

# Estudio sobre la influencia de la conductividad del suelo en procesos de biorremediación.

Eduardo Carlos Ercoli y José Antonio Gálvez  
Laboratorio de Bioprocesos  
Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo  
Centro Universitario- 550. Mendoza-Argentina  
eercoli@uncu.edu.ar

## EHS 1 – Medio Ambiente

### Introducción

Se ha estudiado el comportamiento de los procesos de bioremediación de suelos contaminados por hidrocarburos por la técnica de *biopilas aireadas por remoción mecánica* y su relación con la conductividad del suelo. Se trabajó en zonas semiáridas de la República Argentina, siendo en todos los casos el aporte de agua mínimo, solo el proveniente de las precipitaciones pluviales. También se evaluó el proceso en función del aporte de nutrientes y de la concentración de hidrocarburos totales. Las experiencias consistieron en una serie de biopilas de dimensiones variables de hasta 3000 metros cúbicos, con aporte mensual de nutrientes en cantidad suficiente para asegurar una tasa de degradación de hidrocarburos del 10 al 20 %. Las biopilas fueron removidas mensualmente con excavadora para aportar el oxígeno necesario para el proceso. El suelo contaminado provino de derrames, con incorporación de lodos de perforación y cuttings, y algunos residuos operativos de yacimiento. Se observó la elevada incidencia de la concentración de hidrocarburos en la tasa de degradación y también la muy marcada influencia de la conductividad sobre los sistemas biológicos responsables de la degradación, que afecta a todos los microorganismos del suelo. Se observó principalmente el desarrollo de poblaciones halófilas que toleran altas salinidades y se ha encontrado una zona límite de conductividad alrededor de 30 mS/cm a partir de la cual los tiempos de tratamiento aumentan significativamente para una misma concentración de hidrocarburos, presentando un escalón importante pero no un cambio de pendiente. Esta variable es de mayor incidencia que la retracción que sufren los procesos biológicos por carencia de nutrientes o por incrementos en la concentración de hidrocarburos totales. Este trabajo intenta definir algunos criterios técnicos y económicos para la aplicación exitosa de técnicas biológicas de remediación de sitios contaminados por petróleo y también contaminados por sales, las cuales suelen comprometer los procesos biológicos.

### Materiales y métodos

La técnica de *biopilas aireadas por remoción mecánica* consiste en una acumulación de suelo de forma troncopiramidal de 1 a 3 m de altura a las que se incorporan los nutrientes necesarios para el proceso, la humedad necesaria, y oxígeno por medio de remoción mecánica con excavadoras. Las biopilas se construyen sobre una base impermeable. El control de proceso incluye la determinación de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), nutrientes del suelo (nitrógeno y fósforo), pH y recuento de microorganismos aeróbicos degradadores de hidrocarburos. Inicialmente se determina un grupo seleccionado de metales pesados frecuentes en los yacimientos petroleros tales como Arsénico, Bario, Cadmio, Cromo, Mercurio y Plomo, y se realiza una caracterización cromatográfica de los hidrocarburos presentes. También se determina textura y conductividad del suelo.

### Toma de muestras

La toma de muestras de las biopilas es de tipo sistemático con grilla patrón en W. La unidad de muestreo comprende un volumen de 500 m<sup>3</sup>, obteniendo dos muestras, una a 0.50 m y otra a 1.8m para biopilas de hasta 2 m de altura y tres muestras en tres horizontes, 0,5 m, 1,5 m y 2,8 m para biopilas de 3 metros de altura. La toma de muestra se realiza con apoyo de excavadora para la construcción de calicatas, siguiendo recomendaciones de las siguientes normas: ASTM D 4687-95, Standard Guide for General Planning of Waste Sampling, 1995; ASTM D 6232, Standard Guide for Selection of Sampling Equipment for Waste on Contaminated Media Data Collection, 2000; ASTM D 5088-90, Standard Practice for Decontamination of Field Equipment used at Nonradioactive Wastes, 1990; ASTM D 6009-96 Standard Guide for Sampling Waste Piles, Reapproved 2001.

### Metodología analítica

Los métodos analíticos para determinación de HTP en suelo y en lixiviado, y la determinación de metales pesados fueron los siguientes:

| Análisis  | Norma   | Límite de detección    |
|---|---|------------------------|
| Hidrocarburos totales de petróleo               | EPA 418.1   | 400 ppm suelo          |
| Caracterización cromatográfica de Hidrocarburos | TNRCC modificado, basado en EPA 8000, 8015 y 8100 |                        |
| Tratamiento de muestras para lixiviado          | EPA SW 846 1310 A                                 | ND                     |
| Arsénico  | EPA SW 846 7000 A                                 | 1,000 mg/l (lixiviado) |
| Bario   | EPA SW 846 7080 A                                 | 0,100 mg/l (lixiviado) |
| Cadmio  | EPA SW 846 7130 A                                 | 0,030mg/l (lixiviado)  |
| Cromo   | EPA SW 846 7190 A                                 | 0,040 mg/l (lixiviado) |
| Mercurio  | EPA SW 846 7470 A                                 | 0,001 mg/l (lixiviado) |
| Plomo   | EPA SW 846 7420 A                                 | 0,100 mg/l (lixiviado) |

- Nitrógeno edáfico: Método modificado para suelos contaminados basado en Mét. Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales 4500-Norg B Mét Macrokjeldahl. Análisis químicos de suelos, Jackson 3ªEd.
- Fósforo asimilable: Método de Fósforo absorbido Bray-P1 (6S) Soil Survey Laboratory Methods Manual, Soil Survey Investigations Report N°42, Version 3.0. January 1996.
- Microorganismos Aerobios Degradadores de Hidrocarburos: Método modificado para suelos contaminados con Hidrocarburos. Methods of soil analysis-Part2-Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc.1982.
- PH: en suelos y residuos: Método EPA SW 9045C
- Textura: IRAM 10509:1982
- Caracterización cromatográfica de hidrocarburos: TNRCC Method 1006 (modificado) basado en EPA 8000, 8015 y 8100
- Conductividad de suelos: USDA, Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. 1999

### Descripción de las biopilas

Se han analizado biopilas con concentraciones iniciales de hidrocarburo entre 15 y 22 g/kg y conductividades de suelo entre 14 dS/m y 55 dS/m.

| Biopila | Textura                | Tipo de hidrocarburo | Concentración inicial (g/kg) | Conductividad dS/m |
|---------|------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------|
| 1       | Arena                  | Medio rico en diesel | 14,88                        | 14,4               |
| 2       | Areno franco           | Medio rico en diesel | 15,02                        | 19,5               |
| 3       | Areno franco           | Medio rico en diesel | 16,00                        | 28,0               |
| 4       | Franco areno arcilloso | Medio rico en diesel | 20,85                        | 45,0               |
| 5       | Areno franco           | Medio rico en diesel | 21,07                        | 54,0               |
| 6       | Franco areno arcilloso | Medio rico en diesel | 20,95                        | 54,5               |

De acuerdo a la clasificación de USDA estos suelos son extremadamente salinos. Para el análisis de los resultados de este trabajo, y a modo de facilitar la interpretación de los resultados, consideraremos a los suelos de las biopilas 1, 2 y 3 como suelos de conductividad zona “baja” y a los suelos de las biopilas 4, 5 y 6 como suelos de conductividad zona “alta”.

### Resultados y discusión

Se consideran las cinéticas de degradación en función del tiempo para diferentes conductividades. Se define como tasa de degradación a la fracción de hidrocarburo degradada en un lapso de tiempo:

$$\text{Tasa de degradación} = (C_i - C_t) * 100 / C_i$$

Donde  $C_i$ : concentración inicial y  $C_t$  concentración a un tiempo  $t$

Se define como tasa de degradación mensual a la diferencia entre la tasa de degradación alcanzada en el mes  $n$  menos la tasa de degradación del mes  $n - 1$ .

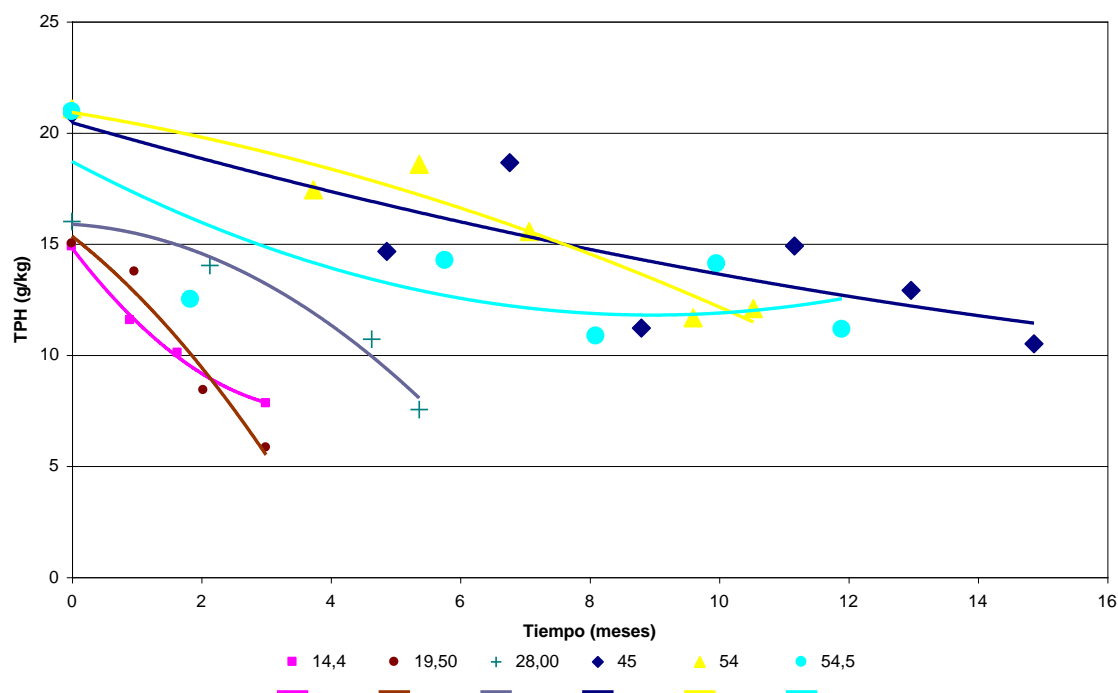


Gráfico # 1. Variación de HTP vs Tiempo.  
Ref.: Conductividades expresadas en dS/m.

Del Grafico # 1 surge que la concentración de HTP disminuye rápidamente cuando la conductividad es inferior a 28 dS/m mientras que cuando supera los 30 dS/m lo hace más lentamente.

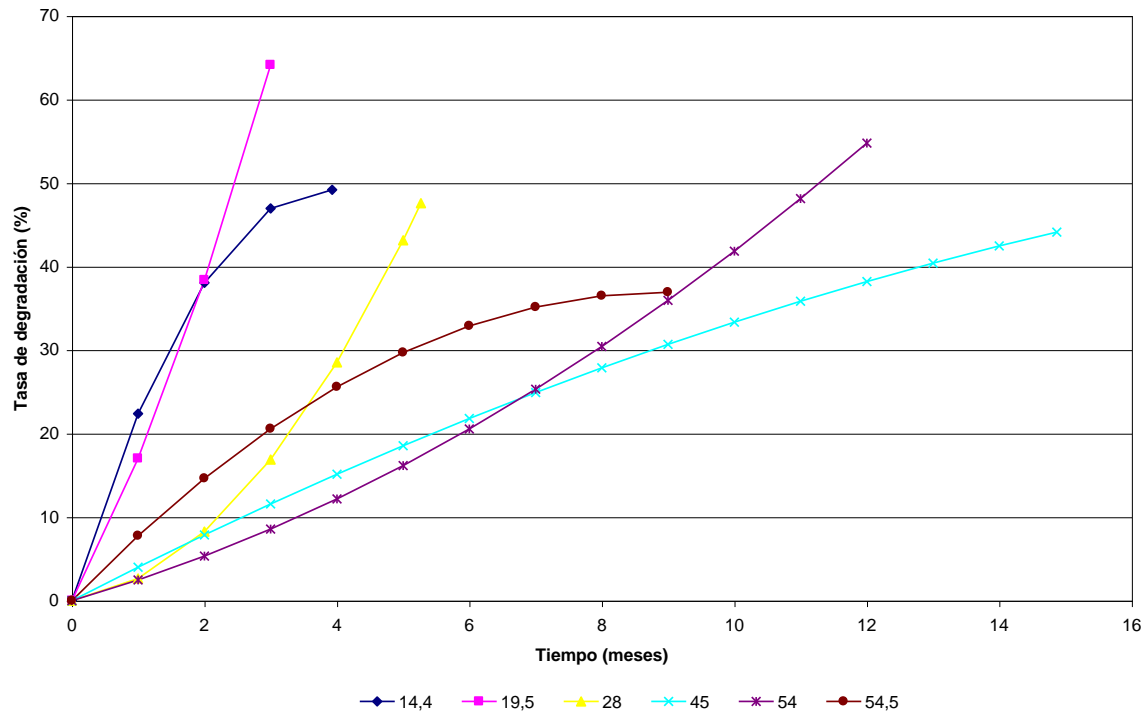


Gráfico # 2. Variación de la tasa de degradación vs Tiempo.  
Ref.: Conductividades expresadas en dS/m.

En el Gráfico # 2 se observa que las tasas de degradación aumentan rápidamente para suelos de baja conductividad mientras que para suelos de alta conductividad lo hacen lentamente, en concordancia con el Gráfico # 1. La curva correspondiente a 28 dS/m corresponde a una situación intermedia, pero que mantiene la tendencia del primer grupo. Si se consideran las pendientes de las curvas como una medida de la velocidad del proceso se observa que a conductividades por debajo de 30 dS/m es superior a 1 mientras que para el segundo rango es inferior a 1.

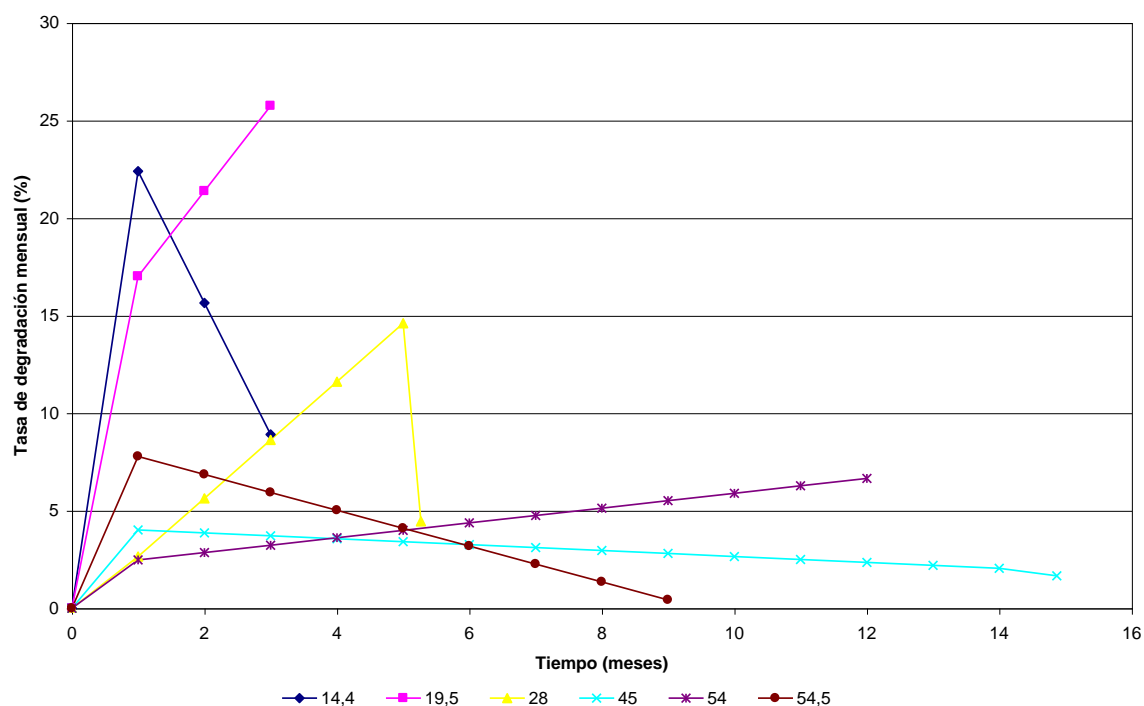


Gráfico # 3. Tasas de degradación mensuales.  
Ref.: Conductividades expresadas en dS/m.

Si se analizan las tasas de degradación mensuales se observa que cuando la conductividad es inferior a 30 dS/m resultan significativamente más altas que cuando la conductividad del suelo está en el orden de 50 dS/m. Cada curva presenta particularidades debido al desarrollo del proceso y al tipo de microorganismos predominantes en el suelo. En algunos casos son muy altas al principio y disminuyen al final mientras que en otros casos aumentan progresivamente. Este comportamiento se verifica tanto a conductividades en la zona “baja” como en la zona “alta”.

## Conclusiones

- Es posible biodegradar hidrocarburos en suelos clasificados como extremadamente salinos.
- La tasa de degradación a conductividades del orden de 15-20 dS/m es significativamente mayor que a valores del orden de 50 dS/m.
- Valores de conductividad muy altos, ej. 50 dS/m, no impiden el proceso de saneamiento, pero si se alargan muy considerablemente los tiempos de tratamiento.
- Se observa una zona “umbral” en la conductividad entorno a 30 dS/m en donde cambian significativamente las pendientes de las curvas de las tasas de degradación siendo superior a 1 por debajo de esta conductividad e inferior a 1 por encima de este nivel.

## Bibliografía

1. ASTM. Standards Relating to Environmental Site Characterisation. Second Edition. 2002.

2. 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
3. Ercoli, E; Gálvez, 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.*
4. Ercoli, E.; Videla, C.; Calleja, C.; Gálvez, J.; Videla, S.; Cantero, J.; Medaura, C.; DiPaola, M.2000. *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. Octubre de 2000.
5. Ercoli E.; Gálvez, J.; Calleja, C.; Calvo, V.; Cantero, J.; Videla, S.; Medaura, M.C.; DiPaola, M. 2001. *Extensive Evaluation of Aerated Accumulation Technique for Soil Treatment*. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Buenos Aires, Argentina. *March 2001*. 25–28.
6. Ercoli, E; Calleja\*, C.; Videla, S.; Segura\*, O.; Gálvez, J.; López, C.; Cantero, J.; Tettamanti, G.; Medaura, C.; DiPaola, M.; Vardaro, S.; Caso, R. Technology evaluation report for bioremediation in *Repsol YPF*, Neuquén, Argentina. 2<sup>nd</sup> International Conference of Petroleum Biotechnology. **MEXICO**, Noviembre 2003.
7. Fahnestock, F.M.; Kratzke, R.J.; Wickramanayake, G.B.; Major, W.R.. *Biopils Design, Operation and Maintenance andbook of Treating Hydrocarbon-Contaminated Soils*, Battelle Press, Columbus.Richland. USA. 1998.
8. Hueseman, M. *Guidelines for Land-Treating Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils*. Journal of Soil Contamination. 3(3). 1994.
9. USDA. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. 1999