

# Biotratamiento a dos arcillas adsorbentes utilizadas en un proceso de aceites refinados

MSC. ROBERTO ROMERO SILVA

*Investigador Auxiliar*

[robertors@ceinpet.cupet.cu](mailto:robertors@ceinpet.cupet.cu)

ING. SUSANA SOTO MEDEROS

*Investigadora Auxiliar*

[susa@ceinpet.cupet.cu](mailto:susa@ceinpet.cupet.cu)

ING. LUIS MARTÍNEZ ESTABLE

*Investigador Agregado*

[lestable@ceinpet.cupet.cu](mailto:lestable@ceinpet.cupet.cu)

## Resumen

Actualmente en la industria petrolera cubana se comprueba mediante determinaciones experimentales el uso de las arcillas con capacidad de adsorción en la refinación de aceites usados, destilados y la evaluación de productos. En el incremento de su estudio para diferentes alternativas de aplicación, se hace necesaria la investigación asociada a su manejo y disposición final. Se evaluó a escala de banco la biodegradación propiciada por un tratamiento de biorremediación a dos arcillas adsorbentes contaminantes, de una refinería de petróleo de nuestro país. Se estableció una base de cálculo de 3 kg para una relación 3:1 (suelo limpio capa vegetal: arcillas impregnadas en aceites). A los 75 días de tratamiento se reportan tasas de biodegradación promedios de grasas y aceites del 46% y 32 % para el experimento 1 y 2 respectivamente. Los resultados preliminares alcanzados se consideran alentadores para lograr el manejo y disposición final de estos residuos.

## Abstract

*Currently in the Cuban oil industry it is verified by experimental determinations the use of clays with adsorption capacity in the refining of used oils, distillates and the evaluation of products. In the development of its study for different application alternatives, it is necessary the research associated with its management and final disposal. The biodegradation propitiated by a bioremediation treatment of two contaminating adsorbent clays from an oil refinery in our country was evaluated at a model scale. A calculation base of 3 kg was established for a 3:1 ratio (clean vegetable layer: clays impregnated in oils). After 75 days of treatment, average biodegradation rates of fats and oils of 46% and 32% were reported for experiment 1 and 2 respectively. The preliminary results achieved are considered encouraging achieving the management and final disposal of these residues.*

## Palabras Clave

Biodegradación, biorremediación, disposición final

## Keywords

*Biodegradation, bioremediation, final disposition*

## Introducción

En la actualidad, es escasa la literatura que se encuentra reportada acerca de métodos de tratamiento y disposición final para residuos contaminados con aceite, y no porque el tema sea nuevo en el mundo científico, sino porque ha sido poco investigado (Durán y Contreras, 2006).

Una alternativa costo/eficiente para restablecer la calidad del ambiente en el recurso suelo es la biorremediación (Aguadelo, 2010). En el proceso de biorremediación es conocido el método de bioestimulación y la técnica de *landfarming*. De esta manera el proceso puede ser aplicado en los primeros 15-30 cm del suelo o capa arable. La bioestimulación se basa en la homogenización como responsable de la facilitación del contacto entre los contaminantes y los microorganismos, propiciando condiciones aerobias. Para acelerar y optimizar el proceso, se adicionaron y monitorearon periódicamente nutrientes [Nitrógeno (N) y Fósforo (P) y correctivos de pH], conforme a la necesidad y relaciones pre establecidas.

Para que la degradación se lleve a cabo en óptimas condiciones, es necesario que existan las condiciones ambientales adecuadas, así como la cantidad suficiente de microorganismos degradadores de hidrocarburos. En lo general, son los microorganismos autóctonos del sitio contaminado.

La biodegradación de los hidrocarburos se lleva a cabo principalmente por dos grupos de microorganismos: las bacterias y los hongos. Las bacterias tienen un crecimiento muy rápido y una mayor capacidad de adaptación a los medios contaminados.

Los factores ambientales que afectan la actividad microbiana, y por lo tanto, la biodegradación son: contenido de humedad, temperatura, nutrientes inorgánicos (principalmente nitrógeno y fósforo), aceptores de electrones (oxígeno, nitratos, sulfatos), pH, presencia de metales pesados, tipo y cantidad de material orgánico presente.

La adición de fuentes de nitrógeno y fósforo mediante la incorporación de Urea y fosfato diamónico, respectivamente, tienen un efecto positivo, incrementando las poblaciones microbianas y las tasas de biodegradación de hidrocarburos en suelos contaminados.

En Cuba se reporta un proceso a escala de banco para el tratamiento biológico de suelos contaminados con aceites lubricantes de una unidad empresarial productora. Los frecuentes derrames de aceites lubricantes debido a accidentes, averías en las líneas, bombas y accesorios, provocaron que los suelos de dicha unidad presentaran elevados valores de concentración de grasas y aceites, incumpliendo así con las normas cubanas correspondientes. Los resultados de la aplicación del proceso de biorremediación mediante la técnica de

bioestimulación de microorganismos autóctonos del medio, condujeron a la disminución de la contaminación de los suelos impactados (Valdés, 2013).

El objetivo general es evaluar a escala de banco un proceso de biorremediación en el tratamiento de las Arcillas Paligorskita y Tonsil impregnada en aceites y los objetivos específicos son:

1. Obtener información sobre la composición química y microbiológica de las Arcillas Paligorskita y Tonsil impregnada con aceite y sin impregnar.
2. Aplicar y dar seguimiento a escala de banco, de un proceso de biorremediación a la Arcilla Paligorskita impregnada en aceite (experimento 1) y la Arcilla Tonsil impregnada en aceite (experimento 2).
3. Evaluar estadísticamente la aplicación del proceso de ambos experimentos.

## Materiales y métodos

Se aplica la técnica de *landfarming* y el método de bioestimulación en un proceso de biorremediación, para la biodegradación de dos muestras de arcillas impregnadas en aceites (experimento 1 y 2). Los experimentos se realizan en composteros por triplicado. Se estableció una base de cálculo de 3 kg para una relación 3:1 (2.250 kg de suelo limpio capa vegetal: 0.750 kg de arcilla paligorskita y tonsil contaminada). Las cantidades de nitrógeno y fósforo fueron garantizadas con la adición de Urea y Fosfato Diamónico (DAP) según relación Carbono/Nitrógeno-C/N=60 y Carbono/Fósforo-C/P=800 a tiempo 0 y 45 días. Esta última adición de 45 días estuvo determinada por los resultados obtenidos hasta este momento, que indicaba la necesidad de nuevas incorporaciones al proceso de estas fuentes.

Se realizó un diseño estadístico experimental de factor Categórico individual con 3 repeticiones para cada experimento. El tratamiento estadístico incluye la comprobación de la normalidad de la población de datos. Para el análisis del crecimiento celular en función de la absorbancia se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de múltiples rangos con el método LSD de Fisher. Se verificaron las varianzas

por el test de Levene. El software utilizado para el análisis estadístico fue STATGRAPHICS Centurión XVI, Versión 16.02.14.

Las tortas de arcilla paligorskita y tonsil impregnadas en aceites, provinieron de un proceso de refinación de aceites efectuado a escala de laboratorio en el CEINPET y de un proceso industrial, respectivamente. El suelo capa vegetal se tomó del desbroce de una obra constructiva en ejecución cercana al centro. Las muestras fueron envasadas en tanquetas plásticas de 20 L hasta su posterior procesamiento y análisis.

Para todos los ensayos correspondientes a los análisis químicos y microbiológicos de la caracterización inicial y durante el proceso, las muestras tomadas fueron secadas, homogenizadas y tamizadas a través de un tamiz de 2 mm, de donde se tomó una pequeña porción representativa de 10 g para ser analizada.

Para el seguimiento analítico del proceso y/o experimentos a escala de banco, las muestras fueron tomadas mediante el muestreo tipo estrella (compósito) recomendado por el especialista japonés (Okuda, 2002).

En la determinación del contenido de Nitrógeno Total (N<sub>T</sub>) y Fósforo total (P<sub>T</sub>), pH y Conductividad Eléctrica (COND), del seguimiento del proceso, se emplearon métodos estándares establecidos (APHA, 2005 y NC 32: 2009) respectivamente.

Los ensayos de Grasas y Aceites (G y A) e Hidrocarburos Totales (HCT) realizados durante la caracterización inicial y durante el proceso a escala de banco para ambos experimentos, se ejecutaron según metodologías establecidas internacionalmente (APHA, 2005).

En la determinación de hidrocarburos saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos (SARA), las muestras fueron procesadas por el método de extracción soxhlet utilizando diclorometano como disolvente (Abboud, 2000). Para la concentración y precipitación de asfaltenos se utilizó n-hexano (Abboud, 2000). Se calcularon las incertidumbres de los métodos de análisis (EURACHEM/CITAC, 2012). En la Tabla 1 se expresan las normas utilizadas en la determinación microbiológica.

**Tabla 1. Análisis y métodos empleados en la caracterización microbiológica**

Métodos de análisis	Normas
Conteo Total de Bacterias (B)	ISO 8199:2005, con medio Agar Triptona Soya
Conteo Total de Hongos Filamentosos y Levaduras (HL)	ISO 7954:2002, con medio Agar Sabouraud Dextrosa.
Conteo de Microorganismos Totales (MOT)	ISO 8199:2005, con medio Agar Triptona Soya
Conteo de Microorganismos Degradadores de Hidrocarburos (MDH)	MBH Medium (Modified Bushnell and Hass Salt solution).Wyndham et al, 1981. Appl. Environ.

## Seguimiento analítico (químico-microbiológico) de los experimentos asociados al proceso a escala de banco

El seguimiento de los análisis durante el proceso, incluyó la determinación de G y A, HCT, SARA, N<sub>T</sub>, P<sub>T</sub>, pH (T<sup>o</sup>C), Conductividad Eléctrica en el extracto de saturación, B, HL, MOT, MDH. Los tiempos de análisis comprendieron los 0, 45 y 75 días de aplicación.

La tasa de biodegradación se calculó según la siguiente expresión:

$$TB = \frac{CI - CF}{CI} \times 100$$

Fórmula 1. Tasa de biodegradación

Donde:

TB: tasa de biodegradación (%).

CI: Concentración Inicial de G y A e HCT (mg/kg).

CF: Concentración Final de G y A e HCT (mg/kg).

## Resultados y discusión

En las tablas 2 y 3 se expresan los resultados de la caracterización química y microbiológica de las Arcillas Paligorskita

y Tonsil impregnadas con aceites y sin impregnar, así como del suelo limpio utilizado por el proceso.

Se reportan para las arcillas Paligorskita y Tonsil impregnadas en aceites, altos niveles de concentración de grasas y aceites que asciende hasta un 36.5% y 45 % y para los hidrocarburos totales del petróleo de un 29% y 32 %, respectivamente. Esto resultados indican que, las mismas se encuentran altamente contaminadas, para la cuales se requiere la evaluación de algún proceso para lograr su manejo y disposición adecuados. El pH y la conductividad eléctrica reportan valores óptimos para el buen desarrollo y eficiencia del proceso propuesto.

Las concentraciones obtenidas de bacterias y de microorganismos degradadores de hidrocarburos para las dos muestras caracterizadas son convenientes para que ocurra la degradación del contaminante, según experiencias de este colectivo de autores en la aplicación de biotratamientos similares. Los resultados expresados en la Tabla 3, evidencian el bajo aporte de fuentes de nitrógeno y fósforos que tributarían ambas arcillas al proceso, de ahí la necesidad de adicionar estas fuentes mediante los fertilizantes químicos que las aportan.

Tabla 2. Caracterización química – microbiológica

Muestra	G y A (mg/kg ó %)	HCT (mg/kg ó %)	pH	COND 25 °C	B (UFC/g suelo)	HL (UFC/g suelo)	MOT (UFC/g suelo)	MDH (UFC/g suelo)
Arcilla Paligorskita impregnada	36,5%	29%	7.49 ± 0.002 (27.7°C)	590 ± 0.2 (µS/cm)	1 x 10 <sup>7</sup>	<1	1 x 10 <sup>7</sup>	<1
Arcilla Paligorskita sin impregnar	570 ± 0.09	11420 ± 2	8.49 ± 0.003 (28.2°C)	198 ± 0.1 (µS/cm)	2 x 10 <sup>8</sup>	<1	2 x 10 <sup>8</sup>	<1
Arcilla Tonsil impregnada	45 %	32 %	5.59 ± 0.01 (25.7°C)	2516 ± 5 (µS/cm)	2 x 10 <sup>4</sup>	1.8 x 10 <sup>2</sup>	2 x 10 <sup>4</sup>	4.5 x 10 <sup>3</sup>
Arcilla Tonsil sin impregnar	No se aprecia	—	5.15 ± 0.01 (24.1°C)	3.32 ± 0.02 (mS/cm)	2 x 10 <sup>4</sup>	1.8 x 10 <sup>2</sup>		4.5 x 10 <sup>3</sup>
NC819:2010	10000 mg/kg ó 1%		6—8	≤200mS	—	—	—	—
Mena, 2015	—	—	—	—	10 <sup>5</sup> – 10 <sup>6</sup>	—	10 <sup>5</sup> – 10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup>

UFC: UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS

Tabla 3. Caracterización química.

Muestra	NT (%)	PT (mg/g)	Saturados (mg/kg)	Aromáticos (mg/kg)	Resinas (mg/kg)	Asfaltenos (mg/kg)
Arcilla Paligorskita contaminada	0.46	0.046	136380	153430	68190	2840
Arcilla Paligorskita	0.20	0.042	—	—	—	—
Arcilla Tonsil contaminada	0.243	0.016	236070	84310	118030	2660
Arcilla Tonsil	0.067	0.030	—	—	—	—

La Tabla 4 expresa los resultados obtenidos para el seguimiento químico de los experimentos durante el proceso, indicando el comportamiento de G y A, principal parámetro indicador de la contaminación evaluada.

A 45 días de iniciado el proceso se reporta degradación de G y A para el experimento 1 y 2, siendo del 34% y 21% la tasa de biodegradación promedio de cada experimento respectivamente.

**Tabla 4. Seguimiento químico del experimento**

Tiempo (Días)	Muestra Compostero #	pH (T:°C)	COND 25.0 °C ( $\mu$ S/cm)	G y A (mg/kg)	HCT (mg/kg)	N <sub>T</sub> (%)	P <sub>T</sub> (mg/g)	TB (%)
0	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	8.49 ± 0.003 (28.4 °C)	988 ± 0.4	128010 ± 19	88700 ± 13	0.563	0.034	-
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	8.43 ± 0.003 (28.4 °C)	1050 ± 0.4	126770 ± 19	68120 ± 10	0.447	0.028	-
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	8.45 ± 0.003 (28.4 °C)	1129 ± 0.5	131480 ± 20	76800 ± 12	0.602	0.033	-
	Arcilla Tonsil Compostero 1	8.09 ± 0.002 (28.9 °C)	3400 ± 1.4	151930 ± 23	85740 ± 13	0.441	0.034	-
	Arcilla Tonsil Compostero 2	8.15 ± 0.002 (28.8 °C)	3240 ± 1.3	150240 ± 23	73330 ± 11	0.653	0.031	-
	Arcilla Tonsil Compostero 3	7.84 ± 0.002 (29.2 °C)	3150 ± 1.3	153970 ± 23	80290 ± 12	0.592	0.035	-
	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	7.20 ± 0.002 (28.1 °C)	943 ± 0.04	84050 ± 13	46580 ± 7	NSD	NSD	(34) <sup>1</sup> (47) <sup>2</sup>
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	7.22 ± 0.002 (28.1 °C)	779 ± 0.3	83540 ± 13	47920 ± 7	NSD	NSD	(34) <sup>1</sup> (30) <sup>2</sup>
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	7.28 ± 0.002 (28.4 °C)	568 ± 0.2	84830 ± 13	49790 ± 7	NSD	NSD	(35) <sup>1</sup> (35) <sup>2</sup>
45	Arcilla Tonsil Compostero 1	7.08 ± 0.002 (28.1 °C)	2060 ± 0.8	121690 ± 18	94050 ± 14	NSD	NSD	(20) <sup>1</sup>
	Arcilla Tonsil Compostero 2	7.11 ± 0.002 (28.0 °C)	1880 ± 0.8	120750 ± 18	91240 ± 14	NSD	NSD	(20) <sup>1</sup>
	Arcilla Tonsil Compostero 3	7.15 ± 0.002 (27.9 °C)	2410 ± 1.0	117530 ± 18	87340 ± 13	NSD	6.38	(24) <sup>1</sup>
	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	7.20 ± 0.002 (28.1 °C)	943 ± 0.04	70660 ± 11	56150 ± 8	0.36	2.9346	(45) <sup>1</sup>
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	7.22 ± 0.002 (28.1 °C)	779 ± 0.3	67300 ± 10	49860 ± 7	2.46	2.8944	(47) <sup>1</sup>
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	7.28 ± 0.002 (28.4 °C)	568 ± 0.2	71300 ± 11	60790 ± 9	0.36	2.9212	(46) <sup>1</sup>
	Arcilla Tonsil Compostero 1	7.08 ± 0.002 (28.1 °C)	2060 ± 0.8	106730 ± 16	94580 ± 14	1.00	3.283	(30) <sup>1</sup>
	Arcilla Tonsil Compostero 2	7.11 ± 0.002 (28.0 °C)	1880 ± 0.8	104230 ± 16	88160 ± 13	1.09	3.618	(31) <sup>1</sup>
	Arcilla Tonsil Compostero 3	7.15 ± 0.002 (27.9 °C)	2410 ± 1.0	97890 ± 15	74230 ± 11	0.91	3.417	(36) <sup>1</sup>
NC819 :2010		6-8 (25-40°C)	<200 mS/cm	10000	-	-	-	-

<sup>(1)</sup>Tasa de biodegradación de G y A. <sup>(2)</sup>Tasa de biodegradación de HCT. NSD: No se determina

Los % de remoción promedios de G y A alcanzados de los experimentos 1 y 2 a 75 días de tratamientos ascienden a 46% y 32 % respectivamente, que si bien indica degradación del contaminante, aún resultan insuficientes para alcanzar los valores estipulados por la normativa.

Para la degradación obtenida por los niveles de concentración de HCT solo se reporta una remoción promedio del 37%, a 45 días del experimento 1. Para el resto de las réplicas evaluadas para los experimentos 1 y 2, se determinan concentraciones específicas a tiempo 45 y 75 días por encima o similares en el tiempo de muestreo, lo que no da información de la veracidad en la degradación de este contaminante y solo puede suponerse que existe variabilidad que se corresponden con la heterogeneidad de la matriz en la toma de la muestra. Además es posible que la fuente de carbono proporcionada por la contaminación este mayormente disponible por el componente G y A, y hasta tanto esta no se agote, los mi-

croorganismos no metabolizaran la fuente de carbono que podría proporcionarles los hidrocarburos. El pH y la conductividad eléctrica se mantuvieron durante todo el ensayo dentro de los rangos necesarios y normados.

La Tabla 5 muestra los resultados de los parámetros microbiológicos durante el tiempo de tratamiento para los experimentos 1 y 2.

Se reportan las concentraciones de bacterias, hongos filamentosos y levaduras, y de microorganismos totales, así como el conteo de microorganismos degradadores de hidrocarburos (Tabla 5).

Es seguro pensar que la biota presente en los dos experimentos utilizó como fuente de carbono cada una de las fracciones del petróleo y como fuente de energía los nutrientes incorporados, lo que se corrobora con el aumento de la microbiota a tiempo 0 y hasta los 75 días, los cuales oscilan en el orden de  $10^5$  a  $10^9$  UFC para Bacterias, de  $10^3$  a  $10^8$  UFC para

**Tabla 5. Seguimiento microbiológico del proceso**

Días	Muestra Compostero #	B (UFC/g Suelo)	HL (UFC/g Suelo)	MOT (UFC/g Suelo)	MDH (UFC/g Suelo)
0	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	$6.5 \times 10^6$	$3.24 \times 10^4$	$6.53 \times 10^6$	$6.36 \times 10^5$
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	$4.48 \times 10^7$	$3.3 \times 10^3$	$4.48 \times 10^7$	$>5.45 \times 10^5$
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	$1.51 \times 10^7$	< 1	$1.51 \times 10^7$	$>5.45 \times 10^5$
	Arcilla Tonsil Compostero 1	$1.28 \times 10^8$	$1.27 \times 10^5$	$1.28 \times 10^8$	$>5.45 \times 10^5$
	Arcilla Tonsil Compostero 2	$7.77 \times 10^7$	$9.3 \times 10^3$	$7.77 \times 10^7$	$>5.45 \times 10^5$
	Arcilla Tonsil Compostero 3	$3.65 \times 10^6$	$3.3 \times 10^3$	$3.65 \times 10^6$	$>5.45 \times 10^5$
	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	<1	$4.9 \times 10^4$	$4.9 \times 10^4$	<1
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	$9 \times 10^4$	$4 \times 10^3$	$9.4 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	<1	$5.2 \times 10^4$	$5.2 \times 10^4$	<1
45	Arcilla Tonsil Compostero 1	$8 \times 10^4$	$1.3 \times 10^4$	$9.3 \times 10^4$	$1.3 \times 10^5$
	Arcilla Tonsil Compostero 2	$6 \times 10^5$	$2.5 \times 10^4$	$8.5 \times 10^5$	$1.5 \times 10^4$
	Arcilla Tonsil Compostero 3	$1.5 \times 10^6$	$4 \times 10^4$	$1.5 \times 10^6$	$3.4 \times 10^4$
	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	$2 \times 10^9$	$8 \times 10^8$	$2.8 \times 10^9$	$4.5 \times 10^8$
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	$1 \times 10^9$	$1.5 \times 10^8$	$1.1 \times 10^9$	$2 \times 10^8$
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	$1.5 \times 10^9$	$1 \times 10^8$	$1.5 \times 10^9$	$1.5 \times 10^6$
	Arcilla Tonsil Compostero 1	$3 \times 10^9$	$1 \times 10^8$	$3.1 \times 10^9$	$1.5 \times 10^8$
	Arcilla Tonsil Compostero 2	$8 \times 10^9$	$1.5 \times 10^8$	$8.1 \times 10^9$	$2.5 \times 10^8$
	Arcilla Tonsil Compostero 3	$3 \times 10^9$	$2.5 \times 10^8$	$3.2 \times 10^9$	$1.5 \times 10^8$
Mena, 2015	-	-	-	$10^5 - 10^6$	$10^3 - 10^4$

Hongos y levaduras, de  $10^6$  a  $10^9$  UFC para los microorganismos totales y de  $10^5$  a  $10^8$  UFC para los microorganismos degradadores de hidrocarburos, resultados muy convenientes para que ocurra la degradación del contaminante según la literatura especializada.

En la Tabla 6 se reportan los niveles de concentración de las fracciones de hidrocarburos saturados, aromáticos, las resinas y los asfaltenos para ambos experimentos del proceso ejecutado.

Entre los resultados reportados en la Tabla 6, se brinda información de los niveles de concentración de la fracción de saturados. Estas promedian para el experimento 1 a tiempo

o días: 64930 mg/kg, siendo a los 75 días de 37893.33 mg/kg, lo que representa el 41.6 % de remoción. En el caso del experimento 2 los niveles de concentración promedio de esta fracción a tiempo o días es de: 71436.66 mg/kg y a 75 días es de 58496.66 mg/kg, lo que representa solo el 18,11 % de remoción. Para el caso de la fracción de aromáticos existe una variabilidad mayor casi total, en los valores reportados a 75 días en comparación con lo cuantificado a 0 días; habiendo igual comportamiento para la fracción de asfaltenos. Esto último puede atribuirse a lo ya explicado antes, de la heterogeneidad de la matriz en la toma de la muestra, sin biodegradabilidad acontecida. Sin embargo para el caso de la fracción

**Tabla 6. Concentración de hidrocarburos saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos de los experimentos**

Días	Muestra Compostero #	Saturados (mg/Kg)	Aromáticos (mg/Kg)	Resinas (mg/Kg)	Asfaltenos (mg/Kg)
0	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	83160	5540	33260	2200
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	56770	11350	51090	2620
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	54860	21940	49370	1560
	Arcilla Tonsil Compostero 1	79150	6590	59360	980
	Arcilla Tonsil Compostero 2	67220	6110	67220	3890
	Arcilla Tonsil Compostero 3	67940	12350	61760	1780
75	Arcilla PaligorsKita Compostero 1	38420	17730	11820	2200
	Arcilla PaligorsKita Compostero 2	30470	19390	14480	3540
	Arcilla PaligorsKita Compostero 3	44790	16000	6390	4020
	Arcilla Tonsil Compostero 1	47290	47290	4730	6710
	Arcilla Tonsil Compostero 2	69600	18560	9280	6650
	Arcilla Tonsil Compostero 3	58600	15630	15630	7230



Imagen ilustrativa. Foto: © Artfully / 123RF



Yacimiento de arcilla paligorskita.

de resinas, quien de conjunto con la fracción de asfaltenos se expresa como recalcitrante a los procesos degradativos por bacterias; muestran una disminución en el tiempo evaluado. Es conocida la complejidad molecular de este tipo de fracción que al ser degradadas por las bacterias, se desprenden compuestos que se cuantifican por el resto de las fracciones, pues se rompen los anillos y enlaces bencénicos asociados, pasando a ser compuestos de cadenas menos complejas y/o lineales (fracción de saturados y/o aromáticos). Toda las fracciones podrían ser degradadas en el momento que estas se encuentre biodisponibles.

Los resultados comparativos en 75 días de tratamiento para el ensayo en composteros en la evaluación de las Arcillas Paligorskita y Tonsil impregnada en aceites, reportan mejores condiciones y biodegradación para el experimento 1 (Arcilla Paligorskita impregnada), toda vez que son mayores las tasas de biodegradación obtenidas en comparación con el experimento 2 (Arcillas Tonsil impregnada).

Para ambos experimentos no fue suficiente 75 días de tratamiento para lograr valores estipulados por la normativa de cada uno de los parámetros medidos. Es promisoria la aplicación de un proceso de biorremediación para lograr un manejo y disposición seguro de este tipo de residual.

## Resultados del procesamiento estadístico

### Parámetro G y A

El resultado estadístico final mostró diferencias significativas entre los experimentos ejecutados. Para ambos experimentos existió diferencia significativa entre 0 y 45 días, 0 y 75 días; también entre 45 y 75 días. Significación estadística que corrobora las tasas de biodegradación obtenidas para las G y A en cada tiempo de análisis durante el proceso.

### Parámetro HCT

El resultado estadístico final mostró solo diferencias significativas entre 0 - 45 días evaluados para el experimento 1, significación estadística que corrobora las tasas de biodegradación obtenidas para los HCT, en este tiempo de análisis de tratamiento.

### Conclusiones

1. Existe una alta contaminación en las arcillas Paligorskita y Tonsil impregnadas en aceites, según los contenidos de grasas y aceites e hidrocarburos totales cuantificados. Se requiere de su manejo y disposición final adecuados.
2. Los resultados del proceso de biorremediación aplicado a las arcillas Paligorskita y Tonsil contaminadas reportan,

tasas de biodegradación promedios de grasas y aceites de 46% y 32 % respectivamente. Es promisoria la aplicación de este tipo de tratamiento, para lograr el manejo y disposición seguro de este tipo de residual.

3. El procesamiento estadístico mostró diferencias significativas de los niveles de concentración de grasas y aceites de ambos experimentos en el tiempo de ejecución del proceso, lo que se corresponde con las tasas de biodegradación acontecidas.

### Referencias

- AGUDELO, E. (2010). *Un método de gestión ambiental adecuado para el tratamiento y la disposición final de un residuo peligroso. Caso: Tierra Fuller contaminada con aceite dieléctrico.* Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- ABBOUD, S.A. (2000). *Comunicación Personal.* Alberta Research Council. Canadá.
- APHA-AWWA-WEF.(2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater.* 21<sup>st</sup> ed. United Book Press Inc.
- DURAN, M. CONTRERAS, N. (2006) *Alternativa de Tratamiento para Tierras Fuller Contaminadas Con Aceite Dieléctrico.* Scientia et Technica, No 32. P. 419- 424.
- EURACHEM/CITAC.(2012) *Quantifying uncertainty in Analytical Measurement,* 3<sup>rd</sup> Edition. 141 pp. S. L. R. Ellison and A. Williams (Eds).
- ISO 7954:2002 con medio Agar Sabouraud Dextrosa. Conteo Total de Hongos filamentosos y Levaduras.
- ISO 8199:2005, con medio Agar Triptona Soya. Conteo Total de Bacterias.
- ISO. ISC Fields 13.080.05.(2012) Examination of soils in general including sampling. <http://www.iso.org/>.
- MBH MEDIUM (*Modified Bushnell and Hass Salt solution*). Wyndham et al, 1981. Appl. Environ. Conteo de Microorganismos degradadores de hidrocarburos.
- NC 32: 2009. *Calidad del suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación.*
- NC 819:2010. *Manejo de Fondaje de tanques y sus derivados.*
- OKUDA, I. (2002). *Comunicación Personal,* La Habana.
- VALDÉS MARTÍNEZ, M. T. (2013). *Biorremediación mediante técnica de cultivo de tierra a suelos contaminados con aceites lubricantes.* La Habana, Cuba: ISPJAE.
- MENA GONZALEZ, Y. (2015). *Evaluación de la biorremediación para el manejo de residuos sólidos petrolizados de una empresa de perforación y extracción de petróleo.* La Habana, Cuba: ISPJAE. ■



Imagen ilustrativa. © Foto: Martin López / Pexels.