

“RECOMPOSICIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS”

Tabla de contenidos

“RECOMPOSICIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS”	1
Sinopsis	2
Introducción.....	3
Recuperación de sitios contaminados mediante técnicas de biorremediación.....	3
Factores que influyen en los procesos de biorremediación	3
Ventajas de la biorremediación.....	5
Microorganismos que intervienen en la biorremediación	5
Metodología de remediación biológica utilizada.....	6
Estudio de caso	10
Conclusiones.....	16
Bibliografía.....	17

Sinopsis

En el presente informe se detallará paso a paso una metodología de biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos por medio del agregado de nutrientes no químicos, humectación y remoción del suelo.

Se nombran los distintos tipos de tratamiento de remediación (Térmico, Físico-químicos y biológicos) haciendo hincapié a la biorremediación por sus ventajas con el ambiente por tratarse de un proceso natural que deja el suelo apto para la agricultura a causa que destruye y transforma una gran variedad de compuestos orgánicos.

A lo largo del contenido del texto se especificaran los factores necesarios para el cumplimiento de una remediación biológica (pH, Humedad, aireación, nutrientes, etc.) por su importancia en las comunidades microbianas autóctonas y la tasa de transformación de los contaminantes (Hidrocarburos Totales del Petróleo).

Se expresaran los efectos nocivos de los contaminantes por hidrocarburos en el hombre, la flora y la fauna, como también de la pérdida de valor y la degradación paisajística.

También se explica un estudio de caso de biorremediación ocurrido en la provincia de Neuquén por un derrame de hidrocarburo en un suelo agrícola.

Introducción

A partir de la primera perforación efectuada en el país, la actividad hidrocarburífera ha contribuido, como toda industria, a un deterioro en la calidad del ambiente, ocasionando junto con el crecimiento de la producción, una serie de impactos negativos en la flora, fauna, suelo y agua.

Para subsanar estos impactos, se emplean distintas metodologías de tratamiento de suelos y aguas, los cuales pueden implicar tratamientos térmicos, físico-químicos y/o biológicos (biorremediación).

Recuperación de sitios contaminados mediante técnicas de biorremediación

El tratamiento por biorremediación es la tecnología de elección para tratar los suelos empetrolados, empleando microorganismos que transforman los hidrocarburos en dióxido de carbono y agua.

El desarrollo de esta tecnología implica la estimulación de la actividad microbiana aeróbica presente en los suelos, a través de aireación, adición de nutrientes y humedad.

De los distintos métodos de tratamiento del suelo (térmicos, físico-químicos y biológicos), la remediación biológica es una alternativa para tratar suelos contaminados, por no producir efectos ambientales secundarios (LaGrega, M.D.; 1996).

Los suelos contaminados contienen gran cantidad de microorganismos, entre ellos bacterias y hongos capaces de utilizar hidrocarburos como fuente de alimento. Los suelos contaminados con hidrocarburos contienen más microorganismos que los suelos no contaminados, pero su diversidad microbiana es más reducida (Vargas Gallego, P.A.; Cuellar, R.R. & Dussán J.; 2004).

Factores que influyen en los procesos de biorremediación

La concentración y composición de la comunidad microbiana, junto con la tasa de transformación de los contaminantes están influenciadas por diversos factores, entre ellos:

Necesidad de nutrientes: El metabolismo microbiano está orientado a su reproducción y éstos requieren que los constituyentes químicos se encuentren disponibles para su asimilación y sintetización.

Los nutrientes principalmente requeridos son el fósforo y el nitrógeno (macronutrientes). Generalmente la concentración de estos macronutrientes suele encontrarse en el suelo, no obstante, de no hallarse éstos dentro del rango normal, es necesario incorporarlos en las fracciones apropiadas hasta llegar al valor óptimo. Para ello, se incorporan nutrientes de tipo agrícola en proporciones medidas, para lograr el rango recomendado de 100:10:1. (Maroto Arroyo, M.E.; Rogel Quesada, J.M., 2002).

pH del suelo: este parámetro afecta significativamente la actividad microbiana. El crecimiento de la mayor parte de los microorganismos es máximo dentro de un intervalo de pH situado entre 6 y 8.

Temperatura: los microorganismos se desarrollan en un intervalo de temperatura bastante reducido, entre 15 y 45 °C (condiciones mesófilas).

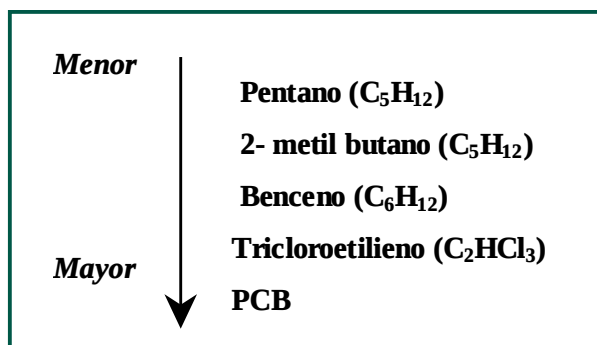
Humedad: los microorganismos requieren unas condiciones mínimas de humedad para su crecimiento. El agua forma parte del protoplasma bacteriano y sirve como medio de transporte a través del cual los compuestos orgánicos y nutrientes son movilizadados hasta el interior de las células. Un exceso de humedad inhibirá el crecimiento bacteriano al reducir la concentración de oxígeno en el suelo produciendo condiciones de anaerobiosis.

Estructura química del hidrocarburo: la inherente biodegradabilidad de un hidrocarburo depende, en gran medida, de su estructura molecular.

Dentro de la bibliografía dedicada a la temática, Rodríguez (1999) menciona los distintos parámetros que están asociados con los compuestos recalcitrantes o persistentes:

- **Los halógenos:** a medida que aumenta el número de átomos de halógenos en los compuestos orgánicos, mayores son las dificultades de degradación biológica.
- **Grandes ramificaciones:** las estructuras orgánicas ramificadas son más complicadas de degradar que las cadenas lineales.
- **Baja solubilidad en agua:** compuestos con baja solubilidad en agua suelen ser persistentes.

La siguiente figura representa la dificultad de la degradación en función de la estructura del compuesto presente en el material a tratar.



Presencia de Metales Pesados: la presencia de metales pesados tales como Plomo, Cadmio, Cromo, etc. en el material a tratar pueden llegar a inhibir el desarrollo microbiano.

Ventajas de la biorremediación

- Aplicación in-situ o ex-situ.
- Transformación de un material orgánico clasificado como residuo peligroso y destinado en el mejor de los casos a ocupar un espacio en un relleno de seguridad, en un suelo apto para re-uso, con un costo de proceso accesible.
- Se puede utilizar para una gran variedad de familias de compuestos orgánicos.
- Los contaminantes complejos son transformados en otros más simples que no resultan ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud.
- A diferencia de los tratamientos físicos y químicos que transfieren los contaminantes a los distintos medios (gaseoso, líquido y sólido), no hay transferencia de un medio a otro.
- Es una tecnología discreta en el medio y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos dignos de destacar.

Microorganismos que intervienen en la biorremediación

De la bibliografía dedicada a la temática, Rodríguez (1999), menciona que la actividad de los microorganismos presentes en el tratamiento biológico condiciona la velocidad y extensión de la biorremediación.

Los microorganismos que se utilizan para estas tecnologías pueden ser en algunos casos, autóctonos (nativos), es decir que provienen del sitio en donde se realiza el tratamiento. En otros casos pueden ser añadidos posteriormente al sistema de tratamiento para mejorar la degradación, en este caso se trata de microorganismos exógenos, los cuales se desarrollan bajo condiciones controladas del laboratorio.

En el tratamiento biológico, el residuo a tratar resulta ser la fuente de carbono y energía para los microorganismos.

Metodología de remediación biológica utilizada

Caracterización del material a tratar



Previo al inicio del tratamiento se determinan las características del material a tratar con el objeto de definir tipo y concentraciones iniciales.

Para ello se colectan muestras de suelo con hidrocarburo, los parámetros de base son los mencionados a continuación: descripción granulométrica del suelo, pH, conductividad eléctrica, contenido de humedad, contenido de

metales pesados (Plomo, Hierro, Cromo, Mercurio y Cadmio), ensayos microbiológicos (recuento de microorganismos totales y degradadores de hidrocarburo), contenido de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), y el contenido de HTP (Hidrocarburos Totales del Petróleo) en suelo.

El objetivo de estos ensayos es estimar el requerimiento de nutrientes y otros parámetros de control necesarios para el proceso de biorremediación de suelos.



Preparación del área de trabajo para tratamiento de suelos



perteneciente a los hidrocarburos al suelo. Para ello se realizan las tareas necesarias para lograr una adecuada compactación e impermeabilización del sitio de tratamiento.

El área de tratamiento, denominada frecuentemente “Cancha de Tratamiento” es preparada para controlar el drenaje y posibles escurrimientos de agua, así como también la eliminación de cualquier potencial de lixiviación



Procesamiento del material a sanear

Como actividad paralela al acondicionamiento de la cancha de tratamiento, se realiza una clasificación selectiva del suelo a remediar en la que se identifican y separan los residuos

sólidos contaminados para su disposición final, puesto que la mayoría de los suelos empetrolados, traen consigo materiales contaminados no degradables con el proceso previsto, tal es el caso de caños, trapos, correas, etc. propios de las operaciones.

Luego de retirar los residuos no tratables, el material a sanear se somete a un procesamiento inicial mediante la utilización de balde triturador, obteniendo las siguientes ventajas:

- Trituración de los terrones de suelo contaminado logrando una homogeneización granulométrica del mismo.
- Oxigenación de la masa de suelo previo a su disposición en el sitio de tratamiento formando biopilas.
- Esponjamiento del suelo lo que optimiza la difusión de oxígeno, el agua y los nutrientes a incorporar.
- Alta homogeneidad de la masa procesada favoreciendo la actividad microbiana, lo cual acelera el tratamiento.



Armado de Pilas



Los suelos son transportados hasta el área de tratamiento donde se construyen pilas de dimensiones relativas al volumen a tratar y al espacio

logrado. Entre las pilas se dejan espacios de separación, de manera que no influya en el libre acceso del tránsito de las máquinas y del movimiento de suelo.



Incorporación de nutrientes, humectación y laboreo del suelo

Para llevar a cabo el tratamiento del suelo afectado por hidrocarburos se utiliza maquinarias de tipo vial y agrícolas encargadas de realizar el laboreo, aireando y homogeneizando el material dispuesto en las pilas de tratamiento. Estas tareas de laboreo son necesarias para evitar las condiciones de anaerobiosis.

Asimismo, se emplea un tractor el cual, a muy bajas velocidades y por las calles intermedias (entre pilas), arrastra en forma descentrada al equipo de laboreo.



Oportunamente se realizan tareas de mantenimiento y reconstrucción de las pilas por medio de una pala mecánica, de manera de conservar la geometría inicial.

A su vez se incorporan de forma manual dosis controladas de nutrientes de tipo agrícola, que permiten aumentar la tasa de biodegradación de los HTP favoreciendo así el rendimiento del

tratamiento. No se adicionan compuestos químicos de ningún tipo.

Periódicamente el material en tratamiento se humecta por riego de manera de mantener el rango de humedad adecuado para el desarrollo microbiano.

A través del movimiento de suelo provocado por los equipos, se consigue una homogeneización y mejor distribución tanto de los nutrientes como del agua incorporada.

Control del proceso de biorremediación

En el control del tratamiento de biorremediación se determinan in-situ los siguientes parámetros: pH, contenido de humedad, temperatura, contenido de dióxido de carbono, conductividad eléctrica, y contenido de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). En laboratorio externo, se determina el recuento de microorganismos heterótrofos totales y degradadores de hidrocarburo, además del contenido de HTP (Hidrocarburos Totales del Petróleo). Este último parámetro (HTP) es el indicador del tratamiento, puesto que es condición del proyecto alcanzar cierta concentración objetivo medida como HTP.

Los parámetros de control que se miden en campo tienen una frecuencia relacionada con la evolución y comportamiento del sistema, llevando frecuencias menores en las etapas más tempranas del tratamiento, pudiendo ajustarse a plazos extendidos sobre la base de la información desarrollada sobre el comportamiento del proceso de remediación. La frecuencia del muestreo para los parámetros de control que se determinan en laboratorio externo es coincidente con el programa de muestreo planificado al comienzo del proyecto.



Cierre del tratamiento

Una vez alcanzado el objetivo de remediación planteado, se da como finalizado el tratamiento de biorremediación del suelo afectado. La zona remediada es recuperada mediante el escarificado del área intervenida.

Habitualmente la concentración objetivo de remediación es llevar el suelo con hidrocarburo a concentraciones de Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) inferiores a 10.000 ppm (partes por millón), medidos de acuerdo al método analítico EPA 418.1 de espectrofotometría de infrarrojo



Estudio de caso

En Abril del 2006 se comienza con el tratamiento de 26.000 m³ de suelo afectado con hidrocarburo proveniente de antiguos derrames de operaciones de explotación y producción de la industria petrolera. El lugar de estudio se encontraba ubicado en un yacimiento de la provincia de Neuquén.

La tecnología utilizada para remediar este suelo contaminado fue la biorremediación. El área definida a sanear se encontraba cercada y dividida en dos sectores denominados occidental y oriental con una superficie de aproximadamente de 63.400 m² y 12.200 m².

Los procesos iniciales que se llevaron a cabo fueron: evaluación del área disponible para tratamiento, extracción muestras y análisis de muestras (físico-químico, microbiológico y toxicológico) en laboratorios externos.

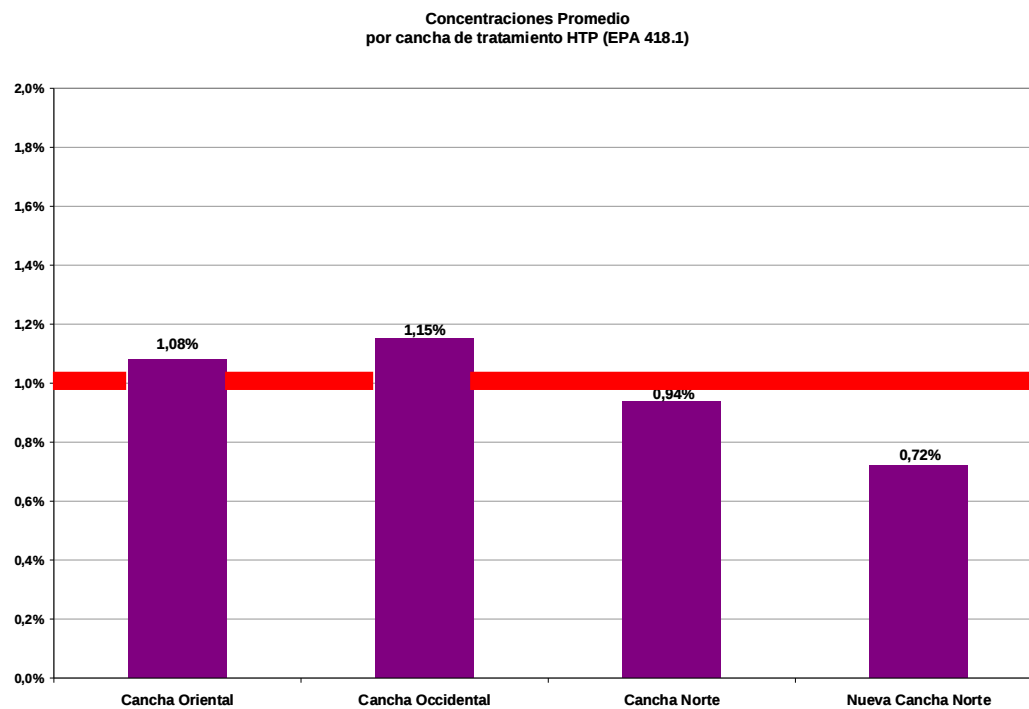
Luego se dio comienzo al acondicionamiento y movimiento de suelo, retirando suelos de los sitios afectados y seleccionando el material contaminado.

El suelo extraído para tratamiento fue procesado y distribuido en forma de pilas en las zonas destinadas a tratamiento (canchas de tratamiento).

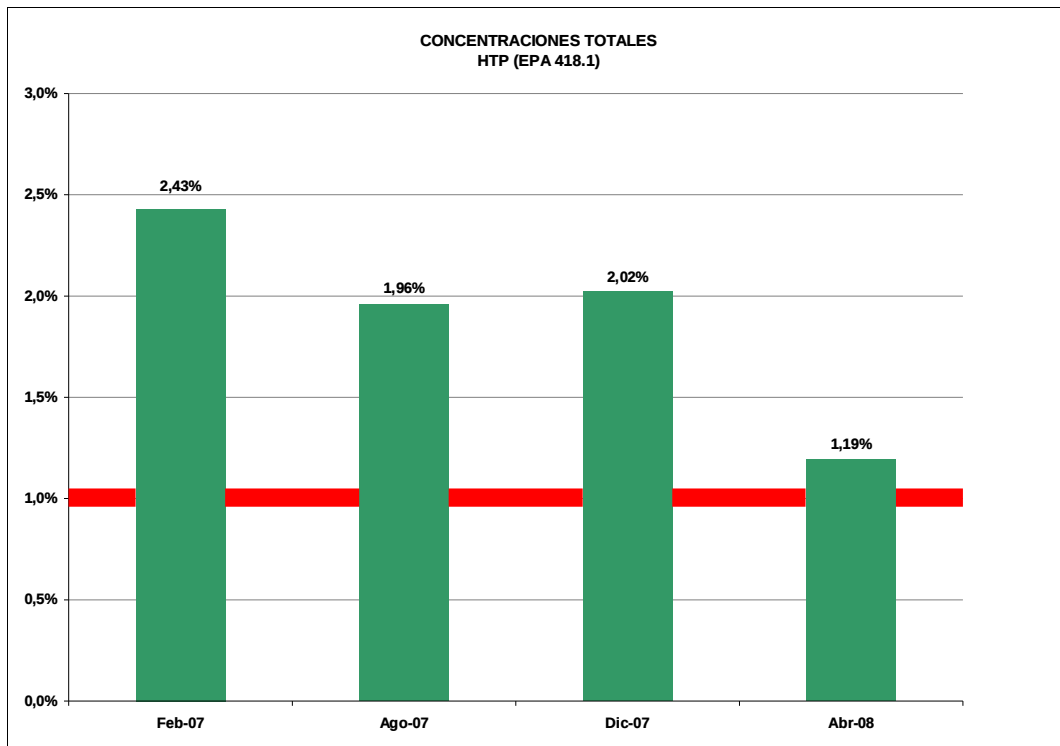
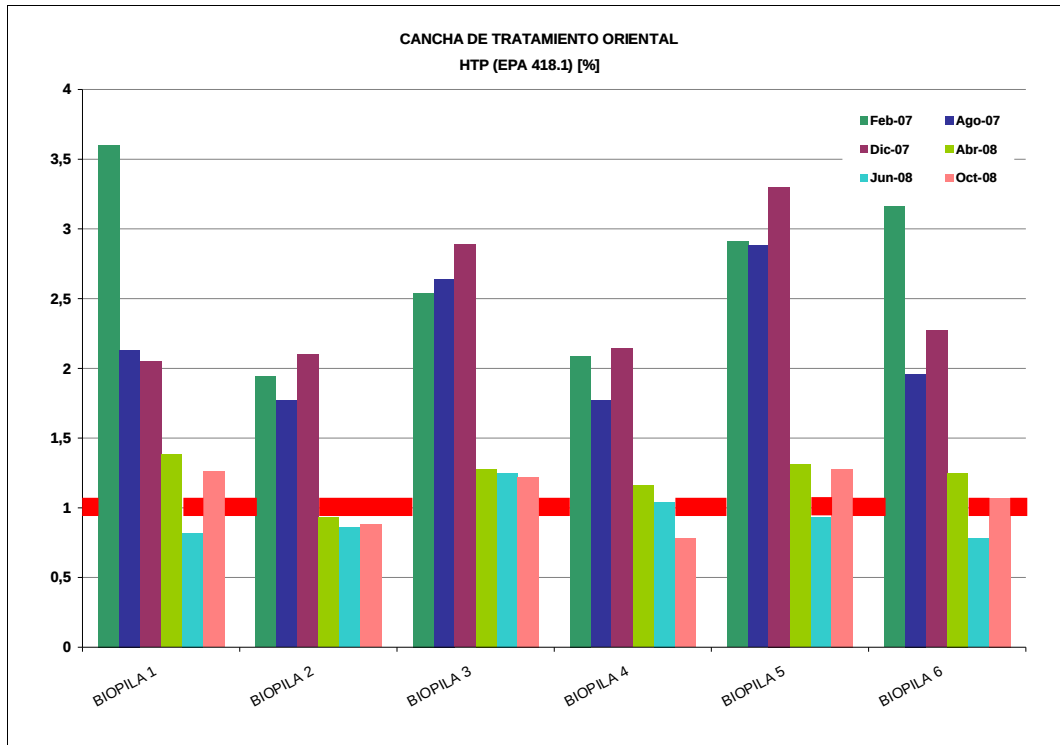
Previo a esta disposición se acondicionó el área de tratamiento con el objetivo de dejar una superficie que cumpla con las medidas de seguridad y medio ambiente, que asegure el libre tránsito de las maquinarias.

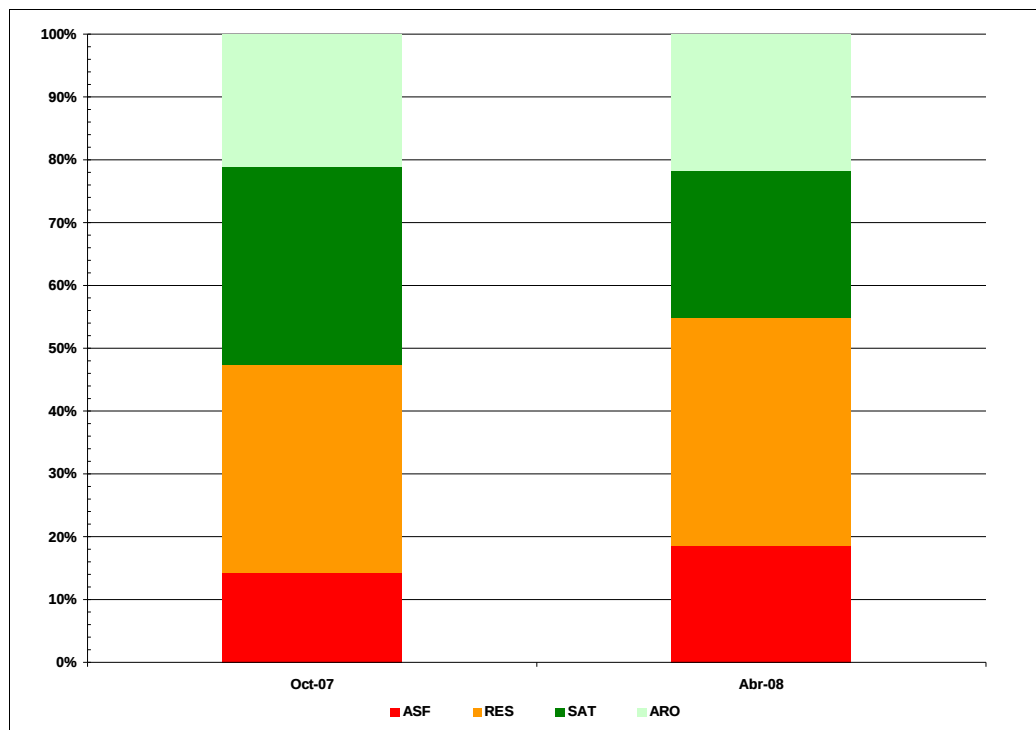
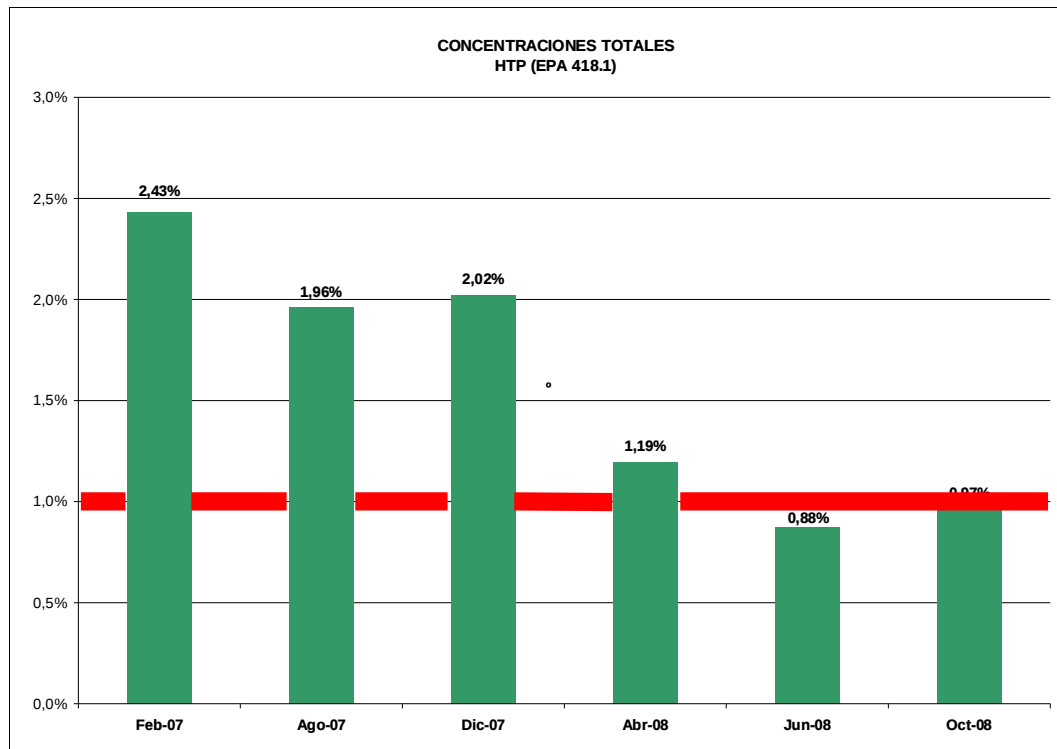
Una vez que el suelo se encontró en las condiciones aptas para dar comienzo al tratamiento se incorporaron dosis controladas de nutrientes y se procedió a realizar la humectación a través del riego de las pilas, junto con las tareas de laboreo necesarias para la homogeneización a través de un equipo encargado de favorecer la aireación del suelo.

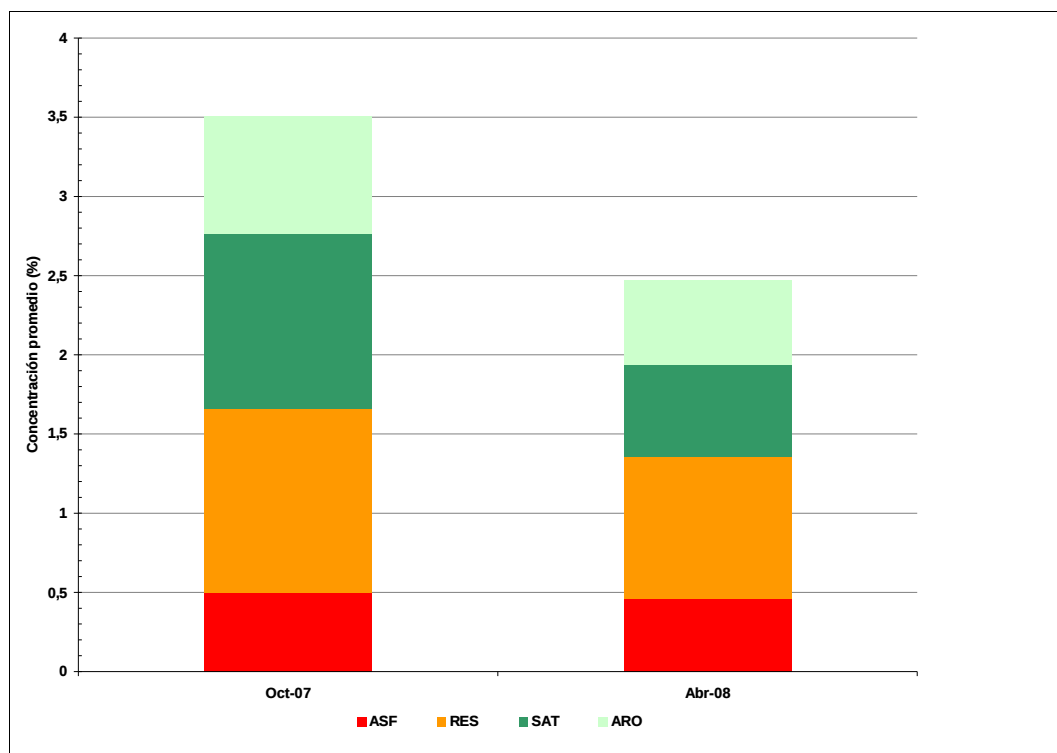
A continuación se detallan gráficos reales de evolución de los diferentes parámetros de proceso según el momento en que se encontraba el proceso, http y SARA entre otros.



BIOPILA	Feb/07 [%]	Ago/07 [%]	Dic/07 [%]	Mar/08 [%]	Mar/08 [%]	Abr/08 [%]	Jun/08 [%]	Ago/08 [%]	Oct/08 [%]	Ene/09 [%]	Mar/09 [%]
1	3,6	2,13	2,05			1,38	0,82	1,27	1,26	1,02	0,64
2	1,94	1,77	2,1			0,93	0,86		0,88	0,55	
3	2,54	2,64	2,89			1,28	1,25		1,22	0,90	
4	2,09	1,77	2,14			1,16	1,04		0,78	0,70	
5	2,91	2,88	3,3			1,31	0,93	1,57	1,28	0,61	
6	3,16	1,96	2,27			1,25	0,78	1,31	1,07	0,69	
7	2,57	1,79	1,85			1,31	0,48	1,37	1	0,68	
8	3,54	1,83	1,65			1,43	0,46	1,48	1,01	0,95	
9	2,75	1,98	2,45			0,98	0,90		0,7	0,73	
10	2,33	1,9	2,54			1,12	0,58	1,79	0,83	0,58	
11	0,23	3,07	2,46	0,52	0,92	1,37	0,81	1,45	1,34	0,96	
12	3,38	2,87	2,81	1,83	0,85	1,63	0,72	1,79	1,4	0,83	
13	3,7	3,11	2,69			1,58	1,46	1,54	1,34	1,11	0,52
14	2,72	2,67	2,9			1,25	1,26		1,01	0,57	
15	3,22	2,38	2,32	1,82	0,82	1,26	0,72	1,45	1,12	0,68	
16	3,26	2,25	1,82	1,76	1,01	1,84	1,33		0,97	0,53	
17	4,09	3,25	2,55			1,46	1,78	1,77	1,74	0,83	0,60
18	4,06	2,6	2,78			1,33	1,40		1,03	0,98	
19	3,79	3,3	2,6	2,12	1,01	1,97	1,26		1,35	0,69	
20	2,63	2,7	2,07	1,62	1,17	1,35	1,15		1,27	0,74	
21	0,29	2,32	2,78			1,13	0,96	1,42	1,12	0,58	
22	4,38	2,67	2,48			1,53	1,10		1,54	0,46	
23	3,54	3,16	2,45			1,38	1,40	1,49	1,26	0,83	0,64
24	2,66	2,1	1,99			1,35	0,97	1,13	0,95	0,73	
25	3,17	1,74	1,9			1,20	0,96	1,30	1,09	0,86	
26	2,58	2,11	2,39			1,12	0,43	1,31	0,79	0,75	
27	2,76	3,33	2,02			1,34	1,12		1,29	0,73	
28	2,01	1,27	1,55			1,19	0,92	1,11	0,92	0,76	
29	1,46	2,14	2,67			1,22	0,90	1,17	0,88	0,69	
30	1,8	1,66	1,96			1,84	1,21		1,11	0,91	
31	2,66	1,94	2,07			1,36	1,36	1,70	1,15	1,18	0,57
32	2,83	1,58	1,69			1,44	0,77	1,90	0,96	0,57	
33	3,02	1,71	1,94			1,07	0,83	0,95	0,52		
34	1,99	1,63	1,37			0,61	0,63				
35	0,94	1,09	1,27			0,89	0,57		0,40		
36	0,74	0,73	1,81			0,63	0,50				
37	1,93	1,28	1,96			1,27	0,99	0,93	0,78		
38	2,5	2,23	1,46			0,96	0,75		0,73		
39	1,16	1,24	1,13			0,89	0,47		0,47		
40	2,8	0,95	1,09			0,91	0,95		0,69		
41	2,14	1,66	1,74			1,20	0,83	1,06	0,76		
42	2,49	1,83	1,8			1,42	1,04		1,06	0,82	
43	1,67	1,29	1,61			0,75	0,56				
44	2,83	1,49	2,75			1,08	0,75	0,99	0,48		
45	3,41	1,6	1,61			1,03	0,73	0,86	0,45		
46	3,25	1,47	2,53			1,40	1,10		0,97	0,83	
47	2,46	1,61	1,32			1,20	0,96	0,82	0,71		
48	2,53	1,82	2,05			1,41	0,57	0,95	0,84		0,68
49	1,8	1,34	1,31			0,87	0,79		0,68		
50	0,94	1,12	1,2			0,75	0,36				
51	1,22	1,86	1,44			0,88	0,72		0,58		
52	1,11	1,15	1,88			0,71	0,38				
53	0,67	1,06	0,9			0,53	0,42				
54	0,96	0,82	0,75			0,75	0,27				
Promedios	2,43	1,96	2,02	1,61	0,96	1,19	0,88	1,33	0,97	0,77	

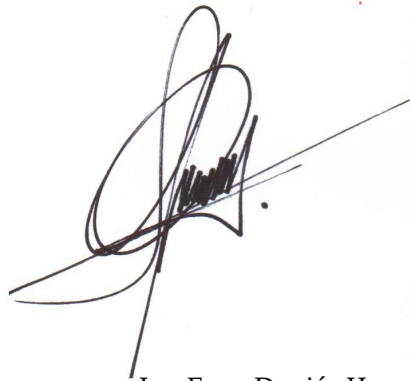






Conclusiones

- El proceso de biorremediación aplicable es sencillo y no utiliza compuestos orgánicos perjudiciales para el ambiente y la salud.
- Logra disminuir los Hidrocarburos Totales del Petróleo por debajo de los 10.000 ppm.
- Es una técnica viable a causa de que da como resultado del proceso un suelo apto para su reuso logrando los objetivos de disminución de la concentración de HTP (Hidrocarburos Totales del Petróleo).
- Su costo es económico ya que no necesita de una infraestructura complicada.
- El suelo intervenido por medio de a biorremediación adquiere condiciones favorables para su reuso agrícola.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Ing. Fraga Damián Horacio

Ing. Laura Fernández

Lic. Natalia Ybañez

Bibliografía

LaGrega, M.D., Buckingham, P.L. and Evans, J.C., 1996. “*Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos*”. McGrawHill, Madrid.

Arroyo, E. y Quesada, J., 2002. “*Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos*”. Geocisa. División de Protección ambiental de suelos. <http://www.geocisa.com>

Vargas Gallego, P.A.; Cuellar, R.R. & Dussán J.; 2004. “*Biorremediación de Residuos del Petróleo*”. Revista Hipótesis. <http://ciencias.uniandes.edu.co/hipotesis>.

Acuña, A.J., Pucci, O.H. & Pucci G.N.; 2008. *Revista Ecosistemas*. Caracterización de un proceso de Biorremediación de hidrocarburos en deficiencia de nitrógeno en un suelo de Patagonia Argentina. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=548>

Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 1999. Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). <http://www.atsdr.cdc.gov/>

Madigan, M.; Martinko, J. & Parker, J., 2004. “*Biología de los microorganismos*”. Decima edición. Madrid: España. Pearson educación S.A.

Rodríguez, J. J. & Irabien, A., 1999. “*Los Residuos Peligrosos: Caracterización, tratamiento y gestión*”. Editorial Síntesis S.A. Madrid: España.