

**ANALISIS SOBRE LA APLICABILIDAD DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS A  
SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS ASFALTENICOS**

Ercoli\*, E.; Ríos♦, R.; Gálvez\*, J.; Cantero\*, J.; Videla, S.

♦ YPF SA, Yacimientos La Ventana y Vizcacheras.

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

Este trabajo ha sido presentado y publicado en:

INGEPET 2002

Lima, Perú. Año 2002.

Formato electrónico

## ANALISIS SOBRE LA APLICABILIDAD DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS A SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS ASFALTENICOS

VAR – 1 Medio Ambiente - Environmental

Ercoli\*, E.; Ríos♦, R.; Gálvez\*, J.; Cantero\*, J.; Videla, S.

♦ YPF SA, Yacimientos La Ventana y Vizcacheras.

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

La aplicación de técnicas biológicas al tratamiento de suelos con baja y moderada concentración de hidrocarburos livianos, de hasta 20 átomos de Carbono, ha demostrado ser eficiente y económica. No acontece lo mismo con suelos contaminados con hidrocarburos más pesados, en donde su uso se ve seriamente limitado. En este estudio se evalúa la técnica en suelos muy contaminados donde el 35 % de los hidrocarburos a degradar supera los 20 átomos de Carbono. Desde el punto de vista técnico, la velocidad de degradación de los hidrocarburos es la etapa limitante. No obstante ello, la amplia brecha en términos de costos que separa las técnicas biológicas de otros métodos de tratamiento, nos ha llevado a evaluar su aplicación en condiciones no convencionales. Un extensivo estudio previo realizado en el Yacimiento La Ventana (Saracino, Ercoli y otros, IAPG, 1998) permitió demostrar la factibilidad técnica de biorremediar suelos contaminados con hidrocarburos de alto peso molecular. El propósito de este trabajo es demostrar su viabilidad económica, para lo cual se evalúan resultados del tratamiento de 15000 m<sup>3</sup> de suelo proveniente de derrames de crudo como así también de residuos de limpieza de tanques y ductos, lodos de perforación y fondos de piletas de evaporación. Se han combinado dos tipos de técnicas biológicas: *landfarming* y *biopilas aireadas mecánicamente*. En todos los casos se planteó un tratamiento por etapas. El movimiento de suelos influye marcadamente en el costo total de tratamiento por ello cada sector de tratamiento fue estratégicamente ubicado en el yacimiento de modo de minimizar los costos de traslado del material a tratar. En este trabajo se analizan los criterios con que se opera cada etapa, se muestran los resultados obtenidos y se discuten vías alternativas para la obtención de metas de limpieza. Se han tratado suelos con concentraciones de hidrocarburos totales de hasta 15 % obteniéndose degradaciones globales de 80 a 85 % en períodos de 18 a 24 meses. Los costos por unidad de suelo tratado son competitivos frente a alternativas no biológicas.

## Introducción

Debido a la necesidad que tienen las empresas petroleras de tratar suelos contaminados con hidrocarburos pesados, se ha propiciado el estudio y desarrollo de técnicas biológicas mediante las cuales se han tratado 15.000 m<sup>3</sup> de suelos contaminados. Si bien estas técnicas no son consideradas eficientes para este tipo de condiciones, los resultados obtenidos han permitido demostrar que a pesar de que el tiempo de proceso involucrado es muy superior (entre 10 meses y 2 años) al utilizado en suelos contaminados con hidrocarburos livianos (entre 6 a 8 meses) los costos del tratamiento son aún convenientes en relación a otras técnicas de remediación; además se obtiene un suelo de características ambientalmente aceptables. En el siguiente trabajo se describen las características de los suelos y contaminantes tratados, así como las etapas intensivas y no intensivas de tratamiento. Se analizan y comparan los resultados obtenidos.

## Características de los hidrocarburos

La generación de suelos empetroados con hidrocarburos de elevado peso molecular en los yacimientos de la zona Norte de Mendoza (Argentina) permite encontrar situaciones de contaminación que alcanzan o superan el 15 % en Hidrocarburos Totales. Estos suelos empetroados provienen de diversos orígenes, como derrames de crudo, residuos operativos de limpieza de tanques y ductos mezclados con lodos de perforación y fondos de antiguas piletas de evaporación.

En Mendoza los crudos a tratar son generalmente pesados, su composición promedio es la siguiente:

Átomos de Carbono	%
C5 – C6	22
C7 – C12	23
C12 – C20	20
> de C20	35

En esta zona encontramos suelos formados por arenas limosas y cantos rodados sueltos por lo que casi siempre la contaminación con hidrocarburos pesados supera los límites de biodegradabilidad. Este tipo de hidrocarburo suele ser hidrofóbico, no se homogeneiza con facilidad en el suelo y tiende a oxidarse dando otros hidrocarburos de menos átomos de carbono. Por ejemplo los asfaltenos dan compuestos aromáticos polinucleares y resinas.

En otros yacimientos argentinos (Neuquén) los crudos a tratar son generalmente livianos, su composición promedio es la siguiente:

Átomos de Carbono	%
C5 – C6	31
C7 – C12	62
C12 – C20	7
> de C20	-

Por lo tanto se trabaja en suelos areno - limosos con hidrocarburos livianos. Esto hace que difícilmente encontremos situaciones de contaminación que superen el 5 a 6 %. Este tipo de hidrocarburo suele ser más soluble en agua, se homogeneiza con facilidad en el suelo y tiende a oxidarse dando  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$

### **Tratamiento de suelos con hidrocarburos pesados**

La aplicabilidad de métodos biológicos para el tratamiento de estos residuos característicos de los yacimientos de Mendoza, fue comprobada en una etapa experimental realizada en el yacimiento La Ventana. Sobre la base de esta experiencia, se seleccionaron las alternativas de tratamiento de acuerdo con el origen del suelo y con las condiciones ambientales más convenientes.

En el yacimiento La Ventana se trataron por la técnica de Landfarming 1.200 m<sup>3</sup> de suelo originados del saneamiento de antiguas piletas de evaporación, donde además de contener hidrocarburos de alto peso molecular presentaba elevada concentración de sales provenientes del agua de formación. El suelo se dispuso en dos parcelas de iguales dimensiones, se ajustaron las condiciones nutricionales y se laboreó en un espesor de 0.30 m. Este proceso se desarrolló en dos etapas. La primera se aplicó durante 10 meses y consistió en una remoción mensual del suelo con ajuste de nutrientes y humedad según las necesidades emanadas del control de proceso, obteniéndose una degradación de Hidrocarburos Totales del 56%.

En la segunda etapa, de tratamiento menos intensivo, se preparó el suelo para que, en condiciones agronómicas adecuadas, prosperen las especies autóctonas que integran el monte natural y acontezca la última fase degradativa, hasta arribar a las metas de limpiezas establecidas. Esta etapa se desarrolló en 24 meses y se obtuvo una degradación de Hidrocarburos Totales del 58 %.



En el yacimiento Vizcacheras, también por la técnica de Landfarming, se trataron 3.500 m<sup>3</sup> de suelos provenientes de derrames y residuos operativos de yacimiento. Se dispusieron cuatro parcelas donde se trabajó en forma intensiva un espesor de suelo de 0.30 m. En la primera etapa, se ajustaron las variables que regulan el proceso biológico según monitoreos mensuales, obteniéndose una degradación de Hidrocarburos Totales de 64 % en 12 meses de tratamiento. En la segunda etapa, donde también prosperaron especies vegetales autóctonas, se obtuvo una degradación de Hidrocarburos Totales del 46 % en 8 meses y se espera arribar a las metas de limpieza deseadas en un corto plazo.



Durante varios años, en las proximidades de la batería 2 VM del yacimiento La Ventana, se dispusieron en el interior de un tanque australiano de grandes dimensiones, material proveniente de suelos empetrolados y residuos de limpieza de tanques y ductos para su posterior gestión. Teniendo en cuenta las condiciones de aislamiento del recinto y las posibilidades que ofrecen los procesos biológicos sobre suelos contaminados con hidrocarburos de elevado peso molecular, se diseñó el tratamiento para  $7.360 \text{ m}^3$  de suelo por la técnica de Biopilas Aireadas Mecánicamente, desarrollada en el Laboratorio de Bioprocesos. Este procedimiento aplicado en una pila que alcanza una altura de 2 m, se diseñó según tres etapas. La primera, de tratamiento semi-intensivo, consistió en una remoción permanente de toda la masa de suelo, mediante la pala de una retroexcavadora de gran capacidad. El efecto de la remoción mecánica en profundidad incrementa drásticamente los fenómenos de transferencia de materia al mismo tiempo que permite oxigenar y homogeneizar el suelo. En forma simultánea al procedimiento de remoción se incorporan nutrientes y agua, si el proceso degradativo lo requiere.



Durante 10 meses de tratamiento semi-intensivo se obtuvo una degradación de hidrocarburos totales del 44 %. Se observó además un sostenido aumento de la temperatura de la masa de suelo debido a la actividad metabólica de importantes comunidades de hongos y bacterias degradadoras de hidrocarburos. Estas condiciones se mantuvieron aún en los meses fríos ya que la altura de la pila impidió que la mayor parte del suelo fuera afectado por las condiciones ambientales externas. Sin embargo, debido al exceso de humedad del suelo ocasionado por las lluvias estivales, fue retirado del tanque para someterlo a un proceso que permitiera una mayor aireación. De este modo se inició una segunda etapa de tratamiento menos intenso, partiendo de un 6% de hidrocarburos. El suelo se dispuso formando camellones de 2.5 m de ancho por 2 m de alto y 100 m de largo, en locaciones especialmente adaptadas. Para esta situación particular se ajustaron las condiciones nutricionales y se implementó un nuevo procedimiento de remoción, procurando un efecto de cernido del suelo, mediante la pala de una retroexcavadora. Este trabajo se reiteró durante 7 meses con una frecuencia quincenal, lográndose una degradación de hidrocarburos totales del 47 %. Actualmente se está iniciando la tercera etapa de tratamiento, que consiste en dar al suelo las condiciones adecuadas para la revegetación espontánea y la atenuación del hidrocarburo remanente, hasta alcanzar las metas de limpieza. Se efectúa un monitoreo semestral de las variables de proceso.

### **Tratamiento de suelos con Hidrocarburos livianos**

La aplicabilidad de medios biológicos para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de bajo peso molecular fue comprobada en una etapa experimental realizada en el yacimiento Loma La Lata, Neuquén (Ercoli y otros, SPE 69445, 2.001). El tratamiento se realizó en dos etapas, la primera etapa tuvo una duración de 6 meses, comenzando con una concentración de hidrocarburos totales de 4,6 %. La degradación obtenida fue de 78 %, el tratamiento se realizó en una pileta impermeabilizada, con una frecuencia de remoción quincenal y el aporte de los nutrientes necesarios.

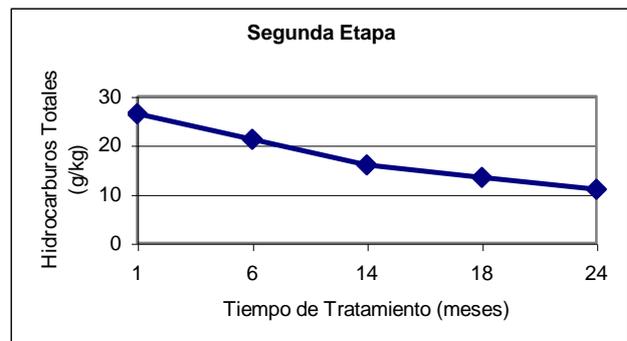
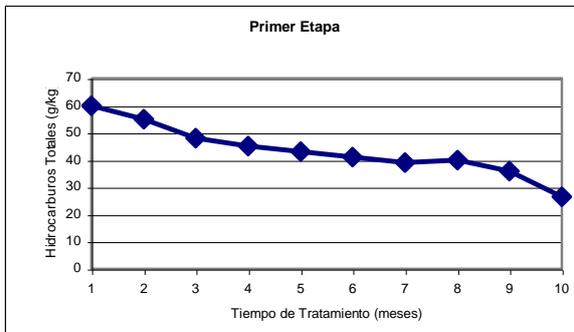
En la segunda etapa se trasladó el suelo a una picada destinada a su revegetación, disponiendo el suelo en capas de 0.20m. La concentración de hidrocarburos con que se trasladó el material del suelo fue de 0.8 % lográndose en 21 meses una degradación de 58 %. Durante esta etapa no se incorporaron nutrientes ni se removió el suelo.



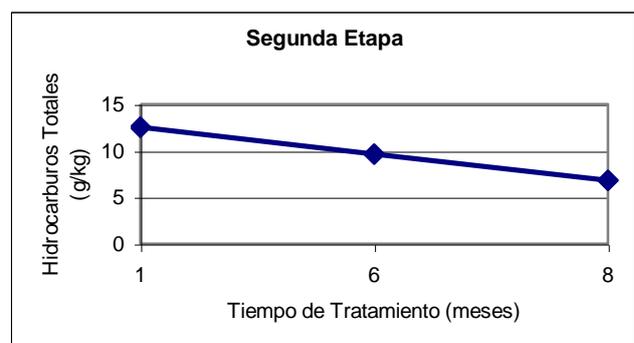
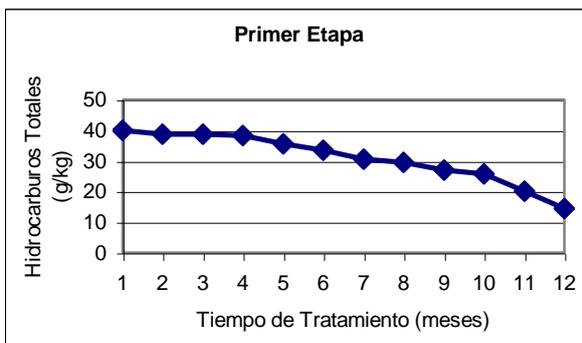
## Resultados

Para este estudio se tomaron las diferentes etapas en que se concretó cada uno de los tratamientos, considerando como puntos de partida las concentraciones de hidrocarburos presentes en el suelo, luego de que estos fueran intensamente homogeneizados al iniciar el tratamiento. El control de hidrocarburos en las etapas finales se realizó al concluir los trabajos de remoción o bien cuando fueron trasladados al lugar de disposición final.

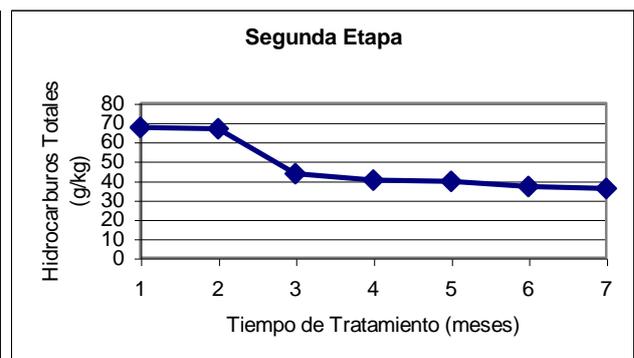
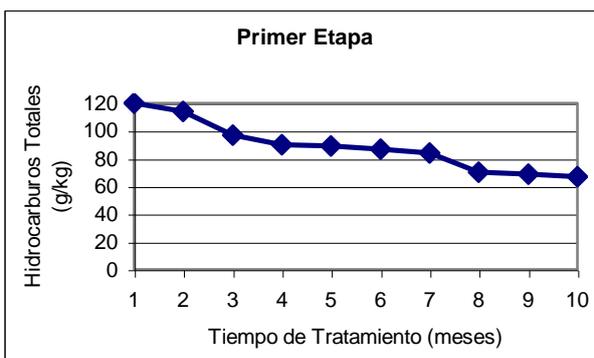
### Landfarming La Ventana (fondos y taludes de piletas de evaporación)



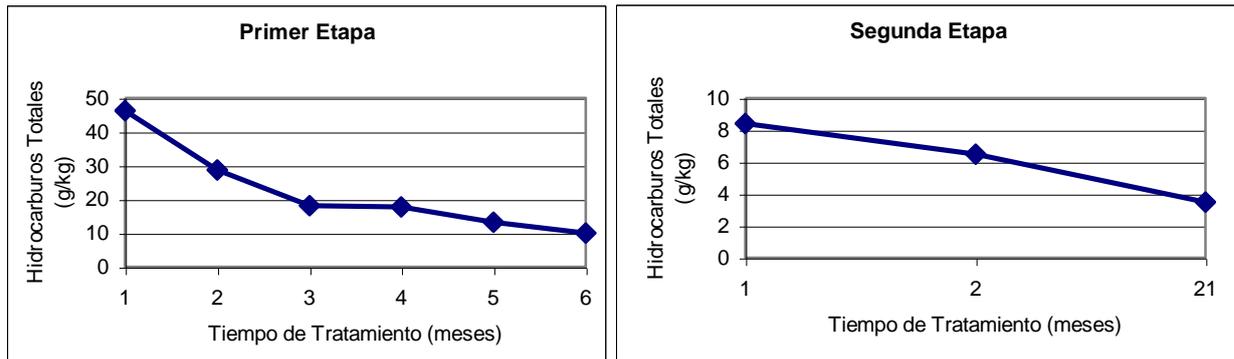
### Landfarming Vizcacheras (residuos operativos de yacimiento)



### Biopila Aireada Mecánicamente para suelos con hidrocarburos pesados (2 VM)



## Biopila Aireada Mecánicamente para suelos con hidrocarburos livianos (Neuquén)



### Conclusiones

Los resultados indican que en suelos contaminados con hidrocarburos pesados se alcanzaron porcentajes de degradación de 56 % en la primer etapa de tratamiento. En los casos de los procesos de Landfarming de La Ventana y Vizcacheras, como no se llegó en una sola etapa a las metas de limpieza recomendadas (1% de hidrocarburos totales en suelo), se continuó con el control de los suelos en una segunda etapa, que si bien fué más lenta, permitió obtener concentraciones de hidrocarburos inferiores a las recomendadas y no representó un incremento significativo en los costos de tratamiento.

En cuanto a las biopilas aireadas mecánicamente se debe aclarar que no solamente se trabajó con hidrocarburos pesados, sino que además los mismos se encontraban en altas concentraciones (12 % vs. 4.6 % de la Biopila convencional) por ello en la primera etapa de 2VM se degradó el 44 % del hidrocarburo presente (de 120 g/Kg a 67,5 g/kg). Llegado a este punto se consideró necesario para el proceso biológico modificar el sistema de remoción, logrando en esta segunda etapa una degradación del 47% (de 67.5 mg/Kg a 35.7 mg/Kg). Al haber alcanzado esta condición, que es comparable con la segunda etapa de la técnica de Landfarming, se inicia la tercera etapa de proceso con el objeto de lograr la degradación de hidrocarburos remanentes en períodos de más de dos años, pero que tiene baja incidencia en el costo final del tratamiento.

Si bien se observan diferencias importantes entre los costos de una biopila con hidrocarburos livianos (inferior a U\$S 15 por m<sup>3</sup> en grandes volúmenes) y los de una biopila con hidrocarburos pesados (entre U\$S 20,00 y U\$S 25 por m<sup>3</sup>), estos costos son significativamente menores comparados con otras alternativas técnicas.

### Análisis fisicoquímicos de suelos

Hidrocarburos Totales del Petróleo (% TPH): *Espectroscopía Infrarroja (IR) según método EPA 418.1 modificado.*

Determinación Cromatográfica de los Hidrocarburos Totales del Petróleo: *Hidrocarburos del Petróleo entre C6 y C35. Cromatografía gaseosa (detector FID) según el TNRCC (Texas Natural Resource Conservation Comition) método 1006 para caracterización de esos hidrocarburos en muestras medioambientales.*

Análisis granulométrico de suelos. *Norma IRAM 10507*

## Bibliografía

Bosma et al. Mass Transfer Limitation of Biotransformation: Quantifying Bioavailability. *Environ. Sci. Technol.* (1997) 31, 248-252.

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

De Kreuk et al, J.F. y Annokkee, G. J. *Applied Biotechnology for Decontamination of Polluted Soils: Possibilities and Problems*, Contaminated Soil 88. Kluwer Academic Publishers. 1988.

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., Gálvez, J.; Aranzadi, E. *Degradación biológica en suelos contaminados con hidrocarburos*. 2º Simposio de Producción de Hidrocarburos. Instituto Argentino del Petróleo., Tomo 1 pag. 487-496. 1995

Ercoli, E., Gálvez, J.; Aranzadi, E.; Santos, A.; Cantassano, P. *Tratamiento Biológico ex-situ de residuos semisólidos de oleoductos*. 1º Encuentro Latinoamericano para la Calidad en la Industria Petrolera: 311-318. 1995.

Ercoli, E., Galvez, J. Aranzadi, E. Di Paola, M. *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., Saracino. C.; Galvez, J.; Videla. O. *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.

Ercoli, E., Gálvez, J.; Videla, S.; Curci, E.; Calleja, C. *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. INGEPET 99, Lima. Perú. 1999

Ercoli, E; Galvez, J.; Di Paola, M.; Cantero, J. A.; Videla, S.; Medaura, C. *Biorremediación de suelos altamente contaminados*. INGEPET 99, Lima. Perú. 1999

Ercoli, E; Galvez, J.; Di Paola, M.; Cantero, J. A.; Videla, S.; Medaura, C. Bauzá, J. *Análisis y evaluación de parámetros críticos en biodegradación de hidrocarburos en suelo. congreso Producción 2000. III Workshop Latinoamericano de la Ciencia en la Ingeniería de Petróleo. Puerto Iguazú. Argentina .2000.*

Ercoli\* E.; Gálvez\*, J.; Calleja●, C.; Calvo●, V.; Cantero\*, J.; Videla\*, S.; Medaura\*, M.C.; DiPaola\*, M. *Extensive Evaluation of Aerated Accumulation Technique for Soil Treatment. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Buenos Aires, Argentina, 25–28 March 2001.*

Ercoli, E. et al. *Biorremediación de suelos por técnica de acumulación aireada*. IV Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas. IAPG. Salta Argentina (2000).

Errampalli D., Trevors J.T., Lee H., Leung K., Cassidy M., Knoke K., Marwood T., Shaw K., Blears M. and

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