

RESTAURACION DE AREAS CONTAMINADAS POR METODOS BIOLOGICOS

Ercoli*, Eduardo; Fernández●, Lila; Gálvez*, José; Vera●, Fernando.

● REPSOL-YPF SA, SSA. Refinería Región Luján de Cuyo.

* Universidad Nacional de Cuyo, Bioprocesos, Facultad de Ingeniería.

Introducción

Se presentan resultados generales de un programa de restauración de áreas contaminadas tratadas por métodos biológicos. El programa de saneamiento se inició en Abril de 1997 con el objeto de recuperar sitios que durante años fueron destinados a acumulación de residuos de hidrocarburos, especialmente lodos y sedimentos. Todos los sitios afectados fueron evaluados respecto del nivel de contaminación para lo cual se aplicaron técnicas de muestreo y de análisis estandarizadas. Se definieron dos grandes áreas de restauración una de 22000 m² y la otra de 16000 m² de superficie. Los suelos afectados contenían principalmente residuos generados por la limpieza de las piletas API y los barros provenientes de limpieza de tanques, con una concentración de hidrocarburos muy variable. Se elaboró un mapa de contaminación de las áreas seleccionadas hasta los cuatro metros de profundidad. Los estudios previos se iniciaron con la aplicación de un protocolo de tratabilidad que incluyó ensayos en escala laboratorio y piloto. Además se contaba con las experiencias de biorremediación efectuadas en la Refinería entre 1992 y 1993. Las áreas de tratamiento se delimitaron por bordos perimetrales y se construyó un sistema de riego por aspersión en una de ellas. Se ha observado que el sistema se mantuvo en valores de degradación elevados y en algunos sectores la concentración de hidrocarburos ya alcanzó los valores límites fijados como meta.

Descripción de los sectores de tratamiento

Los sectores de tratamiento se denominaron “sector este y “sector norte”

Sector Este. El suelo es de tipo aluvional con gran cantidad de piedras y cantos rodados de gran tamaño. Las rocas y piedras grandes fueron retirados del sector. La pendiente del terreno tiene dirección hacia el Este. No presenta cursos de agua permanente o aluvional. El agua subterránea se encuentra entre 135 m y 145 m de profundidad. En la zona circundante se realizaron excavaciones hasta 4 m de profundidad y no se observó agua subterránea cercana a la superficie. Existen bordos de contención de más de 3 metros de altura.

Estudio preliminar. Se procedió a realizar un muestreo en profundidad para determinar la presencia de hidrocarburos mediante la construcción de tres calicatas de 3 m de profundidad con retroexcavadora. Se determinó visualmente la presencia de hidrocarburos en el terreno y se tomaron muestras para determinar la concentración de hidrocarburos en las zonas donde se observó presencia del mismo. En uno de los pozos (pozo1, cerca de la periferia del sector) se encontró hidrocarburo en los primeros 0,40 m, en el segundo (pozo 2, centro del área) se observó hidrocarburo hasta 1,2 m de profundidad y en el tercero (fuera del área) no se detectó hidrocarburo. Las muestras fueron analizadas por la norma ASTM D-473 y por extracciones sucesivas con tres solventes (Cloroformo, Hexano y Etanol, ESS) seguido de una calcinación a 550° C. La concentración de hidrocarburos osciló entre 8 % y 10,4 % (según norma ASTM D-473) y entre 15,2 % y 20,6 % según la técnica ESS (Tabla 1 y 2)

Análisis	Conc.	Unidad	Técnica
Hidrocarburos totales	7,99	%	Norma ASTM D 473
Hidrocarburos totales	15,24	%	Determinación gravimétrica mediante extracciones sucesivas con solventes

Tabla 1. Concentración de hidrocarburos en el pozo 1.

Análisis	Conc.	Unidad	Técnica
Hidrocarburos totales	10,41	%	Norma ASTM D 473
Hidrocarburos totales	20,68	%	Determinación gravimétrica mediante extracciones sucesivas con solventes

Tabla 2. Concentración de hidrocarburos en el pozo 2.

Nivelación del terreno y construcción de parcelas.

Se niveló el terreno a remediar y se lo ha dividido en dos sectores: mitad sur del terreno y mitad norte. Cada uno de estos dos sectores se dividió en cuatro parcelas, delimitadas por bordos y zanjas (figura 1)

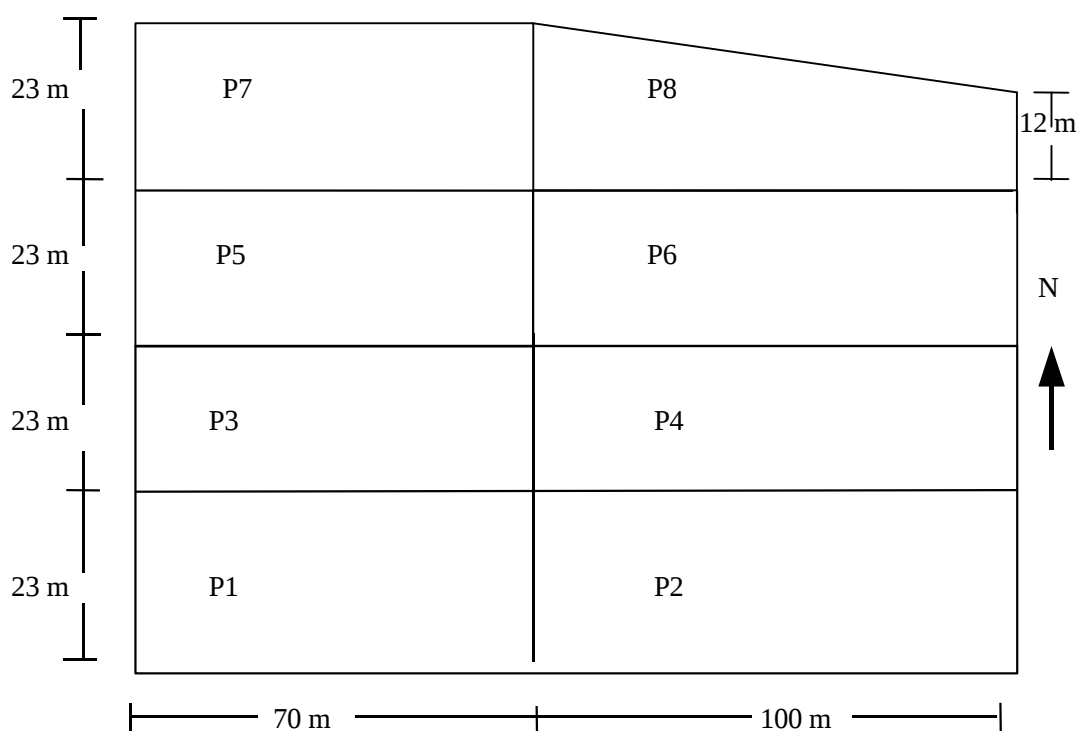


Figura 1. Croquis del Sector Este.

Se aró la totalidad de las parcelas mediante el uso del escarificador de una motoniveladora. Se extrajeron del lugar los restos metálicos y las piedras. Posteriormente se realizaron las tareas de remoción mediante tractor provisto de arado de rejas y luego rastra de discos para

homogeneizar el suelo. El predio está rodeado por un camino de circunvalación de 6 m de ancho. También se construyó de un sistema de riego por aspersión que se alimenta mediante bombeo desde las instalaciones de tratamiento de agua.



Figura 2. Vista de la zona más afectada del Sector Este

Toma de muestras: Se tomaron muestras de las parcelas de acuerdo a la norma CONCAWE 3/80. La concentración inicial de hidrocarburo se muestra en la tabla 3.

Parcela	Concentración de hidrocarburos %	Técnica
P1	17,3 9,1	ESS + calcinación ESS
P2	16,9 9,6	ESS + calcinación ESS
P3	18,9 11,7	ESS + calcinación ESS
P4	30,1 17,8	ESS + calcinación ESS
P5	19,4 9,9	ESS + calcinación ESS
P6	21,6 9,4	ESS + calcinación ESS
P7	19,2 11,2	ESS + calcinación ESS
P8	26,0 15,4	ESS + calcinación ESS

Tabla 3. Concentración de hidrocarburos en Sector Este

Se realizó además un análisis microbiológico usando la técnica de recuento en placa de microorganismos aerobios degradadores de hidrocarburo. El objeto de este estudio fue evaluar la capacidad del sistema para realizar el proceso sin incorporación de microorganismos exógenos. Se encontró que la concentración en cada sector era suficiente para iniciar el proceso degradativo (tabla 4).

Parcela	Estado de contaminación	Recuento microbiano (nº microorg/g suelo)
P2	baja	64 E06
P4	media	12 E06
P6	alta	14 E06

Tabla 4. Concentración de microorganismos en el Sector Este



Figura 3. Sistema de riego.

Sector Norte. El suelo es relleno de material aluvional con alto contenido de rocas y clastos, lo que dificulta el uso de herramientas agrícolas comunes. La pendiente tiene dirección hacia el Oeste. El predio está elevado dos metros por encima del nivel del terreno y recorrido por un camino de acceso en los límites oeste, sur y este. Al norte está limitado por un alambrado. Se realizó la delimitación de parcelas y sobre estas se determinó la concentración inicial de hidrocarburos (tabla 5). La concentración de microorganismos fue del orden de 10 E6 siendo innecesario inocular.

Toma de muestras: Se tomaron muestras de las parcelas a medida que se fueron habilitando. Se han tomado las muestras de acuerdo a la norma CONCAWE 3/80.

Parcela	Concentración de hidrocarburos %	Técnica
P9	6,3 22,4	ESS + calcinación ESS
P10	14,5 8,9	ESS + calcinación ESS
P11	12,5 7,5	ESS + calcinación ESS

Tabla 5. Concentración inicial de hidrocarburo

Preparación del terreno. Se niveló el sector con topadora y se retiraron los metales y rocas grandes. Se construyeron bordos de contención en los límites del área para evitar desbordes o desplazamiento de suelo contaminado fuera del predio en caso de producirse lluvias torrenciales.

Proceso de tratamiento. Inicialmente se realizó una remoción mediante arado de rejas y rastra de discos. Durante el proceso de remoción se complemento el uso de arado con escarificador profundo (0,8 a 1 m) que produjo la incorporación de material contaminado subsuperficial al sector de tratamiento. A medida que fue necesario se incorporaron nutrientes en base a una relación prefijada C:N:P.

Resultados

La concentración de hidrocarburos totales varió cíclicamente durante el proceso tal como se muestra en la figura 4, que describe el comportamiento de una de las 15 parcelas. Este comportamiento se repite en todos los casos. El incremento se debe a incorporación gradual de hidrocarburo desde la subsuperficie. Además influye la migración del hidrocarburo libre que se realiza por capilaridad. Esto equivale a realizar una recarga del área con hidrocarburos. En todas las parcelas se produjo este hecho a intervalos de tres a 4 meses.

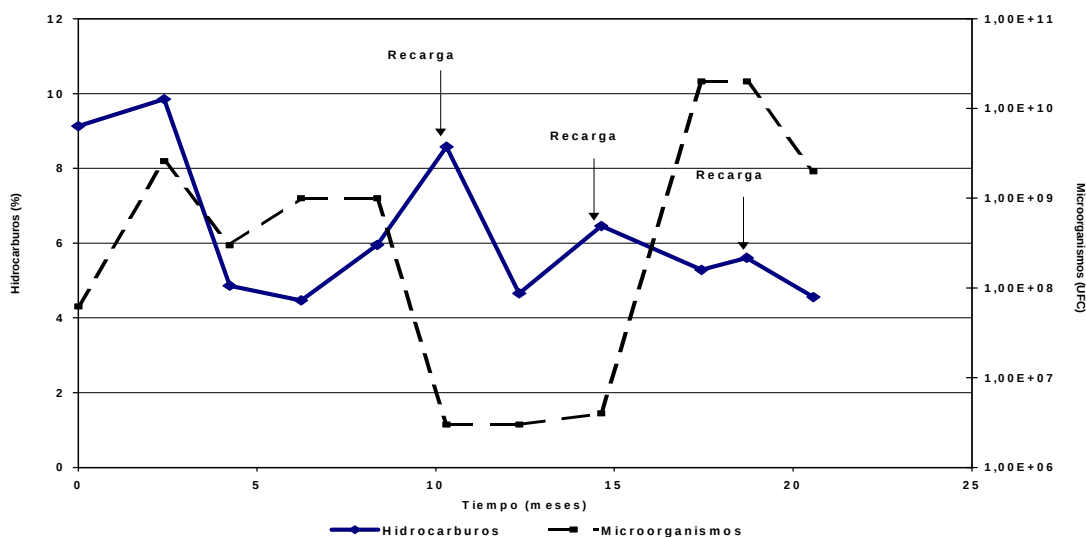


Figura 12. Evolución de la concentración de hidrocarburos en la parcela P1

El proceso se inicia a una concentración de alrededor de 10 % de hidrocarburos (ESS) en condiciones adversas para el desarrollo microbiano y desciende rápidamente al 5% en el segundo mes y luego al 4,5 % en el cuarto mes, lo que equivale a una reducción de la concentración de hidrocarburo de 50 % y 54 % respectivamente. Esta disminución de la concentración de hidrocarburos se halla en correspondencia con el incremento de la masa microbiana en un orden de magnitud (10 veces).

Después de la primera recarga (entre el séptimo y noveno de tratamiento) la concentración de hidrocarburo alcanza 8,5 % y en el primer mes de tratamiento desciende a 4,7 % (30 % de degradación), a pesar de que la población microbiana desciende 2 órdenes de magnitud debido a las bajas temperaturas registradas que disminuyen su velocidad de crecimiento. En la segunda recarga (mes 16) la concentración de hidrocarburos alcanza 6,5 % y desciende al mes siguiente a 5,3 % (18 % de degradación), luego sube a 5,6 % y baja a 4,6 % (18 % de degradación). En estas últimas recargas el sistema ha degradado rápidamente los hidrocarburos incorporados debido a la presencia de una masa microbiana activa muy importante (entre 9 E10 UFC/g de suelo y 10 E10 UFC/g se suelo).

El volumen de suelo tratado en el sector este y en el sector norte conjuntamente se observa en la tabla 6.

Parcela	Volumen parcela m ³	Volumen suelo tratado m ³	Masa de nutriente utilizado kg
P1	705	915	2575
P2	810	755	3475
P3	705	611	2850
P4	810	675	4050
P5	705	481	3200
P6	810/1440	654	3725
P7	705	697	2350
P8	630	374	950
P9	1308	913	1350
P10	1308	876	1600
P11	1308	284	1400
Total	9804	7235	27525

Tabla 6. Volumen de suelo tratado, discriminado por parcela.

En las etapas finales del proceso, se realizó una medición de la concentración de hidrocarburos mediante la técnica descrita por *USEPA 418.1* para definir la concentración de hidrocarburos en base a dicha norma, que es una de las más aceptadas (la legislación argentina no fija valores límites para hidrocarburos totales en suelo). Se consideraron las parcelas P1, P3 y P5 (tabla 7).

Parcela	Hidrocarburos (ppm)	Técnica
P1	5900	USEPA 418.1
P3	11300	USEPA 418.1
P4	14600	USEPA 418.1

Tabla 7. Concentración de hidrocarburos totales en suelo según USEPA 418.1

Conclusiones

La técnica de biorrestauración aplicada ha demostrado ser adecuada para el tratamiento de grandes volúmenes de suelo empetrolado. El tratamiento in-situ es el más adecuado para estos casos. El proceso de biodegradación con la masa microbiana activa propia del lugar ha manifestado una evolución favorable, no observándose factores inhibitorios que perjudiquen sensiblemente la eficiencia del proceso. En las etapas finales del proceso de remediación se observó el crecimiento espontáneo de diversas plantas, las cuales cumplen una función importante en la restauración final del suelo.

Bibliografía

- A.S.T.M., *Annual Book of A.S.T.M. Standars*. Part 23, pag 271-273. 1980.
- Anonymous: *Methods for the Analysis of Oil in Water and Soil*. Report N° 9/72. Stichting Concauwe, The Hague, Belgium. 1972
- Arendt, F., y otros tres editores, *Contaminated Soil'93*, Volume I -II. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands 1993.
- Aust S.D. y J.A.Bumpus. *Biodegradation of Halogenated Hydrocarbons*. National Environmental Publications Information. EPA. Environmental Research Brief. 1.600M87012. 1987.
- Balba M.T., Al-Daher R. and Al-Awadhi N. *Bioremediation of Oil- Contaminated desert Soil: the Kuwaiti Experience*. Environment International, Vol. 24, N° 1/2, pp. 163-173. 1997
- Breidenbach C. and Müller R. *Which Parameters Influence the Degradative Abilities of Added Microorganisms in soil?*. Contaminated Soil'95, 1163-1164.1995.
- Bonnier, P.E. et al. *Sludge farming: a technique for the disposal of oily refinery wastes*. Report no 3/80. CONCAWE, Den Haag, March, 1980
- Chaineau, C.H. , J.L. Morel, J. Oudot, *Microbial Degradation in Soil Microcosms of Fuel Oil Hydrocarbons from Drilling Cuttings*. Environmental Science & Technology : 29 (6), 1615-1621. 1995.
- Dibble, J.T. , R. Bartha, *Effect of Environmental Parameters on the Biodegradation of Oil Sludge*. Applied and Environmental Microbiology, p.729-739, Apr. 1979.
- Ercoli, E., y otros, *Tratamiento Biológico de Lodos de Refinería*. 2º Simposio de Producción de Hidrocarburos. IAPG. 497- 506. 1995.
- Ercoli E., y otros, *Total petroleum hydrocarbon monitoring in biodegradation of weathered crude oily residues* . The fourteenth International Conference on Solid Waste technology and Management, Philadelphia, P.A. U.S.A. 1998.

Ercoli, E y otros. *Evaluación de dos años de experiencias de campo en biorremediación de suelos*. 3ras Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas, IAPG: Tomo 1, 47-60. 1998.

Errampalli D., Trevors J.T., Lee H., Leung K., Cassidy M., Knoke K., Marwood T., Shaw K., Blears M. and Chung E. *Biorremediation: A Perspective*. Journ. of Soil Contamination, 6(3):207-218. 1997.

Gen-Hsung Lin, Nancy E. Sauer and Teresa J. Cutright. *Environmental Regulations: A Brief Overview of their Applications to Bioremediation*. International Biodeterioration and Biodegradation 1-8. 1996.

Hart, S., *In Situ Bioremediation: Defining the Limits*. Environmental Science & Technology: 30 (9), 398-401. 1996.

Hueseman, M. *Guidelines for Land-Treating Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils*. Journal of Soil Contamination. 3(3). 1994

LaGrega, M.D.; Buckingham, P.L. Evans, J.C., *Gestión de Residuos Tóxicos*, McGraw-Hill, Madrid, 1996.

Radwan S.S., Sorkhoh N.A., El-Nemr I.M. and El-Desouky A.F. *A feasibility study on seeding as a bioremediation practice for the oily Kuwaiti desert*. Journ. of Applied Microbiology 83, 353-358. 1997.

Rodrigues, E.G.C., Menezes, E.P., Santa Anna, L.m.M., Vital, R.L., Sebastian, G.V. *Oil Degrading microorganisms*. LABS 2. p.144. 1996.

Salanitro J.P., Dorn P.B., Huesemann H., Moore K.O., Rhodes Y., Rice Jackson L.M., Vipond T.E. Western M.M. and Wisniewski H.L. *Crude Oil Hydrocarbon Bioremediation and Soil ecotoxicity Assesment*. Env. Sci. and Technol. 31, 1769-1776. 1997.

U.S. Congress, Office of Technology Assessment, *Bioremediation for Marine Oil Spills, Background Paper*, OTA-BP-O-70, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1991.

Venkateswaran, K. and Harayama, S., *Biodegradation potentials of Oil - Degrading Microorganisms. Geotechnical Applications. Chapter 9, p. 309 – 334*.

Venkateswaran, K., Toshihiro, H., Kato, M. and Maruyama, T., *Microbial degradation of resins fractionated from Arabian light crude oil*. Can. J. Microbiol. 41: 418 – 424. 1995

Wright, A. L., Weaver, R. W. and Webb, J. W. 1996. *Oil bioremediation in salt marsh mesocosms as influenced by N and P fertilization, flooding, and season*. Water, Air, and Soil Pollution 95: 179 – 191. 1997.