales de las refinerías de petróleo no son más que lagunas de estabilización facultativas donde la materia orgánica biodegradable es transformada por la acción de complejas comunidades de microorganismos, principalmente de bacterias, cianobacterias y microalgas. El objetivo de esta investigación fue la caracterización y la evaluación de diferentes parámetros físico-químicos y biológicos de los residuales en la T – 125/3, para conocer sobre el funcionamiento de la misma y el cumplimiento de la NC 521: 2007 “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones”.

Materiales y métodos

Muestreo

Se establecieron cinco puntos de monitoreo en la Piscina Biológica T – 125/3: un punto en cada esquina, a diez metros aproximadamente desde los bordes de la piscina y uno en el centro. En cada uno de ellos se recolectaron muestras de agua superficial (residual tratado), a 20 cm de profundidad. Además, se tomó una muestra compuesta de agua en el registro de salida de la piscina (figura 1). Las muestras simples que formaron la muestra compuesta fueron tomadas cada una hora por un intervalo de tres horas aproximadamente.

Para el análisis de la composición y abundancia relativa de las microalgas se tomaron, en frascos plásticos, 500 mL de agua a una profundidad de 20 cm, tanto a la entrada como a la salida de la piscina, lo que posibilita conocer si ocurren procesos de oxidación de materia orgánica, así como remoción tanto de esta como de nutrientes.

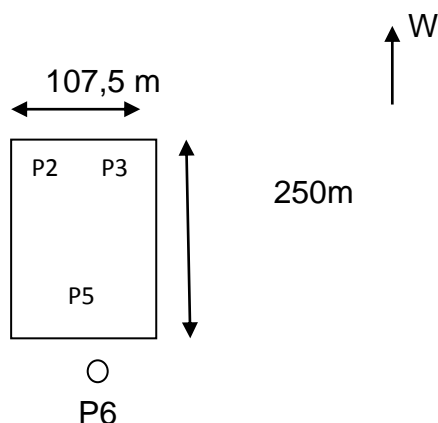


Figura 1. Diagrama de la ubicación de los puntos de muestreo en la T – 125/3 y en el registro de salida de la piscina (P6)

En cada punto de muestreo ubicado en la T – 125/3, se tomaron también muestras superficiales de lodo (5 muestras de lodo en total), con el uso de una draga.

Las muestras para el análisis biológico (coliformes) fueron muestras instantáneas, una por punto, seis en total, que se recogieron próximo al momento de retorno al laboratorio, garantizando el estado adecuado de estas muestras.

Ensayos

Para evaluar el funcionamiento del sistema de tratamiento de los residuales de la refinería y, especialmente de la piscina biológica, se tuvieron en cuenta los parámetros generales de contaminación y otros de importancia para este tipo de industria tales como concentración de sulfuros e índice de fenol. En la tabla 1 se exponen los análisis realizados en el Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) del Centro de Estudios Ambientales (CEAC) y los métodos usados.

TABLA 1. ENSAYOS REALIZADOS Y MÉTODOS USADOS

Ensayo	Método
pH*	Potenciométrico (in situ)
Temperatura	Termopares (in situ)
Conductividad *	Potenciométrico (in situ)
Turbidez	Disco Secchi (%) y turbidimétrico (NTU)
Sólidos sedimentables *	Cono Imhoff
Sólidos en suspensión	Gravimétrico
DBO ₅ *	Winkler. Dilución
DQO*	Dicromato con reflujo cerrado
Oxígeno Disuelto*	Winkler
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)*	Espectrofotométrico. Indofenol azul
Nitrógeno de nitrito (N-NO ₂)*	Espectrofotométrico. Diazotación con Sulfanilamida
Nitrógeno de nitrato (N-NO ₃)*	Espectrofotométrico. Reducción con Hidracina

Ortofosfato (P-PO ₄) *	Espectrofotométrico. Reducción con ácido ascórbico
Sulfuros	Titulación Yodométrica
Grasas y aceites	Gravimétrico
Hidrocarburos totales del petróleo	Gravimétrico
Fenoles*	Espectrofotométrico
Coliformes fecales y totales	Fermentación por tubos múltiples
Metales(Cd,Pb,Cu,Cr,Fe,Mn,Zn,V,Ni,As)	Espectrofotometría de Absorción Atómica

Para determinar la composición y la abundancia de las microalgas en las muestras, estas se analizaron mediante un microscopio Laborlux, Leica, Leitz en campo claro y contraste de fase.

Los valores de los parámetros analizados en los residuales recolectados en el punto P6 (Registro de Salida de la PTR) se compararon con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para las descargas de aguas residuales a la zona costera, establecidos en la Norma Cubana NC 521: 2007 “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones”, que regula el vertimiento de residuales líquidos a la zona costera y aguas marinas, reconociendo al cuerpo receptor dentro de la Clase A, de dicha norma.

Resultados

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en las muestras de agua (residuales tratados) de la Piscina Biológica T – 125/3. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros para las descargas, medidos en los residuales al final del proceso de tratamiento, en el Registro de Salida de la Piscina Biológica T – 125/3 (P6) y se comparan con los Límites Máximos Permisibles para las descargas de aguas residuales a la zona costera, clasificando al cuerpo receptor marino como Clase A, establecidos en la Norma Cubana NC 521: 2007.

TABLA 2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DE LA PISCINA BIOLÓGICA T – 125/3

Parámetro	P1	P2	P3	P4	P5	Xm ± U
pH * (U de pH)	8,80±0,070	8,91±0,071	8,88±0,071	8,86±0,071	8,91±0,071	8,87±0,032
Temperatura (0C)	25,3 ± 0,02	27,3± 0,02	26,2±0,02	26,2±0,02	27,2±0,02	26,44±0,008
Conductividad eléctrica*	1749±35	1782±35	1780±35	1771±35	1771±35	1771±16

Caracterización y evaluación de los residuales líquidos de la Refinería
"Camilo Cienfuegos", Cuba

($\mu\text{S}/\text{cm}$)						
Turbidez (%)	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16
Sólidos sedimentables* (ml/L)	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Sólidos Suspendidos (mg/L)	20,0 \pm 4,0	23,0 \pm 4,6	21,7 \pm 4,3	26,4 \pm 5,3	43,5 \pm 8,7	26,9 \pm 2,5
DBO5* (mg/L)	30,0 \pm 9,6	15,0 \pm 4,8	25,0 \pm 8,0	15,0 \pm 4,8	25,0 \pm 8,0	22,0 \pm 3,3
DQO* (mg/L)	144 \pm 26	136 \pm 24	148 \pm 27	148 \pm 27	152 \pm 27	146 \pm 12
Oxígeno disuelto* (mg/L)	0,72 \pm 0,12	3,91 \pm 0,12	2,97 \pm 0,12	3,77 \pm 0,12	3,12 \pm 0,12	2,90 \pm 0,05
N-NH4* (mg/L)	0,427 \pm 0,080	<LC	<LC	<LC	<LC	0,427 \pm 0,080
N-NO2* (mg/L)	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
N-NO3* (mg/L)	0,0271 \pm 0,0039	0,0290 \pm 0,0042	0,0305 \pm 0,0044	0,0338 \pm 0,0049	0,0285 \pm 0,0041	0,02978 \pm 0,0019
P-PO4* (mg/L)	0,0739 \pm 0,0028	<LC	0,0472 \pm 0,0056	<LC	<LC	0,0606 \pm 0,0031
Sulfuro Total (mg/L)	1,04 \pm 0,21	0,94 \pm 0,19	0,98 \pm 0,20	0,84 \pm 0,17	0,460 \pm 0,092	0,852 \pm 0,079
Grasas y Aceites (mg/L)	14,4 \pm 3,3	11,6 \pm 2,6	7,3 \pm 1,7	6,6 \pm 1,5	9,5 \pm 2,2	9,9 \pm 1,0
Parámetro	P1	P2	P3	P4	P5	Xm \pm U
Hidrocarburos Totales (mg/L)	3,0 \pm 1,2	3,6 \pm 1,4	4,6 \pm 1,9	4,3 \pm 1,7	4,9 \pm 1,9	4,1 \pm 0,7
Índice de Fenol* (mg/L)	0,283 \pm 0,022	0,487 \pm 0,045	0,462 \pm 0,043	0,482 \pm 0,045	0,283 \pm 0,026	0,399 \pm 0,017

Cu (mg/L)	0,0216±0,00 77	0,0097±0,00 34	<0,0075	<0,0075	0,045±0,016	0,025±0,006
Zn (mg/L)	0,137±0,038	0,106±0,029	0,106±0,029	0,102±0,028	0,114±0,031	0,113±0,006
Fe (mg/L)	0,53±0,16	0,43±0,13	0,172±0,052	0,132±0,039	0,195±0,059	0,292±0,045
Mn (mg/L)	0,0178±0,00 15	0,0174±0,00 14	0,0160±0,00 13	0,0126±0,00 10	0,0132±0,00 11	0,0154±0,00 06
Pb (mg/L)	0,0651±0,00 66	0,0316±0,00 32	0,0410±0,00 42	0,0290±0,00 30	<0,0275	0,0417±0,00 08
Ni (mg/L)	0,064±0,019	0,078±0,023	0,067±0,020	0,053±0,016	0,053±0,016	0,063±0,008
Cd (mg/L)	<0,0125	<0,0125	<0,0125	<0,0125	<0,0125	<0,0125
Cr (mg/L)	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021
V* (mg/L)	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028
Coliformes fecales *NMP/100 ml (Límites de confianza para un 95% de probabilidad)	170 (50-480)	500 (100-2000)	240 (160-940)	500 100-2000	170 50-480	
Coliformes totales *NMP/100 ml (Límites de confianza para un 95% de probabilidad)	1600 (300-5300)	1600 (300-5300)	300 (100-1300)	900 (200-2900)	300 (100-1300)	

TABLA 3. VALORES DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LA MUESTRAS DE RESIDUALES TRATADOS RECOLECTADOS EN EL REGISTRO DE SALIDA DE LA PISCINA BIOLÓGICA T – 125/3 (P6) Y LMP PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LA ZONA COSTERA (CLASE A DEL CUERPO RECEPTOR MARINO)

Parámetro	pH* (U de pH)	Temperatura (°C)	Cond. eléctrica* (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Sólidos sedimentables* (mL/L)	Sólidos Suspendidos (mg/L)
P6	8,76±0,070	25,6±0,02	1737±35	13,1±2,7	<0,2	29,0 ±5,8
	8,85±0,071	26,3±0,02	1760±35			
	8,88±0,071	27,5±0,02	1770±35			
LMP	5,5-9,0	40	–	–	5	30
Parámetro	DBO ₅ * (mg/L)	DQO* (mg/L)	Oxígeno disuelto* (mg/L)	N-NH ₄ * (mg/L)	N-NO ₂ * (mg/L)	N-NO ₃ * (mg/L)
P6	25,0±8,0	136±24	5,87±0,12	<0,0082	<0,2	0,0357±0,0052
LMP	30	75	–	–	–	–
Parámetro	P-PO ₄ * (mg/L)	Sulfuro Total (mg/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	Hidrocarburos Totales (mg/L)	Índice de Fenol* (mg/L)	Colifor. fecales (NMP/100mL)
P6	0,0739±0,0088	1,94±0,39	7,5±1,7	4,6±1,8	0,303±0,028	900 (200-2900) ¹
LMP	–	–	15	5	0,500	200
Parámetro	Coliformes totales (NMP/100ml)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cd (mg/L)
P6	≥1600 (600) ¹	0,0094±0,0034	0,132±0,036	0,248±0,074	0,0351±0,0029	<0,0125
LMP	–	1,000	4,000	5,000	–	0,05
Parámetro	Pb (mg/L)	Cr (total) (mg/L)	V (mg/L)	Ni (mg/L)		
P6	0,0318± 0,0032	<0,021	<0,0028	0,053± 0,016		
LMP	0,100	2,500	–	2,000		

¹(Límites de confianza para un 95% de probabilidad)

* Ensayos acreditados por la ISO 17025

Comparando los valores de los parámetros estudiados en la Piscina Biológica T -125/3 (tabla 2) con los valores determinados en el registro de salida (P6) (tabla 3), se constata que no existen diferencias significativas; sin embargo, para el oxígeno disuelto se obtuvieron valores ligeramente superiores a la salida de la piscina con respecto al valor promedio de estos parámetros obtenidos dentro de la piscina. Esto pudiera ser porque en el registro de salida están dadas las condiciones para que se produzca la aeración del residual, favoreciendo de esta forma las características del residual que será vertido. En la mayoría de los casos los valores de todos los parámetros estudiados estuvieron en el mismo orden de magnitud, tanto dentro de la piscina, como en el registro de salida de la piscina.

Para las Grasas y Aceites el valor determinado a la salida de la piscina resultó inferior al valor promedio determinado dentro de la piscina. Esta ligera disminución sugiere la degradación de los hidrocarburos por la población microbiana existente en la piscina. Los valores obtenidos de este parámetro en los residuales están por debajo de los LMP,

establecidos en [1], clasificando a la Bahía de Cienfuegos como Cuerpo Receptor Clase A.

El coeficiente de degradación biológica DBO_5 /DQO determinado en la piscina, y en el registro de salida de la piscina, fue de 0,15 y 0,18 respectivamente. Este valor indicó que la materia orgánica es mayormente no biodegradable, así como la presencia de compuestos inorgánicos [2].

Los valores de DBO_5 , estuvieron por debajo de los LMP, sin embargo, los valores de DQO prácticamente duplican el LMP normado (75 mg/L), lo cual es indicativo de una masa orgánica contaminante significativa.

La DQO es siempre superior al valor de la DBO_5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente, y su contenido es de materia orgánica: de carbohidratos, proteínas, grasas e inorgánicos (hierro ferroso, nitritos, amonio, sulfuros y cloruros).

La temperatura y los pH medidos en estos residuales están por debajo de los LMP, sin embargo, hay que señalar que los valores de pH están muy próximos al límite superior del rango establecido en [1], que es 9. Por la temperatura medida se puede afirmar que no hay contaminación desde el punto de vista térmico; mientras que los valores de pH indican que el medio es alcalino.

Los altos valores de la conductividad eléctrica indican que hay una concentración considerable de electrolitos en los residuales analizados.

Los valores de hidrocarburos totales cumplen la normativa referida, pero en el registro de salida de los residuales el valor determinado ($4,6 \pm 1,8$ mg/L) está próximo al LMP respectivo que es 5 mg/L.

Los sólidos sedimentables están en concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método utilizado, es decir, inferiores a 0,2 mL/L y no sobrepasan el LMP de la NC. Los sólidos suspendidos con excepción del punto 5 dentro de la piscina, no sobrepasan el LMP, pero en el registro de salida el valor determinado $29,0 \pm 5,8$ mg/L, está muy próximo al LMP (30 mg/L).

Los valores de nitrógeno en las formas de NH_4^{+1} , NO_2^{-1} y NO_3^{-1} fueron bajos, en la mayoría de los casos inferiores a los Límites de Cuantificación de los métodos utilizados, 0,0086 mg/L y a 0,0002 mg/L para las dos primeras especies respectivamente, para el caso de la forma nitrato se pudo cuantificar, pero siempre

valores bajos. Esto indica que estas formas de nitrógeno en la piscina no sobrepasa el Límite Máximo Permisible establecido en /1/ (10mg/L).

Asimismo, los valores de PO_4^{3-} determinados también fueron bajos, en algunos casos menores que el límite de cuantificación (0,0092 mg/L).

En el momento del muestreo las aguas residuales de la piscina presentaban un color pardo rojizo, relacionado, posiblemente, con los altos valores de sólidos suspendidos, influyendo negativamente en la transparencia del cuerpo de agua y siendo sinónimo de contaminación. La turbidez determinada dentro de la piscina fue de 13,6 %. La escasa penetración de la luz solar y una poca oxigenación inciden para que los procesos de oxidación no sean favorecidos [3].

En todos los casos los valores de coliformes fecales determinados fueron altos, muy próximos al valor establecido en [1] como LMP 200 (NMP/100mL) y, específicamente, en el registro de salida de los residuales está muy por encima de este límite.

Las concentraciones determinadas de los metales (cadmio, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc) en todos los puntos monitoreados fueron bajas y nunca superaron los valores normados en [1].

Un resultado significativo de alerta lo es también los valores obtenidos del índice de fenol, muy próximos a 0,5 mg/L, que es el Límite Máximo Permisible para este parámetro.

Las sustancias fenólicas forman parte de los "compuestos refractarios", que se degradan muy poco en los sistemas convencionales de aguas residuales y pueden inhibir el crecimiento biológico. La adsorción sobre carbón activado se usa ampliamente para eliminar estos contaminantes [4].

A continuación, en la tabla 4, se presentan los resultados obtenidos de los metales medidos en los lodos de la piscina biológica.

El conocimiento de los tenores de metales en los lodos de la piscina es importante para decidir sobre su disposición final. Para tener una referencia se compararon estas concentraciones de metales en los lodos estudiados con las concentraciones determinadas en suelos no contaminados de la provincia de Cienfuegos (Ni, Pb, Fe, Mn, V y Cr) [5].

TABLA 4. CONCENTRACIONES DE METALES EN LOS LODOS DE LA PISCINA BIOLÓGICA

Parámetro	P1	P2	P3	P4	P5	$\bar{X}_m \pm U$
Cu* (mg/kg)	48±14	69±20	42±13	62±18	42±13	53±7
Zn* (mg/kg)	460±160	1400±500	710±250	1030±370	850±300	890±150
Ni* (mg/kg)	45±16	42±15	49±18	54±19	48±17	48±8
Pb* (mg/kg)	50±18	58±20	46±16	49±17	46±16	50±8
Cd* (mg/kg)	4,1±1,2	4,4±1,3	4,1±1,2	4,4±1,3	4,3±1,3	4,3±0,6
Cr (mg/kg)	17,6±1,1	35,6±2,4	16,3±1,1	24,0±1,6	11,40±0,74	20,98±0,67
Fe (%)	0,67±0,13	0,87±0,17	1,26±0,26	1,08±0,22	0,77±0,15	0,93±0,08
Mn (mg/kg)	456±92	446±90	342±68	470±94	438±88	430±39
V* (mg/kg)	189±12	152,5±9,9	178±12	178±12	155±10	170±5
As* (mg/kg)	0,39±0,11	0,72±0,20	1,05±0,29	1,59±0,45	1,59±0,45	1,07±0,15

Se puede afirmar que para el Ni, el Fe, el Mn y el Cr las concentraciones en los lodos de la piscina están en el mismo orden o por debajo de las concentraciones determinadas en los suelos de la provincia de Cienfuegos. Sin embargo, para el Pb y el V las concentraciones en los lodos son ligeramente superiores a las determinadas en los suelos cienfuegueros. En cambio, con respecto a los valores reportados para todos los suelos del mundo, aún están en el rango natural. Asimismo, el valor determinado de As en los lodos de la piscina está en el intervalo reportado como concentración natural de los suelos del mundo [6].

Las concentraciones de Zn y Cd sí están muy por encima de las concentraciones reportadas como naturales para los suelos del planeta [6].

Evaluación biológica

Las muestras observadas al microscopio mostraron una total ausencia de cianobacterias y microalgas, por tanto, la laguna no está funcionando eficientemente. La ausencia de estos microorganismos autótrofos puede estar relacionada con la turbidez provocada por la acumulación de sulfuros que, además de impedir la penetración de la luz solar para la fotosíntesis, son altamente tóxicos para estos microorganismos. Al parecer, la oxidación de los sulfuros a azufre elemental realizada por las tiobacterias no tiene lugar en esta laguna.

Los resultados físico-químicos obtenidos se corresponden con una zona aeróbica casi ausente. Como un real indicador del funcionamiento de laguna de estabilización, esta debe presentar una flora microalgal que contribuya al balance de oxígeno y a la remoción de la concentración de nutrientes, especialmente del nitrógeno y el fósforo inorgánicos causantes de la elevación de la eutrofia en los receptores de estos residuales.

Conclusiones

Según el estudio realizado, se constató que los valores de: pH, hidrocarburos totales del petróleo, sólidos suspendidos e índice de fenol, no sobrepasan los Límites Máximos Permisibles para las Descargas de Aguas Residuales a la Zona Costera y a los Cuerpos Receptores Marinos, establecidos en la NC 521: 2007. En el caso de los valores de coliformes fecales y de DQO se encontraron valores por encima de los límites establecidos en la NC.

De la determinación de las concentraciones de los metales presentes en los lodos de la piscina se puede afirmar que los metales determinados están en el mismo rango de magnitud que los reportados como concentraciones naturales para los suelos del planeta, con excepción del Zn y el Cd que superan estos valores: (17-125) mg/kg y (0,01-2,5) mg/kg, respectivamente. Esta comparación se ha realizado con la intención de “visualizar” las concentraciones existentes. Los resultados de esta investigación permitirán a la dirección de la refinería tomar acciones oportunas en beneficio del medio ambiente.

Referencias bibliográficas

1. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Norma cubana NC. 521: *Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas, Especificaciones*, Ciudad de la Habana, 2007, 14 p.
2. MAIER, R.; PIPPER, I.; GERBA, Ch., *Environmental Microbiology*, Ed. Academic Press, NY USA, 2000, 585 págs.
3. PÉREZ, N.; MARAÑÓN, A.; BERMÚDEZ, R. C.; AGUILERA, I.; CUMBÁ, F.; ABALOS, A., “Caracterización de las aguas residuales de la refinería “Hermanos Díaz”, *Rev. Cubana de Química*, 2004, 16(1), 53-60.
4. JIMÉNEZ MOLEÓN, M. C.; ARIAS GUERRERO, M. L.; LUCERO CHÁVEZ, M., *Extensión de la adsorción de compuestos fenólicos sobre carbón activado vegetal*, Universidad Autónoma del Estado de México, 2004.
5. SIBELLO HERNÁNDEZ, R. Y., *Reporte final del Proyecto territorial Programa de monitoreo de los suelos de Cienfuegos para la evaluación del impacto de la refinería y la petroquímica*, CEAC, 2013.
6. Estándares de Calidad Ambiental para Suelos y Aguas, Holanda, 1986.