

Estrategia de biorremediación en la recuperación de un ecosistema contaminado con petróleo



Bioremediation strategy in the recovery of an ecosystem contaminated with oil

CU-ID: 2144/v13e16

Roberto Romero Silva^{1*}, Lázaro García Pérez², Carlos C. Cañete Pérez¹, Yuletsis Díaz Rodríguez¹, Yamila Navarro Sosa¹, Silvia Acosta Díaz¹, Lester Rivas Trasancos¹, Francisca González Hernández¹, Daylen Salazar Alemán¹, Danai Hernández Hernández¹, Regla María García Laurrerio¹

RESUMEN: Los manglares son ecosistemas con múltiples funciones ecológicas, que están sujetos a diversos impactos negativos, como los generados por el petróleo y sus derivados. Este efecto dañino se presenta en varios de sus subsistemas: árboles, fauna asociada, suelo y agua. El objetivo de este trabajo es evaluar un sedimento contaminado con petróleo, perteneciente a un área de manglar afectado en la cayería norte del centro de Cuba y su recuperación a partir de una estrategia de biorremediación. Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de muestras compósito del sedimento correspondiente a la zona contaminada. En la aplicación del proceso se inoculó lodo residual semisólido de plantas de tratamiento de residuales domésticos (PTR), operadas para las instalaciones turísticas de la zona. Se efectuó el seguimiento analítico de parámetros medidores de la contaminación por hidrocarburos, a partir de ensayos establecidos por metodologías y normativas vigentes para estos casos, evaluándose además, la toxicidad del sedimento al transcurrir determinado tiempo del proceso. Teniendo en cuenta los resultados de la caracterización química-microbiológica inicial, se demostró la viabilidad de aplicación del método de bioestimulación microbiana. El tratamiento aplicado permitió la disminución de la contaminación del sedimento impactado. La evaluación toxicológica brindó información que augura la recuperación de las funciones necesarias de la zona afectada del manglar, dado por el restablecimiento estructural de la vegetación.

Palabras claves: Manglares, hidrocarburos, bioestimulación, toxicidad.

ABSTRACT : Mangroves are ecosystems with multiple ecological functions, which are subject to various negative impacts, such as those generated by oil and its derivatives. This damaging effect occurs in several of its subsystems: trees, associated fauna, soil and water. The objective of this work is to evaluate sediment contaminated with oil, belonging to an area of affected mangrove in the northern keys of central Cuba and its recovery from a bioremediation strategy. The physicochemical and microbiological characterization of composite samples of the sediment corresponding to the contaminated area was carried out. In the application of the process, semi-solid residual sludge from domestic waste treatment plants (PTR), operated for tourist facilities in the area, and was inoculated. Analytical monitoring of measuring parameters of hydrocarbon contamination was carried out, based on tests established by methodologies and regulations in force for these cases, also evaluating the toxicity of the sediment after a certain time of the process had elapsed. Taking into account the results of the initial chemical-microbiological characterization, the feasibility of applying the microbial biostimulation method was demonstrated. The applied treatment allowed the reduction of contamination of the sediment impacted by hydrocarbons. The toxicological evaluation provided information that predicts the recovery of the necessary functions of the affected area of the mangrove, given by the structural restoration of the vegetation.

Key words: Mangroves, hydrocarbons, biostimulation, toxicity.

Recibido: 09/09/2021

Aprobado en su forma original: 21/12/2021

¹Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), Churrucá No.481, Cerro, La Habana, Cuba.

²Empresa Eléctrica de Villa Clara, Finca Ancora e/Sub planta y fábrica de pienso, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, lazaroa@elecvc1.une.cu

*Correo electrónico: robertors@ceinpet.cupet.cu

INTRODUCCIÓN

En Cuba, el ecosistema de manglar constituye la formación forestal natural más extensa ([Rodríguez et al., 2018](#)).

Esta importante formación está presente en casi el 60% de las costas cubanas y ocupan cerca del 5% de la superficie del país, lo que representa un 20 % de su cobertura boscosa, por lo que se considera la primera formación forestal natural clasificada como bosques siempre verdes según lo expresado por ([Guzmán y Coya, 2014](#)).

Las principales afectaciones a los manglares en nuestro país, están relacionadas con eventos naturales como huracanes severos y acción antrópica por tala y represamiento de ríos, así como deficiencias en la planificación y ejecución de los planes de manejo. Las afectaciones de origen natural son poco extendidas y puntuales, y en general el ecosistema de manglar puede recuperarse ([Menéndez, 2013](#)). Muchas empresas petroleras del mundo tienen oleoductos encima de los ecosistemas manglares, los cuales se ven afectados por la rotura de estos medios de transporte de hidrocarburos, provocando un impacto negativo al medioambiente.

Desde hace más de una década la industria petrolera cubana ha desarrollado alternativas de manejo para este tipo de ecosistemas contaminados con hidrocarburos, siendo estas, partes de procesos de biorremediación. A pesar de no ser una práctica constante, en los momentos que ha sido necesario aplicarla, los resultados han sido favorables. El tratamiento de un manglar contaminado por hidrocarburos perteneciente a una Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del país en el año 2007, constituyó el punto de partida para este tipo de estrategias.

La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos es un proceso dinámico en el que contaminante, suelo, clima y actividad biológica interactúan para degradar, transformar e inmovilizar los constituyentes del contaminante. Es un proceso biológico en donde diversos microorganismos degradan diversos contaminantes hasta compuestos no tóxicos presentes en suelo, agua o aire, trabajando de manera individual o coordinadamente (mediante sinergias), dentro de un consorcio microbiano.

La mayoría de los suelos contaminados con hidrocarburos, contienen microorganismos capaces de degradarlos. Sin embargo, el crecimiento de dichos microorganismos está limitado en el ambiente natural por diversos factores, tales como la baja solubilidad en agua de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HPA), su baja biodisponibilidad, la limitación de algunos nutrientes, especialmente nitrógeno (N), la presencia de otros contaminantes que pueden inhibir la degradación de los HPA (por ejemplo el pentaclorofenol) y otros diversos. Por lo anterior, se han utilizado dos estrategias para contrarrestar dichas limitaciones y fomentar la actividad degradadora de la flora microbiana nativa: a) la bioestimulación (adición de nutrientes o compuestos estimuladores de la degradación) y b) la bioaumentación (adición de cepas microbianas con atributos especiales para degradar los contaminantes). Por otro lado, existe la remediación intrínseca en donde sólo la flora microbiana nativa es la responsable de la degradación o transformación de los contaminantes. Actualmente se realiza un gran número de investigaciones sobre la estrategia llamada “monitoreo de la atenuación natural”, que consiste en tener un seguimiento analítico de la degradación y transformación de los contaminantes por parte de la flora microbiana autóctona.

La evaluación de la ecotoxicidad en procesos de biorremediación de suelos y/o sedimentos contaminados con hidrocarburos, es de gran importancia. Esto es debido a que en algunos procesos metabólicos asociados a la biodegradación se pueden generar productos de oxidación parcial, que pueden presentar una mayor toxicidad que los productos contaminantes al inicio del biotratamiento. Es importante conocer la evolución de la ecotoxicidad tanto para estudios de riesgo como para la mejora del conocimiento de los procesos de biodegradación. Además con ello se certifica que el proceso de biorremediación ha sido favorable sobre la disminución de la concentración de contaminantes y no existe toxicidad de los productos del metabolismo ([Rico y Martínez, 2009](#)).

El objetivo de este trabajo es evaluar un sedimento contaminado con petróleo, perteneciente a un área de manglar afectado en la cayería norte del centro de Cuba y su recuperación a partir de una estrategia de biorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una caracterización físico-química y microbiológica de una muestra compuesta de sedimento contaminado, proveniente de una zona de manglar contaminada en la cayería norte del centro de Cuba ([figura 1](#)). Se aplica una estrategia de biorremediación, según [Romero y col., 2009](#). Se inoculan al área afectada lodos residuales, provenientes de Plantas de Tratamiento de Residuales (PTR) domésticos, las cuales brindan servicios al polo turístico de la zona. La adición del lodo se realizó en tres frecuencias contempladas en un periodo de dos semanas en cada mes de trabajo y para cada etapa ejecutada. El proceso se hizo en época poca lluviosa y se tuvo en cuenta la ocurrencia de la pleamar y bajamar. Con el objetivo de evaluar el proceso, el seguimiento del mismo se realizó con la toma de muestras representativas del área mediante el sistema de las circunferencias concéntricas según establece la [NC 37: 1999](#), formando un compósito. Los parámetros evaluados incluyen las grasas y aceites (G y A), los hidrocarburos totales (HCT), el pH, la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (Cond.), la cuantificación de compuestos del petróleo, saturados (S), aromáticos (A), resinas (R) y asfáltenos (As) (SARA); Conteo de bacterias (CB), Conteo de microorganismos totales (CMOT); conteo de

hongos y levaduras (CH y L), así como el conteo de microorganismos degradadores de hidrocarburos (MODH). En los análisis realizados se emplearon métodos estándares establecidos, los cuales se refieren en las tablas de los resultados.

Se realiza la evaluación eco-toxicológica del sedimento después de un tiempo de tratamiento. Se utilizan como especie bioindicadora nauplios de *Artemia salina*.

Los métodos que se desarrollan son los siguientes:

- Ensayo toxicológico agudo con nauplios de *Artemia salina*: The **ARC-Test**: a standardized short-term routine toxicity test with *Artemia nauplii*, 1984.
- CL_{50} (concentración letal media): TSK versión 1.5 21 y el LC_{50} versión 2.5 (Stephan 1977), [EPA 1993](#). Se calculan los métodos Probit y Logit, tomándose de referencia al mayor valor.
- Códigos [GESAMP, 2007](#) (nivel de toxicidad):
 - No tóxico > 1000 ----- 0, 1%
 - Prácticamente no tóxico > 100 - ≤ 1000 ----- 0,01 - 0,1%
 - Ligeramente tóxico > 10 - ≤ 100 ----- 0,001-0,01%
 - Moderadamente tóxico > 1 - ≤ 10 ----- 0,0001-0,001%
 - Altamente tóxico > 0.1 - ≤ 1
 - Muy altamente tóxico > 0.01 - ≤ 0.1
 - Extremadamente tóxico ≤ 0.01



Toma de muestra de la caracterización
Figura 1. Área de manglar contaminado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estrategia de biorremediación

En la [tabla 1](#) se relacionan los resultados de la caracterización inicial del sedimento contaminado. Además se incluye una caracterización química- microbiológica de una muestra de lodo residual y/o fango digerido de una PTR enclavada en la zona ([figura 2](#)); (se incluye una caracterización química de este último en la [tabla 1.1](#) a continuación).

En la [tabla 1](#) se aprecia que, para la muestra evaluada, existen niveles de concentración de G y A e HCT en el orden de 28,3 % y 18,9 %. Estos valores se encuentran por encima de los límites permisibles de una disposición final, según indica la NC 819: 2017 utilizada como referencia. Los altos niveles de concentración de microorganismos degradadores de hidrocarburos en el orden de 10^6 UFC/g suelo, permiten afirmar

que con algún tipo de biotratamiento se pueda lograr la degradación del contaminante presente. El pH y la conductividad eléctrica reportan valores dentro de los rangos establecidos por la propia normativa relacionada. En la [tabla 2](#) se relacionan los resultados de la caracterización inicial de los hidrocarburos de diferente composición (SARA) del sedimento contaminado.

La cuantificación de los hidrocarburos de diferente composición del petróleo (SARA), muestra elevadas concentraciones de compuestos (S) y niveles medios de (A), quienes componen los HCT. Además, se observa alta concentración de (R) y en menor medida de (As), estos últimos más resistentes a los procesos biodegradativos. Estos elementos serán tenidos en cuenta durante cualquier tipo de tratamiento que acontezca, midiendo el comportamiento de los mismos a medida que transcurre la disminución global de la



Figura 2. PTR de la zona

Tabla 1. Caracterización química -microbiológica

Muestra	G y A mg/kg ó %	CB UFC/g suelo	CH y L UFC/g suelo	MODH UFC/ g suelo	CMOT UFC/ g suelo	HCT mg/kg ó %	pH 25°C	Cond. 25 °C (µS/ cm)
Sedimento contaminado	283500 ó 28,3	4.0×10^9	1.0×10^4	2.5×10^6	4.0×10^9	189762 ó 18,9	7.33	7940
Lodo	30910 ó 3,0	8.5×10^{10}	2.1×10^6	4.1×10^6	8.5×10^{10}	7827 ó 0,7	7.20	1678
NC 819:2017 (Ercoli, 2001)	10000 ó 1	-	-	-	-	10000 ó 1	6-8	≤ 200 mS
	-	$10^4 - 10^5$	-	$10^3 - 10^4$	$10^4 - 10^5$	-	-	-
Método de Ensayo	APHA 5520	ISO. 8199:2005	ISO. 7954: 1987	Wyndham RC. (1981)	ISO. 8199:2005	APHA 5520	NC 32:2009	

UFC: Unidades Formadoras de Colonias/ gramos de suelo

Tabla 1.1. Caracterización química -microbiológica

Muestra	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (mg/Kg)
Lodo	99.5	31.4
Método de Ensayo	FIRI/T137	FIRI/T137

contaminación. Esta identificación contribuye al control de sustancias nocivas en el medio ambiente. En este sentido se propone una estrategia de biorremediación basada inicialmente, en la incorporación de productos de desechos, como lo constituyen los lodos residuales de PTR, [figura 3](#).

Es probado que este fango aporta niveles elevados de fuentes de nitrógeno y fósforo, que se corrobora en la caracterización obtenida en la [tabla 1.1](#), nutrientes esenciales en la bioestimulación de bacterias en tratamientos biológicos. Es conocido además el presunto aporte de una propia microflora degradadora de hidrocarburos desde el propio desecho, lo que se

manifiesta por los niveles de G y A e HCT cuantificados y su relación con elevados niveles de concentración de microorganismos totales y degradadores de hidrocarburos obtenidos, según se reportan en la [tabla 1](#).

En la [tabla 3](#) se muestran los resultados numéricos alcanzados del seguimiento analítico del proceso para un primer periodo. Posterior a la toma de la muestra 30 días de iniciado el proceso, el tratamiento se vio afectado por el paso de un evento meteorológico adverso en nuestro país. Posteriormente a la recuperación de la zona y así las condiciones lo permitieron, se realizó una nueva toma de muestra para conocer el nivel de afectación sufrido por el proceso.

Tabla. 2. Caracterización del SARA

Muestra	S (mg/kg)	A (mg/kg)	R (mg/kg)	As (mg/kg)
Sedimento Contaminado	143194	46567	66358	20260
Método de ensayo	EPA 3540C			



Figura 3. Proceso de carga en PTR e inoculación del lodo en el área afectada

Tabla. 3. Determinación química - microbiológica

Muestra	G y A mg/kg ó %	HCT mg/kg ó %	CB UFC/g suelo	CH y L UFC/g suelo	CMOT UFC/g suelo	MODH UFC/g suelo
Sedimento Contaminado 0 días	297870 ó 29.7	37380 ó 3.7	4.0 x 10 ¹⁰	1.5 x 10 ⁵	4.0 x 10 ⁵	4.0 x 10 ¹⁰
Sedimento Contaminado 90 días	10230 ó 1.0	2990 ó 0,2	5,5 x 10 ⁶	5,0 x 10 ²	2,5 x 10 ⁶	5,5 x 10 ⁶
Caracterización del Sedimento Contaminado Posterior al Huracán	151487 ó 15,0	94961 ó 9,4	4,5 x 10 ¹²	7,5 x 10 ⁹	3,5 x 10 ⁴	4,5 x 10 ¹²
Sedimento Contaminado (nuevo 0 días)	99070 ó 9,9%	65943 ó 6,5	1,3·10 ¹⁰	8,0·10 ⁷	9,5·10 ⁶	1,3·10 ¹⁰
Sedimento Contaminado 210 días	49258 ó 4,9%	29669 ó 3%	3,5·10 ⁷	2,0·10 ⁵	2,5·10 ⁴	3,5·10 ⁷
NC 819:2017	10000 ó 1 %	-	-	-	-	-
(Ercoli, 2001)	-	-	10 ⁴ - 10 ⁵	-	10 ³ - 10 ⁴	10 ⁴ - 10 ⁵

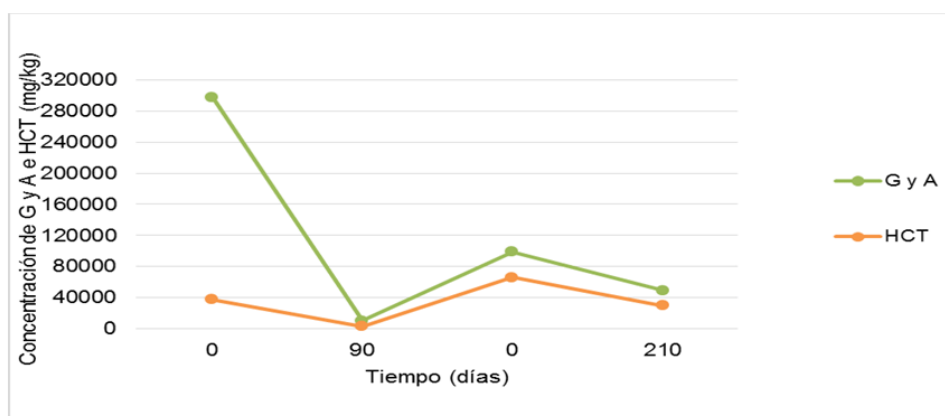


Figura 4. Niveles de concentración de G y A e HCT durante el proceso ejecutado

Al inicio del proceso se constatan los resultados de la caracterización previa, cuantificándose elevados niveles de concentración de G y A e HCT (29,7 % y 3,7 %, respectivamente).

A 90 días de proceso se detectan bajos niveles de concentración de G y A e HCT en el orden de 1,0 % y 0,2 % respectivamente. Estos resultados comparados con los niveles reportados a cero (0) días ya mencionados, indican una recuperación apreciable del área contaminada, alcanzándose valores por debajo de lo estipulado por la normativa reflejada (1%). Sin embargo, los resultados obtenidos de la muestra tomada posterior al huracán, son elevados, encontrándose en el orden de un 15,0% y 9,4% respectivamente. Esto último refleja una incidencia negativa por parte del meteorito acontecido, que no permitía pasar a la segunda parte de la estrategia concebida (reforestación del área), debiéndose retomar el proceso. Además, por esta misma situación acontecida, se conoce de nuevos aportes de otros combustibles al área ya afectada, para lo cual se requirió de un nuevo análisis y estrategia de tratamiento al respecto.

Después de reiniciadas las inoculaciones de lodo al área en varias etapas según la nueva estrategia trazada; se realiza una toma de muestra partiendo de un nuevo 0 día con niveles de concentración de G y A e HCT en el orden de 9,9% y 6,5% respectivamente. Si estos niveles se comparan con el monitoreo y resultados alcanzados a los posteriores 210 días de proceso (4,9 % de G y A y 3,0 % de HCT), se aprecia una disminución de dichos parámetros. Si los mismos son comparados con los resultados tras el paso

del huracán, se constata la alta eficiencia alcanzada por el proceso ejecutado. Sin embargo, continúan siendo superiores a la normativa relacionada, para lo cual debiera evaluarse un mayor tiempo de tratamiento.

Estos resultados pueden observarse en el siguiente gráfico que a continuación se presenta.

Otros resultados se observan en la [tabla 3](#), referidos a favorables concentraciones de bacterias degradadores de hidrocarburos durante todo el proceso, estando las mismas en un orden por encima de 10^6 y hasta 10^{10} UFC/g de suelo. La última muestra evaluada continúa mostrando altos niveles de estas bacterias, lo que favorece que pueda continuar ocurriendo la degradación del contaminante para un tiempo mayor de ejecución del proceso.

En resumen el conteo de microorganismos totales y microorganismos degradadores de hidrocarburos reportan niveles de concentración por encima de los rangos reportados por la literatura citada; siendo estos beneficiosos para la aplicación del tratamiento en cuestión ([tabla 3](#)).

En la [tabla 4](#) se muestra los resultados de la determinación microbiológica de lodos identificados de dos nuevas PTR de la zona y aplicados al proceso posteriormente al huracán.

Las muestras de lodo analizadas presentan altas concentraciones de MOT y MODH, siendo superiores a lo recomendado por la literatura especializada, lo que resulta beneficioso para su utilización en procesos de biodegradación de hidrocarburos por microorganismos.

La [tabla 5](#) muestra los resultados de análisis químicos realizados.

Tabla 4. Determinación química - microbiológica

Muestra	CB	CH y L	CMOT	MODH
	UFC/g suelo	UFC/g suelo	UFC/g suelo	UFC/g suelo
Lodo 1	3,0 x 10 ⁹	4,0 x 10 ⁵	4,5 x 10 ⁸	3,0 x 10 ⁹
Lodo 2	1,5 x 10 ¹⁰	5,0 x 10 ⁴	2,5 x 10 ⁸	1,5 x 10 ¹⁰
NC 819:2017	-	-	-	-
(Ercoli, 2001)	10 ⁴ - 10 ⁵	-	10 ³ - 10 ⁴	10 ⁴ - 10 ⁵

Tabla 5. Determinación química

Muestra	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (mg/Kg)
Lodo 1	52,85	33,09
Lodo 2	77,91	39,36

Tabla 6. Determinación físico - química

Muestra	pH (25°C)	Conductividad Eléctrica (25°C) (mS/cm)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (mg/Kg)
Sedimento Contaminado 0 días	8.06	31.2	40.459	0.1025
Sedimento Contaminado 90 días	7.14	34,3	23,05	0,032
Caracterización del Sedimento Contaminado Posterior al Huracán	7.97	16,35	17,31	0,130
Sedimento Contaminado (nuevo 0 días)	7,96	2,30	6,46	7,28
Sedimento Contaminado 210 días	7,69	3,05	3,00	2,35
NC 819:2017	6-8	≤200	-	-

Los niveles de contenido de nitrógeno y fósforo reportados para los lodos evaluados son altos y su incorporación al área favoreció la estimulación y energía necesaria en el proceso, lo que corrobora los resultados alcanzados ya descritos.

En la [tabla 6](#) se muestra una determinación físico-química de las muestras analizadas del proceso ejecutado.

La conductividad eléctrica y los pH obtenidos para todas las muestras evaluadas reportaron valores dentro de los límites comprendidos por la normativa ([NC 819:2017](#)), lo que favorece, en buena medida, la microflora del suelo. Estos resultados de conjunto con los contenidos de nitrógeno y fósforo reportados para la muestra a tiempo cero (0) días, constituyen la energía apropiada para lograr la estimulación bacteriana en la metabolización y/o degradación de la

contaminación. A los 90 días de proceso estos valores disminuyen, lo que es indicativo de la utilización de estas fuentes por los microorganismos presentes. La caracterización de la muestra tomada posterior al meteoro reporta disminución de estos elementos. Sin embargo, siguen siendo favorables para la estimulación necesaria de la biota existente, quien tuvo a cargo la degradación de la nueva contaminación detectada.

La [tabla 7](#) muestra una nueva caracterización de los hidrocarburos de diferente composición (SARA) del sedimento contaminado.

En el inicio, la cuantificación de los hidrocarburos de diferente composición del petróleo (SARA) muestra elevadas concentraciones de (S) y en menor medida de (A). Además, se observan bajas concentraciones de (R) y (As). Estos parámetros deben ser

Tabla 7. Composición hidrocarburos y compuestos del petróleo (SARA)

Muestra	Tiempo	S	A	R	As
	(días)	(mg/kg)			
Sedimento Contaminado	0	47959	17984	5297	27830
Sedimento Contaminado	210	18072	11594	6048	14077

Tabla 8. Condiciones de ensayo toxicológico agudo con nauplios de *Artemia salina* ([Acosta, 2018](#))

Tipo de ensayo	Estático
Temperatura	26 °C
Concentración de sustancia de prueba	1, 3, 5, 10, 100 %
Calidad de luz	Iluminación artificial
Numero de nauplios por réplica	10
Número de réplicas	2
Duración de la prueba	24 h
Efecto medido	Mortalidad
Resultado final	CL ₅₀ : Concentración letal del 50 % de las artemias
Aceptabilidad de los resultados	Mortalidad control < 10 %
Control negativo	Agua de mar

Tabla 9. Resultado del ensayo con nauplios de *Artemia salina*

Concentración	Organismos expuestos	Mortalidad %
Control	20	0
1 %	20	30
3%	20	10
5%	20	35
10 %	20	45
100 %	20	65

Tabla 10. Resumen del cálculo de la CL₅₀. Limite Confianza 95%

Métodos	CL ₅₀ (%)	mínimo	superior	pendiente
Logit	23.81	7.71	702.62	0.60
Probit	26.44	9.63	472.07	0.89

medidos al final del tratamiento para verificar la presencia de dichos compuestos.

Evaluación Eco-toxicológica

La evaluación se realiza a la muestra de sedimento contaminada a los 210 días de reiniciado el proceso. Las condiciones logradas por el ensayo y sus resultados se relacionan en las tablas siguientes:

El ensayo se considera válido (no hay mortalidad en el control) ([Acosta, 2018](#)). El mayor valor de la CL₅₀ calculado es el reportado por el método Probit de 26.44 %.

Este valor de la CL₅₀ es mayor a 0,1%, que según los códigos GESAMP se considera este sedimento como no tóxico. Lo anteriormente planteado nos brinda información de que la contaminación presente aun en el sedimento no resulta tóxica para la biota del ecosistema asociado. Desde el punto de vista de criterios de remediación de suelos, indiscutiblemente la determinación de la toxicidad es fundamental ([Infante y Morales, 2012](#)). Los resultados obtenidos confirman lo planteado por la literatura, sobre la falta de correlación entre la

concentración de hidrocarburos en suelos y la toxicidad (Infante y Morales, 2012), ya que, una menor o mayor concentración de hidrocarburos no es indicativa de una menor o mayor toxicidad. Coincidentemente con la toma de la última muestra, fue posible apreciar una creciente vegetación y presencia de fauna típica del lugar, indicios de la recuperación alcanzada por el ecosistema.

CONCLUSIONES

1. La estrategia de biorremediación utilizada, fue efectiva para lograr un adecuado manejo y eliminación de la contaminación presente en el sedimento afectado, según la disminución alcanzada para las grasas y aceites e hidrocarburos totales parámetros indicadores de la contaminación. El análisis ecotoxicológico realizado al finalizar el proceso reporta no toxicidad, indicativo de la recuperación del ecosistema afectado, contribuyendo a la reparación de las funciones del mismo y su relación con la biota asociada.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, S, (2018). Desarrollar los procedimientos de trabajo con especies acuáticas (*Artemia salina* y *Lemna minor*) como bioindicadores de toxicidad para productos y desechos de la industria petrolera. Informe técnico, Centro de Investigación del petróleo CEINPET (1-10 pp).
- APHA-AWWA- WEF. 2017. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed, NW Washington, DC, United States of America. 1546 pp.
- EPA 3540C. 1996. Soxhlet Extraction. CD Rom. Rev. 3.
- Ercoli E., G.J., DI Paola M., Cantero J., Videla S., Medaura M. y Bauzá J. Análisis y evaluación de parámetros críticos en biodegradación de HC en suelos. 2001; Available from: <http://www.eco2site.com/informes/biorremediacion.asp>. [Consulted: May 21, 2021].
- GESAMP (2002) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), Revised GESAMP Hazard Evaluation Procedure for Chemical Substances Carried by Ships. Rep. Stud. GESAMP No. 64, 126 pp.
- Guzmán Torres, a. y Coya de la fuente, I., (2014). Enfoques, acciones y resultados sobre la conservación y restauración de ecosistemas en Cuba. [En línea]. Taller de desarrollo de capacidades a nivel de Mesoamérica sobre conservación y restauración de ecosistemas en apoyo al cumplimiento de los objetivos Aichi de San José: Costa Rica.
- Infante, C., y Morales F.A., Evaluación de la toxicidad en desechos y suelos petrolizados empleando semillas de *Lactuca sativa*., *Interciencia*, Vol. 12, No. 10, 2012, pp. 782-788.
- ISO 2018. ISO 8199:2018. Water quality - General guide to the enumeration of microorganisms by culture. in Standard, O.F. Standardization, Editor., ISO/IEC Office: Geneva, Switzerland, pp. 08-22.
- ISO-7954-2002, (confirmado 2012)). Microbiology-General Guidance for enumeration of yeasts and moulds-Colony count technique al 25°C. International Organization for Standardization (ISO): Geneva. Switzerland.MFS-Methods Water Pollution FIRI/T137.
- Menéndez, L. 2013. El ecosistema de manglar en el archipiélago cubano: bases para su gestión. Tesis presentada en opción de grado Científico de Doctor en Ciencias. España: Universidad de Alicante 5-35p. Available: <www.eltallerdigital.com>, [Consulted: May 21, 2021].
- Oficina Nacional de Normalización. 2017. Manejo de fondaje de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, Cuban National Bureau of Standards, NC-819, La Habana, Cuba, 1-20 p.
- ONN 1999. Calidad del Suelo. Requisitos Generales para la toma de muestras, NC-37:1999, La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (NC), pp.9.
- ONN 2009. Calidad del suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación, NC 32:2009, Cuba: Oficina Nacional de Normalización pp. 02-09.

- Orfelina Rodríguez Leyva, Emir Falcón Oconor, Caridad Virgen Romero Castillo & Greicy de la Caridad Rodríguez Crespo 2018. Propuesta de acciones para recuperar el bosque de manglar en la bahía de Guantánamo, Cuba, pp. 5-15
- Rico-Martínez & Martínez- Jerónimo 2009. Ecotoxicología general”. (Coord.) Toxicología Ambiental. Textos Universitarios, México: UAA y UdeG, pp 7-29.
- Romero, R. 2009. Tratamiento de un manglar contaminado por hidrocarburos pertenecientes a la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro, Matanzas, Cuba: Centro de Investigación del petróleo, Informe técnico.
- Vanhaecke P & Persoone G. 1984. The ARC-Test: a standardized short-term routine toxicity test with *Artemia nauplii*. Methodology and evaluation. Ecotoxicological Testing for the Marine Environ, pp. 143-157.
- Wyndham RC. 1981. “MBH Medium Modified Bushnell and Hass Salt solution. Appl. Environ. Microbiol, Vol. 42: 44-47.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)