

ATENUACIÓN NATURAL, una tecnología aplicable a playas empetroladas

Oscar Héctor PUCCI, Adrián J. ACUÑA, Graciela Natalia PUCCI

CEIMA - FCN – UNPSJB ceima@unpata.edu.ar

Resumen

Comodoro Rivadavia se caracteriza por tener una producción petrolera importante que no se industrializa en la zona por lo que debe ser transportada a las destilerías ubicadas fuera de la provincia del Chubut. Desde el comienzo de la explotación se ha utilizado la vía marítima para su traslado. La transferencia del petróleo a los buques tanques se realiza a través de una monoboya ubicada a unos pocos km de la costa. En diciembre de 2007 un buque produjo un episodio de contaminación dejando escapar un volumen de más de 100m³ de petróleo que impacto en una playa cercana al lugar de carga “Caleta Córdova” produciendo un importante impacto que distribuyó petróleo en unos 4 km de costa. El resultado fue aproximadamente 600 aves empetroladas (mortalidad 50%). En esta playa se contaba con datos previos de biorremediación en sedimentos intermareales y en agua de mar. Para resolver el problema se formó un comité de crisis del que formamos parte como asesores. Se plantearon y ejecutaron las siguientes actividades, recolección de la fase libre de hidrocarburos en agua y playas mediante skimmer, camiones de alto vacío y trabajo manual. Captación del petróleo en agua mediante mantas y booms absorbentes. Una vez retirada toda la fase libre se optó por aplicar atenuación natural con controles periódicos de hidrocarburos por cromatografía gaseosa y EPA 418.1. Esta tecnología, que incluye biorremediación intrínseca, dio como resultado la limpieza total de la playa y la ausencia de contaminación por hidrocarburos poliaromáticos. El tiempo transcurrido entre el derrame y la eliminación de contaminantes fue menor a 9 meses.

Introducción

Con anterioridad a los años 90 se producían derrames que aun permanecen asfaltizados en las playas de Comodoro Rivadavia. Desde la aplicación de la actual legislación, iniciándose con la resolución 105 (específicamente para suelos y locaciones) se han minimizado de forma muy importante los derrames de hidrocarburos y el cuidado del medio ambiente. Los sistemas de seguridad que se aplican a la carga de petróleo en las monoboys ha sido altamente eficiente sin que se produzcan derrames de magnitud mensurable durante la última década y media. Esto ha llevado a poder utilizar las playas del ejido urbano de Comodoro Rivadavia con fines recreacionales, de pesca y recolección de artesanal mariscos.

En los últimos cinco años hemos trabajado sobre temas de biodiversidad microbiana y potencial de biodegradación de hidrocarburos en las playas y agua de mar de Caleta Olivia, Rada Tilly, Comodoro Rivadavia y Caleta Córdova. En este trabajo se procesaron tres puntos de toma de muestras en cada ciudad y en las cuatro estaciones, totalizando 48 muestras analizadas, lo que dio un panorama del estado general representativo de la biodiversidad y el potencial de remediación de hidrocarburos en la zona central del Golfo San Jorge. En forma paralela se trabajó en una tesis doctoral sobre fijación de nitrógeno en presencia de hidrocarburos (realización de biorremediaciones en ausencia de nitrógeno agregado). Las conclusiones del primer trabajo indican la existencia de una diversidad bacteriana importante con buen nivel de adaptación y que muchos de los géneros presentes degradan hidrocarburos en forma eficiente lo que permite la eliminación de los mismos de las playas, especialmente de los que están adheridos a los sedimentos. Los resultados del segundo trabajo indican que muchas especies bacterianas presentes en suelos y sedimentos tienen la capacidad de degradar hidrocarburos y al mismo tiempo de fijar nitrógeno por lo que ambos trabajos sustentan que es posible la atenuación natural en suelos y sedimentos intermareales patagónicos.

El 26 de diciembre de 2007 ocurrió un incidente producido por un buque de transporte de crudo que produjo un derrame de aproximadamente 100 metros cúbicos que termino impactando en la playa de Caleta Córdova (Figuras 1, 2 y 3). Esta playa está formada en su zona intermareal por rocas piroclásticas que forman una plataforma de abrasión que se interna en el mar a la que en dirección oeste continúa una de grava que termina en un acantilado de altura variable de aproximadamente 2 metros de material poco consolidado en el que se intercalan gravas y arenas. Es una playa angosta, en una costa erosiva debido a que, el material que conforma el acantilado es muy vulnerable a la acción del mar, que llega a una altura variable del acantilado lo que produce derrumbes e inestabilidad. La playa tiene una inclinación variable que puede llegar a 20° en algunos sectores de grava y menos de 5° en algunas zonas de la plataforma de erosión. Periódicamente, en luna llena hay mareas vivas también denominadas de sicigia que son más altas y cuando se acompañan con vientos del este tienen una gran energía e impacto sobre el acantilado.

Cuando llegó la mancha de petróleo a la playa, ocurrió una marea de sicigia con una altura de más de 6 metros lo que llevó el petróleo hasta la base del acantilado y que en las mareas normales de 4 metros no pueden alcanzar, por lo que quedó una zona donde el efecto y la energía de las olas no podía actuar (a la que se denominó área supramareal).

La resolución de derrames en costas es un problema a trabajar en etapas, siendo la primera de ellas la eliminación del petróleo libre para luego trabajar sobre los hidrocarburos que no son visibles pero que se encuentran adheridos a los sedimentos y que tienen un elevado grado de toxicidad como los hidrocarburos poliaromáticos.

El objeto de este trabajo es mostrar la metodología que se empleo en el saneamiento del derrame en Caleta Córdova, la secuencia en su aplicación y la resolución final de los restos más tóxicos por atenuación natural.

Desarrollo

Las tareas que se desarrollaron en la playa se efectuaron en dos etapas

La primera etapa fue la extracción del petróleo libre por:

1. Camiones del alto vacío.
2. Skimmers.
3. Colocación de Boom y mantas para retener el petróleo liberado de la playa.
4. Lavado del suelo con agua a presión.
5. Retiro de grava empetrolada de zonas supramareales.

Una vez concluida la primera etapa, se adoptó para la segunda una remediación por atenuación natural en base a los datos históricos de potencial de biorremediación de esa playa.

Camiones del alto vacío y skimmers

En la Figura 8 se muestra el trabajo de estos camiones y en las figuras 9 y 10 se muestra el trabajo conjunto de skimmers y camiones de alto vacío, el trabajo de estos equipos llevó a la recuperación de una importante cantidad de petróleo mezclado con agua que fue posteriormente tratado.

Colocación de Boom y mantas para retener el petróleo liberado de la playa

La colocación de estos elementos permitió recuperar, en un elevado porcentaje, el petróleo que se liberaba de la playa de grava y que de otra forma contaminaría nuevamente esta y otras playas de acuerdo con las corrientes del golfo, este tratamiento se prolongó mucho más que el

tratamiento de recolección produciendo una cantidad importante de material contaminado que fue eliminado por incineración (Figuras 6 y 7).

Lavado del suelo con agua a presión

Este tipo de tratamiento se desestimó rápidamente pues producía emulsiones difíciles de romper y de recuperar que influirían sobre los bivalvos filtradores que son recolectados en forma artesanal en esa y playas aledañas.

Retiro de grava empetrolada de zonas supramareales

Si bien el retiro de material contaminado y posterior tratamiento es una técnica permitida por la reglamentación y por las normas provinciales, no era adecuada en esta playa de alta energía y con una gran inestabilidad de su acantilado, por lo que fue suspendida, el material retirado fue tratado y se le dio disposición final (Figura 11).

Varias empresas ofrecieron soluciones mágicas como el lavado con detergentes o tensioactivos, si bien son una solución muy eficaz para pequeños volúmenes como fondos de tanque en una planta donde pueda reciclarse el agua empetrolada resultante del lavado, por el volumen contaminado y los grandes volúmenes de agua y la opción de utilizar booms absorbentes para resolver el problema de contaminación, lo hacían una metodología no conveniente desde el punto de vista de la contaminación ulterior que produciría, el elevado costo y el gran volumen de agua consumida y a tratar.

Los métodos mecánicos dejaron una playa sin aparente contaminación, que solo se ponía de manifiesto por análisis del petróleo y sus fracciones, situación que debía resolverse por un método aceptable técnica y socialmente.

Los métodos de remediación asistida in situ que se usan en suelos y que tienen una alta tasa de éxito cuando se los trabaja con responsabilidad, tienen en playas como esta el inconveniente del agregado de nutrientes inorgánicos que implicarían el incremento de algas. Situación esta que necesitaría una remediación posterior de la proliferación de ellas. Por ello se optó por una **atenuación natural**.

Atenuación Natural

La atenuación natural es una estrategia aceptable para la rehabilitación de sitios que depende de las características propias del lugar y que en el tiempo de realización no se ponga en riesgo la salud humana y el medio ambiente. Es un método razonable según la US EPA.

La atenuación natural utiliza la capacidad intrínseca de los microorganismos autóctonos para degradar contaminantes y es un proceso natural de degradación (Mills *et al.*, 2003). Sin embargo estos procesos de biodegradación intrínseca suelen tomar mucho tiempo para completarse debido a que el tamaño de la población indígena involucrada es generalmente pequeño (Forsyth *et al.*, 1995). Ramsay *et al.* (2000) comunicaron que un número y diversidad importante de microorganismos puede degradar hidrocarburos poliaromáticos en sedimentos. Los trabajos de Ke *et al.* (2003) demostraron que en microcosmos obtenidos de sedimentos contaminados el pireno se degrada en un 90% en 6 meses.

El método necesita un cuidadoso monitoreo en parámetros que influyen en la utilización de hidrocarburos por parte de las bacterias autóctonas (EPA/600/F-98/021).

Las características individuales incluyen la calidad y composición del suelo, profundidad del acuífero, proyecto de uso de la zona afectada, cercanía de la población, si se ha formado una

pluma de contaminación en el subsuelo, su tamaño y posible velocidad de migración, esto puede determinarse siguiendo la norma ASTM 1739-92 (2005).

En el caso en estudio, las condiciones, cuando se aplicó la atenuación natural eran:

1. El petróleo libre no estaba presente, la cantidad que permanecía estaba adherido al sedimento.
2. No había gases explosivos.
3. No se detectaron metales pesados provenientes del petróleo.
4. No existían fuentes primarias ni secundarias de liberación de hidrocarburos.
5. La contaminación no llegaba al acuífero pues la roca piroclástica que está debajo de la grava impedía su paso.
6. No existe acuífero que provea agua de consumo.
7. Existe una población bacteriana capaz de mineralizar los hidrocarburos del petróleo determinada en proyectos de investigación anteriores.
8. La concentración existente de hidrocarburos totales del petróleo es menor del 1% (límite que marca la reglamentación provincial para considerar a un residuo como residuo petrolero), pero con cantidades que es necesario eliminarlas.
9. El uso de la playa puede ser demorado durante el tiempo de la atenuación natural.

Resultados

El comportamiento de la comunidad bacteriana presente en Caleta Córdova que degrada hidrocarburos, se presenta en la Figura 12, puede observarse el tamaño de las comunidades originales antes del derrame en diferentes fechas y las modificaciones que se produjeron con posterioridad al derrame. El incremento del número de bacterias fue muy notable, especialmente en el número de bacterias degradadoras de hidrocarburos que en algunos casos supera a las bacterias que desarrollan en otros medios de cultivos que se usan habitualmente en microbiología, este incremento explica el éxito en términos de tiempo de la atenuación natural. El aspecto y tipos de colonias de esta comunidad bacteriana que utiliza hidrocarburos como fuente de carbono y energía se presentan en la Figura 13.

La Figura 14 muestra las cinéticas de mineralización de hidrocarburos por comunidades bacterianas obtenidas después del derrame en diferentes fechas. La capacidad de mineralización se incrementa con el tiempo transcurrido desde el impacto de petróleo sobre el sedimento de grava y es cuantitativamente importante teniendo en consideración que el sedimento de grava aporta una superficie escasa para el asentamiento de bacterias.

El tamaño de las comunidades que mineralizan petróleo y sus fracciones destiladas se presenta en la Figura 15 (Número de bacterias degradadoras de petróleo, kerosene, nafta, gasoil y aceite lubricante obtenidas a partir de los sistemas de mineralización efectuados en laboratorio). Estos recuentos indican la buena capacidad de biodegradación de todas las fracciones destiladas de petróleo.

Un aspecto importante de la eliminación de los hidrocarburos se puede determinar por cromatografía gaseosa, en la Figura 16 se muestra el cromatograma del petróleo derramado tomada el día 27 de diciembre de 2007, comprende las fracciones de carbono 7 a 30 y que todavía no ha tenido modificación por evaporación. Después del retiro del petróleo libre, se efectuaron como controles del proceso varios cromatogramas (meses de febrero, marzo, final de marzo, abril, principio y fines de mayo). Estos cromatogramas superpuestos muestran la evolución de los hidrocarburos que corresponde a una muestra que es mezcla de sedimentos de varios puntos de la playa de grava por lo tanto representativa de la situación general (Figura 17).

El cromatograma final junto con el inicial forman parte de la Figura 18. En este cromatograma puede observarse la ausencia de petróleo o una concentración menor a diez partes por millón. Este cromatograma indica el final de la atenuación natural por tener menos hidrocarburos que los que pueden detectarse por los métodos que fijan las normas vigentes (EPA 418.1).

Conclusión

La atenuación natural es un método muy económico, eficaz, con buena capacidad de depuración de hidrocarburos en costas como la estudiada (plataforma de abrasión formada por roca piroclástica y grava), pero que tiene como condiciones previas la eliminación de los hidrocarburos libres y durante el proceso un estricto control de la biorremediación intrínseca (se recomienda cromatografía gaseosa de la fracción carbono 7 a 30 y de hidrocarburos totales del petróleo por EPA 418.1).

Figura 1: Playa de Caleta Córdova el 27 del diciembre de 2007.



Figura 2: Detalle de la playa contaminada.



Figura 3: Trabajos iniciales en la playa.



Figura 4: Uso de barreras, resultaron poco efectivas en la contención del petróleo por la gran energía de la playa de Caleta Córdova. Las barreras fueron muy deterioradas, lo que hacen imposible su utilización en playas como esta.



Figura 5: Aspecto de cómo finalizaron las barreras de contención de petróleo. Se debe aclarar que estas barreras no estaban diseñadas para playa, eran para mar abierto.



Figura 6: Colocación de booms en la parte superior de la playa, sólo llegaba el mar durante mareas de sicigia.



Figura 7: Booms después de haber cumplido con su misión de limpieza.



Figura 8: Uso de camiones del alto vacío.



Figura 9: Uso de camiones del alto vacío asociados con skimmer.



Figura 10: Uso de skimmers.



Figura 11: Retiro de material de playa, fue suspendido por el riesgo que implicaba para la estabilidad del acantilado.



Figura 12: Comportamiento de la comunidad bacteriana degradadora de hidrocarburos, original antes del derrame y modificaciones posteriores al derrame.

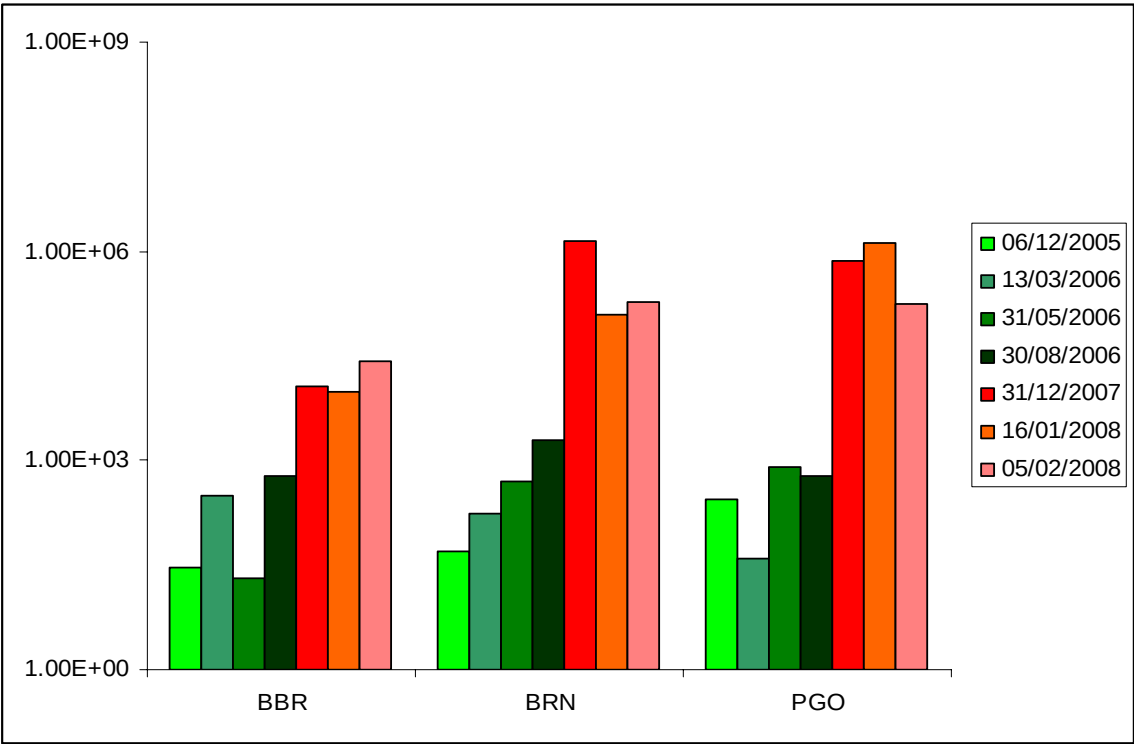


Figura 13: Comunidad bacteriana degradadora de hidrocarburos obtenida de Caleta Córdova.

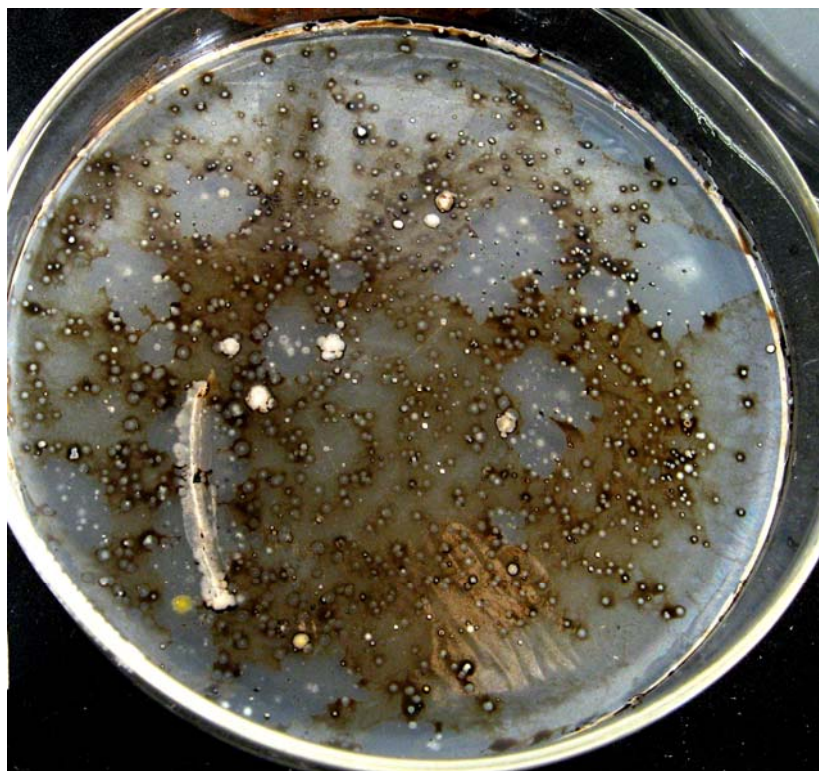


Figura 14: Mineralización de hidrocarburos por comunidades bacterianas de Caleta Córdova obtenidas después del derrame en diferentes fechas.

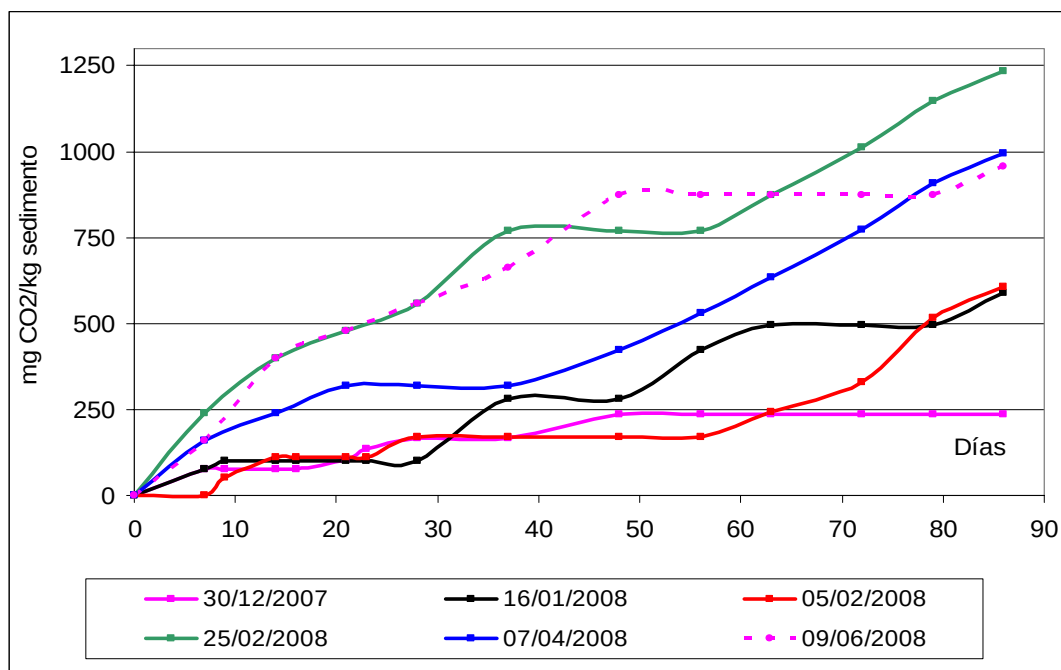


Figura 15: Número de bacterias degradadoras de petróleo, kerosene, nafta, gasoil y aceite lubricante obtenidas a partir de los sistemas de mineralización efectuados en laboratorio

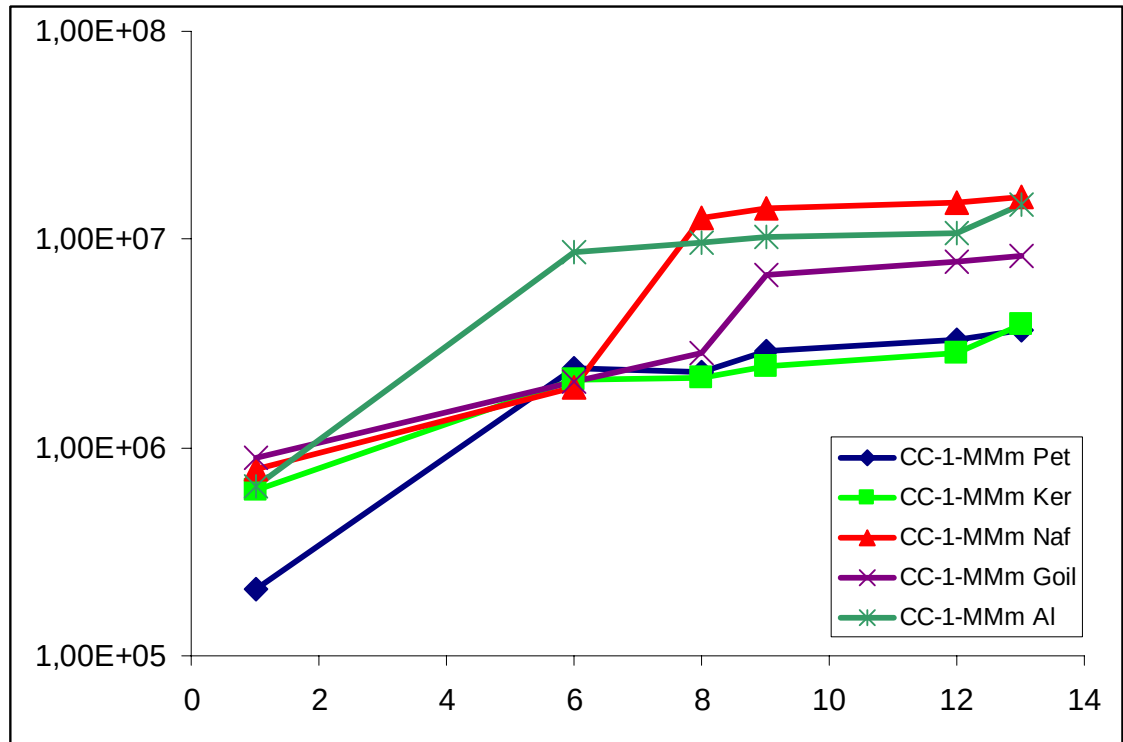


Figura 16: Cromatograma de la fracción C7 a C30 del petróleo Escalante (petróleo que se derramó en la playa de Caleta Córdova).

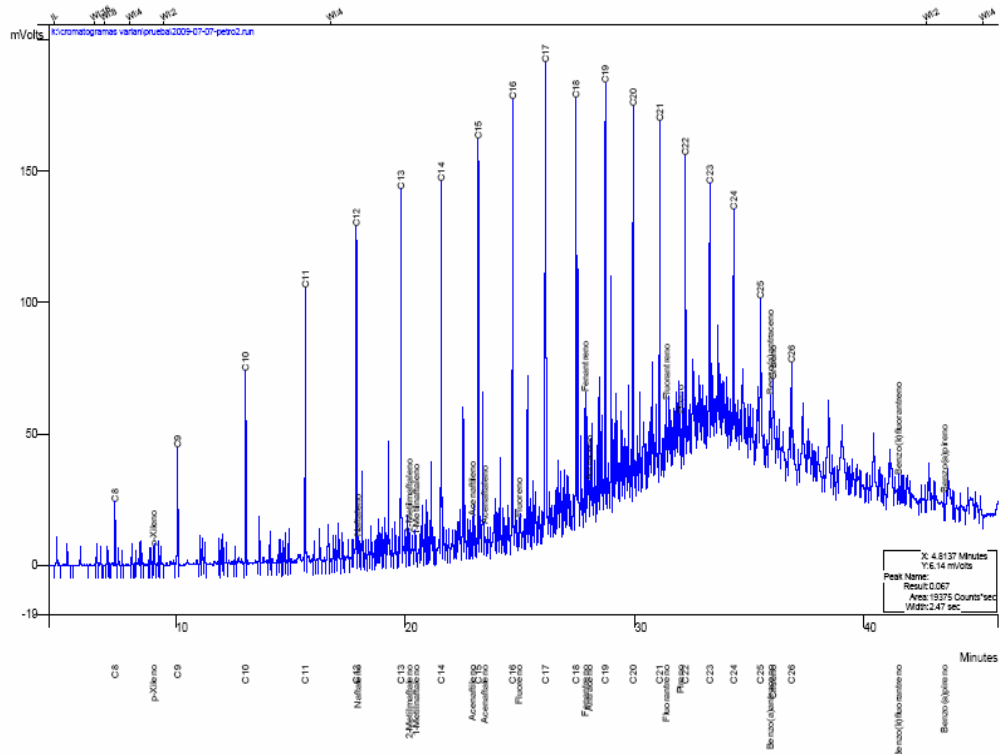


Figura 17: Cromatogramas obtenidos de Caleta Córdova después de la limpieza inicial, obsérvese que la escala es de sólo el diez por ciento de la escala del cromatograma anterior. Corresponden de arriba a abajo a los meses febrero, marzo, final de marzo, abril, principio y fines de mayo

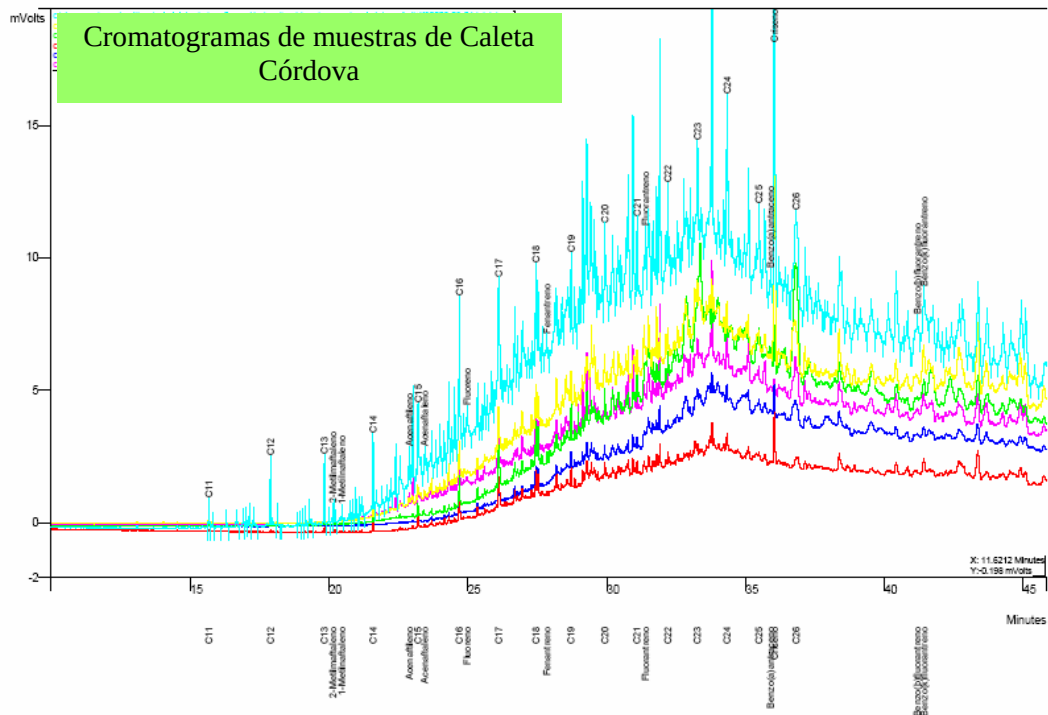
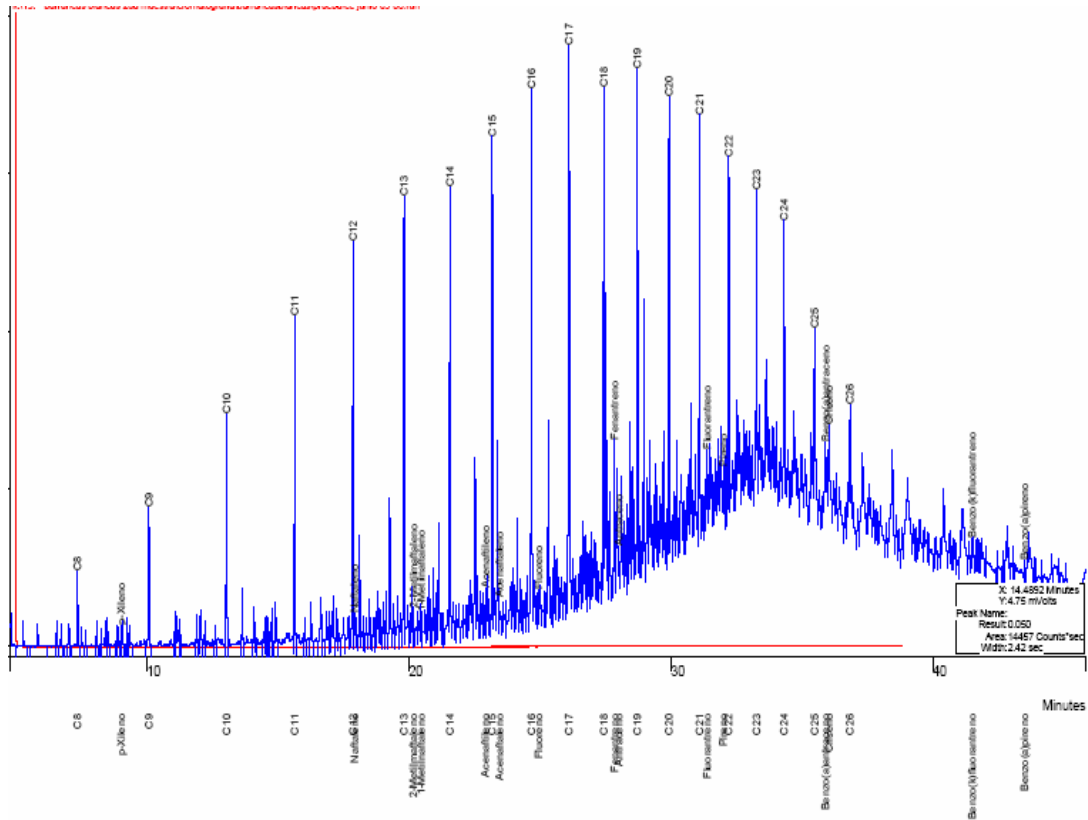


Figura 18: Comparación del petróleo derramado en la playa de Caleta Córdova (en color azul) y el resultado final de la extracción de sedimento de la playa luego de la atenuación natural (en color rojo).



BIBLIOGRAFIA

Monitored Natural Attenuation of petroleum Hydrocarbons EPA/600/F-98/021 May 1999
www.epa.gov/ahaazvuc/download/fact/pet-hyd.pdf

Natural-attenuation Groundwater
<http://www.pca.state.mn.us/water/groundwater/natural-attenuation.html>

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action and Underground Storage Tank Sites".
<http://www.epa.gov/swrust1/directiv/9200417.htm>. (November 1997).

Mills, M.A., Bonner, J.S., McDonald, T.J., Page, C.A., Autenrieth, R.L., 2003. Intrinsic bioremediation of a petroleum-impacted wetland. *Marine Pollution Bulletin* 46, 887–899.

Forsyth, J.V., Tsao, Y.M., Bleam, R.D., 1995. Bioremediation: when is augmentation needed. In: Hinchey, R.E., Fredrickson, J., Alleman, B.C. (Eds.), *Bioaugmentation for Site Remediation*. Battelle Press, Columbus, pp. 1–14.

Ramsay, M.A., Swannell, R.P.J., Shipton, W.A., Duke, N.C., Hill, R.T., 2000. Effect of bioremediation community in oiled mangrove sediments. *Marine Pollution Bulletin* 41, 413–419.

Ke, L., Wang, W.Q., Wong, T.W.Y., Wong, Y.S., Tam, N.F.Y., 2003. Removal of pyrene from contaminated sediments by mangrove microcosms. *Chemosphere* 51, 25–34.