

BIORREMEDIACIÓN A LODOS PETROLIZADOS GENERADOS DE LA LIMPIEZA DE TANQUES

BIOREMEDIATION OF PETROLIZED SLUDGE GENERATED IN TANK CLEANING

Roberto Romero Silva¹; Ing. Caridad Sánchez Peralta²; Ditter Fernandez Rangel. Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET)¹, Empresa Comercializadora de Combustibles Holguín²

Resumen

La investigación consistió en optimizar las condiciones necesarias para la aplicación de un proceso de biorremediación en la degradación de un lodo petrolizado generado de la limpieza de un tanque de diesel en la empresa comercializadora de combustibles de la provincia de Holguín. El tratamiento se realizó a un total de 1456 L de lodo extraídos. La caracterización química – microbiológica inicial reportó, una concentración elevada de los niveles de grasas y aceites (G y A) y de los hidrocarburos totales (HCT), parámetros indicadores de la contaminación petrolera. Los resultados alcanzados demuestran degradación de G y A e HCT a 140 días de proceso, obteniéndose tasas de biodegradación del 86 % y 85 % respectivamente. La cuantificación de fracciones del petróleo: saturados, aromáticos y asfaltenos, reportaban a 180 días de tratamiento tasas del 76%, 81 % y 80%, respectivamente, logrando eficiencia y efectividad por el proceso.

Palabras clave: biorremediación, biodegradación, contaminación

Abstract

Research consist in optimize the implementation of bioremediation process in degradation of petrolized sludge generated in the cleaning of a diesel tank in ECC Holguin. The treatment was performed to a total of 1456 L of extracted sludge. The initial chemical - microbiological characterization report a high concentration of grease and oil levels and total hydrocarbons (THC), indicative parameters of oil pollution. The results obtained show degradation of grease and oil and HCT at 140 days of process, yielding biodegradation rates of 86% and 85% respectively. Quantification of petroleum fractions: saturates, aromatics and asphaltene, report rates of 76%, 81% and 80%, respectively at 180 days of treatment, achieving the efficient and effective process.

Key words: bioremediation, degradation, pollution

Introducción

Los lodos que se depositan en el fondo de los tanques de almacenamiento de combustibles y los que se recogen en los separadores (petróleo/agua), se almacenan en distintos lugares dentro y fuera de las distintas empresas comercializadoras, las cuales en la mayoría de los casos, no disponen de un tratamiento adecuado, ocasionando un fuerte impacto ambiental en los sitios donde son dispuestos.

Al no existir una disposición final racional, históricamente en estas instalaciones se producen problemas ecológicos y productivos, al disminuir la eficiencia de los separadores y la capacidad de almacenamiento de estos productos.

En diferentes países del mundo, la contaminación por hidrocarburos en suelos, generalmente se ha tratado de solucionar con el uso de procesos fisicoquímicos, que son altamente eficientes para eliminar altas concentraciones de contaminantes. Sin embargo, cuando se tratan bajas

concentraciones de contaminantes, estos procesos son poco factibles debido a sus costos de operación.

Aparejado a esta tendencia de investigaciones por la ciencia química; desde mediados del siglo pasado algunos científicos, esencialmente biológicos y bioquímicos, comenzaron a observar las reacciones que en la naturaleza se manifestaban como respuesta al impacto de los hidrocarburos por su carácter orgánico, y saltó a la vista cómo varias poblaciones de microorganismos presentes en los sustratos, eran capaces de “alimentarse” de estos compuestos y generar verdaderos procesos de degradación principalmente aerobia, por lo que se abrió un nuevo campo en el análisis de estos fenómenos y se fomentó el estudio de las potencialidades de la biodegradación como alternativa para el tratamiento a este tipo de contaminantes, comenzando así la era de la biorremediación para la minimización y manejo de los daños ambientales.

Han sido tan prometedores los resultados obtenidos en este ámbito, que hoy día estos procesos han tomado categoría de campo dentro de la ciencia de la biotecnología y no puede hacerse alusión al tema del tratamiento y manejo de las contaminaciones y afectaciones por derrames y generación de residuos petrolizados (ya sea líquidos o sólidos), cualquiera que sea el área o el tipo de ambiente dañado, sino se evalúa primero la aplicación de las diferentes tecnologías de biorremediación que han sido diseñadas y desarrolladas a lo largo de estos años principalmente, a través de estudios y experimentos prácticos sobre los mismos medios afectados. Es hoy muy amplia el área de influencia y los diferentes métodos que se están potenciando y evaluando para el fortalecimiento de estas alternativas, lo que muy bien podría llamarse una ciencia nueva.

Los procesos de biorremediación tienen entre sus características las ventajas de ser altamente eficientes, de bajo costo de aplicación, con niveles estándares de eficacia y con la singularidad de que para una misma técnica existen varias alternativas para mejorar y optimizar su desempeño, permitiendo incluso la realización de ensayos experimentales previos para determinar la aplicación de la mejor variante para su desarrollo a gran escala. La tendencia es a ser cada vez más utilizados debido a que la biodegradación es un proceso natural de remediación que no exige una inversión elevada en reactivos, infraestructura y requerimientos energéticos. Se estima que el costo de tratamiento por tonelada de suelo contaminado con hidrocarburos es casi 100% superior cuando se realiza un tratamiento químico en lugar de biorremediación (Aldás, 2014).

Entre las tecnologías de biorremediación, la técnica cultivo de tierra (el *landfarming*), también conocida como disposición sobre suelos, se considera una de las de mayor aceptación dado sus potencialidades para el tratamiento y manejo de los residuos sólidos petrolizados (RSP) (Montero y Petro, 2014), su capacidad de adaptabilidad al tipo de contaminante a remediar, fácil diseño, aplicación, atención y seguimiento.

En Cuba, a partir del año 2000, se diseñó por parte del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET); un proyecto de Investigación y Desarrollo (I+D) titulado “Biorremediación como alternativa al saneamiento ambiental en la industria del petróleo” que 5 años más tarde introdujo la ejecución de procesos biológicos mediante la aplicación de la biorremediación por los métodos de bioestimulación y/o bioaumentación en la aplicación del *landfarming*, técnica que proporciona la degradación del contaminante a través de condiciones favorables del medio, temperatura, humedad; de alta eficiencia y bajo costo, elementos estos últimos tomados en cuenta por ser nuestro país subdesarrollado, imposibilitado de adquirir tecnologías más costosas para el tratamiento de los contaminantes de la industria.

En una Empresa Comercializadora de Combustible de la zona oriental de Cuba, no existía un manejo y disposición seguro de los residuales sólidos generados (lodos y/o fondajes petrolizados) de la limpieza periódica de los tanques de almacenamiento de combustibles, por lo que se hacía necesario la aplicación de algún tipo de proceso en la disminución y/o eliminación de la carga contaminante.

Los lodos petrolizados de fondos de tanques de las refinerías y comercializadoras de combustibles están constituidos fundamentalmente por las fracciones más pesadas del petróleo, donde juegan un papel preponderante los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs). Estos compuestos constituyen un grupo de contaminantes considerado de estudio prioritario debido a sus propiedades mutagénicas, tóxicas y cancerígenas (Alvarez et al., 2004).

La importancia fundamental del trabajo ejecutado es social, pues contribuye a garantizar la preservación del medio ambiente, a minimizar los gastos que conlleva su protección, lo que redundaría en beneficios económicos y sociales poco medibles, por su contribución a mejorar la salud de la población, con lo cual se disminuyen gastos de salud pública, pérdidas productivas por enfermedades de trabajadores, daños a edificaciones y a la vegetación, garantizándose un ambiente sano a las futuras generaciones.

Problema Científico:

Los residuos sólidos petrolizados provenientes principalmente de la limpieza periódica de los tanques de almacenamiento de combustibles, son depositados y/o vertidos en áreas seleccionadas, sin que exista un manejo y disposición final adecuados, provocando un impacto negativo al medio ambiente.

Hipótesis:

Utilizando el proceso de biorremediación mediante la técnica de *landfarming* se logrará la degradación total del contaminante en un periodo corto de tiempo (0 -5 meses).

Objetivo General:

Aplicar la técnica de *landfarming* en el manejo integral del Residuo Sólido Petrolizado (RSP), con vistas a lograr su disposición final y el cumplimiento de las normativas vigentes.

Objetivos Específicos:

- Obtener información sobre la composición físico-química y microbiológica del RSP.
- Evaluar la aplicación del proceso de biorremediación por *landfarming*, en la degradación del RSP.

El objeto de la investigación es la búsqueda de una solución al manejo y disposición segura de los residuos sólidos petrolizados que se generan en este tipo de instalaciones, a partir de que existen las condiciones y medios favorables para su ejecución, cumpliendo con lo normado por la unión CUBAPETROLEO (CUPET) para esta problemática.

Se considera como aporte de este trabajo; la aplicación y evaluación de la técnica de biorremediación por *landfarming* a residuos sólidos petrolizados en las condiciones específicas de ambiente y clima de la región oriental de Cuba, quedando listas las condiciones para su generalización en el resto de las empresas del territorio, que dentro de sus actividades generen este tipo de contaminación.

Materiales y Métodos

Se tomó una muestra representativa del RSP del tanque que lo contenía y estaba previsto limpiar y otra de suelo capa vegetal previsto a utilizar por el proceso. La caracterización química – microbiológica se realizó mediante los servicios analíticos correspondientes a los ensayos de grasas y aceites (G y A), hidrocarburos totales (HCT), cuantificación, de las fracciones de petróleo saturados, aromáticos y asfáltenos (SARA); bacterias heterótrofas aerobias totales (BHT); hongos y levaduras (H y L), así como los microorganismos degradadores de Petróleo (BDP).

Se aplicó el método de *landfarming* por la técnica de bioestimulación dentro del proceso de biorremediación para la biodegradación de una muestra de RSP contaminante. Realizándose el seguimiento químico- microbiológico del proceso como se describe en la tabla I.

Tabla I. Seguimiento analítico del proceso de biorremediación aplicado.

Análisis	Tiempo (días)				
	0	45	90	140	180
(G y A)	x	x	x	x	-
(HCT)	x	x	x	x	-
(SARA)	x	-	-	-	x
Nitrógeno total (Nt)	x	x	x	x	x
Fósforo Total (Pt)	x	x	x	x	x
BHT	x	x	x	x	x
H y L y BPD	x	x	x	x	x
PH y Conductividad eléctrica en el extracto de saturación.	x	x	x	x	x

Para todos los ensayos correspondientes a los análisis químicos y microbiológicos, las muestras fueron homogenizadas, secadas y tamizadas a través de un tamiz de 2 mm, de donde se tomó una muestra representativa para ser analizada.

Las muestras del seguimiento del proceso fueron tomadas mediante el muestreo tipo estrella japonés (Okuda, 2002).

Se calcularon las tasas de biodegradación según la siguiente expresión:

$$TB = \frac{CI - CF}{CI} * 100 \quad (1)$$

Donde:

TB: tasa de biodegradación (%)

CI: Concentración Inicial de G y A ó HCT.

CF: Concentración Final de G y A ó HCT.

Resultados y Discusión

Los resultados de la caracterización química – microbiológica se relaciona en la tabla siguiente:

Tabla. 3 Caracterización química –microbiológica.

Muestra	G y A (mg/kg)	BHT UFC/g suelo	H y L UFC/g suelo	BDP UFC/g suelo	HCT (mg/kg)
(RSP)	329430 ±27540	$5.1 \cdot 10^6$ ± $2.2 \cdot 10^3$	$6.8 \cdot 10^4$ ± $2.6 \cdot 10^2$	$3.5 \cdot 10^6$ ± $1.9 \cdot 10^3$	278950 ±23320
Suelo Capa vegetal	1060 ±90	$2.5 \cdot 10^6$ ± $1.6 \cdot 10^3$	$2.1 \cdot 10^4$ ± $1.5 \cdot 10^2$	$1.8 \cdot 10^6$ ± $1.3 \cdot 10^3$	360 ±30
NC 819:2010	10000				10000
(Ercoli, 2000)		$10^4 - 10^5$		$10^3 - 10^4$	
Método de Ensayo	APHA 5520	ISO 6887 (1993) (E) Finnerty, N.R. (1994)			APHA 5520

Tabla 4. Niveles de elementos tóxicos presentes en la muestra del suelo capa vegetal.

Muestra	Pb	Cu	Cr	Zn	Ni	V	Cd
Suelo Capa vegetal	15.5	10	900	51.5	755	24.0	<0.9
NC:819/2010	150			300			8
Método de Ensayo	ISO 8288						

En la tabla 3 se observa una concentración elevada de los niveles de grasas y aceites (> 32 %) y de los hidrocarburos totales (>27 %), lo que demuestra el grado de contaminación de la carga contaminante evaluada.

En la tabla 4 se reportan las concentraciones de los elementos tóxicos presentes en el suelo capa vegetal, las cuales refieren de los elementos regulados su cumplimiento normativo. Es por ello que no existe riesgo de inhibición del crecimiento bacteriano, en la utilización del suelo capa vegetal seleccionada para el montaje del proceso.

Los resultados químicos-microbiológicos del seguimiento del proceso se relacionan en las tablas siguientes:

Tabla. 5 Seguimiento analítico del proceso.

Suelo contaminado Tiempo días	G y A (mg/kg)	pH (T ^o C)	Conductividad Eléctrica (25 ^o C)	HCT (mg/kg)	BHT UFC/g suelo	H y L UFC/g suelo	BDP UFC/g suelo	TB (%)
0 días	147600 ±12339	7.71 ±0.01 (26.8 ^o C)	867(μS/cm) ±1.7	108690 ±9086	$3.5 \cdot 10^6$ ± $1.9 \cdot 10^3$	$9.1 \cdot 10^4$ ± $3.0 \cdot 10^2$	$2.8 \cdot 10^6$ ± $1.7 \cdot 10^3$	
45 días	75410 ±6304	7.84 ±0.01(23.8 ^o C)	733(μS/cm) ±1.5	53990 ±4514	$7.0 \cdot 10^6$ ± $2.6 \cdot 10^3$	$5.7 \cdot 10^4$ ± $2.4 \cdot 10^2$	$1.8 \cdot 10^6$ ± $1.3 \cdot 10^3$	48.9⁽¹⁾ 50.3⁽²⁾
90 días	42400 ±3545	7.36 ±0.01(21.5 ^o C)	54.1(mS/cm) ±0.25	33930 ±2837	$2.3 \cdot 10^6$ ± $1.5 \cdot 10^3$	$7.6 \cdot 10^4$ ± $2.7 \cdot 10^2$	$1.7 \cdot 10^6$ ± $1.3 \cdot 10^3$	71.2⁽¹⁾ 68.8⁽²⁾
140 días	19570 ±1636	8.08 ±0.01(25.5 ^o C)	340 (μS/cm) ±0.7	16020 ±1339	$2.3 \cdot 10^7$ ± $4.8 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^4$ ± $1.6 \cdot 10^2$	$1.3 \cdot 10^7$ ± $3.6 \cdot 10^3$	86.7⁽¹⁾ 85.3⁽²⁾
180 días		6.77 ± 0.01 (26.1 ^o C)	182 (mS/cm) ±0.4		$9.8 \cdot 10^5$ ± $9.9 \cdot 10^2$	$3.6 \cdot 10^4$ ± $1.9 \cdot 10^2$	$7.5 \cdot 10^5$ ± $8.6 \cdot 10^2$	
(Ercoli, 2000)					$10^4 - 10^5$		$10^3 - 10^4$	
NC 819:2010	10000	6-8	≤200 (mS/cm)	10000				

	mg/kg		mg/kg		
Método de Ensayo	APHA 5520	NC 32:2009	APHA 5520	ISO 6887 (1993) (E) Finnerty, N.R. (1994)	

TB. Tasa de Biodegradación: (1) TB G y A, (2) TB HCT.

Tabla 6. Resultados de la determinación de nitrógeno y fósforo Totales (Nt; Pt) del proceso.

Suelo contaminado Tiempo días	Nt (mg/kg)	Pt (mg/kg)
0 días	1.4488	0.0797
45 días	121.15	0.161
90 días	10.46	0.386
140 días	0.403	0.647
180 días	0.213	0.0013
Método de Ensayo	ISO 10048	APHA 4500

Tabla 7. Resultados de la cuantificación de las fracciones de saturados; aromáticos; resinas y asfaltenos (SARA), a tiempo 0 y 180 días.

Muestra	Saturados (mg/kg)	TB (%) Saturados	Aromáticos (mg/kg)	TB (%) Aromáticos	Resinas (mg/kg)	Asfaltenos (mg/kg)	TB (%) Asfaltenos
Suelo contaminado	82810		25880		10350	24150	
Suelo contaminado	19520	76	4870	81	13000	4930	80
Método de Ensayo	Abboud, 2000		Abboud, 2000		Abboud, 2000		

Los resultados arrojados por los ensayos correspondientes al seguimiento químico – microbiológico demuestran degradación de grasas y aceites e hidrocarburos totales del petróleo a 140 días de iniciado el proceso, obteniéndose tasas de biodegradación de 86.7% y 85.3% respectivamente (tabla 5).

Los contenidos de nitrógeno y fósforos totales determinados fueron bajos, excepto para el nitrógeno a tiempo 45 días. Al proceso no se le realizó adición alguna de fertilizantes o fórmulas que garantizaran tales cargas nutricionales, el valor nutritivo solo fue aportado por el suelo capa vegetal y la relación de materia orgánica expuesta de la descomposición del metabolismo alcanzado por las bacterias encargadas de la degradación del contaminante. El contenido de microorganismos totales y el aporte de microorganismos degradadores permiten afirmar que existe en el lugar una biota activa que permite lograr con efectividad la aplicación del proceso de biorremediación que se acomete, que contribuye a la degradación final de la carga contaminante, (tabla 5).

En la tabla 7 se muestran los resultados de la cuantificación de las fracciones de (SARA) a tiempo 0 y 180 días, cuando se alcanzan tasas de biodegradación de las fracciones de saturados y aromáticos del 76% y 81 % respectivamente y para la fracción de asfaltenos, recalcitrante a los procesos degradativos, del 80%.

Vale señalar que la fracción de resinas, también recalcitrante a la degradación por bacterias, no sufrió transformación durante el tiempo de proceso alcanzado, solo mostrando variabilidad del valor obtenido, pudiendo ser atribuible a la heterogeneidad en la toma de la muestra evaluada.

Conclusiones

1. Se reportan concentraciones elevadas de los niveles de grasas y aceites y de los hidrocarburos totales para la muestra de RSP caracterizada, existiendo la necesidad de algún tipo de tratamiento para la disposición final de dicho contaminante.
2. Los resultados arrojados por los ensayos correspondientes al seguimiento químico – microbiológico del proceso ejecutado demuestran, degradación de grasas y aceites e hidrocarburos totales del petróleo a 140 días de iniciado el proceso, obteniéndose tasas de biodegradación de 86.7% y 85.3% respectivamente, avalado por el contenido de microorganismos totales y el aporte de microorganismos degradadores que permiten afirmar que existe en el lugar una biota activa con la que se logra efectividad en la aplicación del proceso de biorremediación que se acomete, que contribuye a la degradación final de la carga contaminante.
3. La cuantificación de las fracciones de saturados; aromáticos; resinas y asfaltenos (SARA) a tiempo 0 y 180 días reportaron tasas de biodegradación de las fracciones de saturados y aromáticos del 76% y 81 %, respectivamente y para la fracción de asfaltenos, recalcitrante a los procesos degradativos, del 80%; resultados alentadores y que demuestran la eficiencia del proceso y la efectividad lograda para el mismo.

Bibliografía

Aldás Vargas, A. B. (2014). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a escala de laboratorio. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.

APHA-AWWA- WEF. (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21th ed.

Álvarez, J. A, M. A Diaz. (2004) Alternativas para la remediación de ecosistemas contaminados por hidrocarburos. <http://www.monografias.com/trabajos16/remediar-contaminacion/remediar-contaminacion.shtml>

Abboud, S.A. (2000). Comunicación Personal. Alberta Research Council. Canadá.

APHA-AWWA- WEF. 4500,(1998). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed.

Ercoli, E, Di Paola, M; Cantero, J.(2000). Análisis y Evaluación de parámetros críticos en biodegradación de hidrocarburos en suelo. Laboratorio de Bioprocesos; UN de Cuyo, Argentina.

Finnerty, N.R. (1994). Biosurfactants in environmental Biotechnology. Curr. Opin. Biotechnol. 5(3): 291-295.

ISO 6887. (1993). International Standard. Microbiology: General guidance for the preparation of dilutions for microbiological examination.

ISO 10048 E (1991). Determinación de Nitrógeno Total en suelos.

ISO 8288(1995). Determinación de Metales Pesados en suelos.

Mercado Montero, G. D., & Petro Cardona, P. H. (2014). Biorremediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos derivados del petróleo en Colombia. Cartagena de Indias, Colombia: Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena.

MBH Medium (Modified Bushnell and Hass solution) . (1981). *Appl. Environ.*

NC: 819/2010. Norma Cubana “Manejo de Fondaje de Tanques de Almacenamiento de Petróleos y sus Derivados.” (onshore), Habana, Cuba.

NC 32: 2009. Calidad del suelo. Determinación del ph y La conductividad eléctrica en el extracto de saturación, Cuba.