



# Biorremediación de Suelos

*Biorremediación asistida de suelos contaminados con hidrocarburo*

**Servicio de Ingeniería y Saneamiento Ambiental**

## 2. Generalidades del tratamiento

Los Tratamientos Biológicos son técnicas de destrucción o de transformación que consisten en la estimulación de los microorganismos a crecer y a usar los contaminantes como fuente de materia y energía mediante la creación de un ambiente favorable para ellos. Generalmente, esto consiste en proveer una combinación de una cierta concentración de oxígeno y nutrientes, un determinado contenido de humedad y el control del pH y la temperatura. En ocasiones, se agregan microorganismos adaptados para la degradación de un compuesto específico, para mejorar el proceso.

Los tratamientos in situ presentan como principal ventaja el permitir que el suelo sea tratado sin necesidad de extracción y transporte a centros de tratamiento fuera del sitio de generación, con el potencial ahorro en insumos no renovables que eso implica, constituyéndose en una alternativa ambientalmente amigable. Asimismo, en general, los tratamientos biológicos in situ ofrecen un buen grado de certeza en cuanto a la uniformidad del tratamiento pese a la variabilidad en el suelo, y facilidad para verificar la efectividad del proceso.

Los Tratamientos Biológicos pueden destruir o transformar dejando poco o ningún residuo que requiera un tratamiento posterior. Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles de biodegradación, los tratamientos biológicos se han aplicado exitosamente en la remediación de suelos, sedimentos y barros contaminados con hidrocarburos de petróleo, solventes, pesticidas, preservantes de madera y otros compuestos químicos orgánicos, aún con materiales explosivos como TNT.

La velocidad a la cual los microorganismos degradan los contaminantes está influenciada por el contaminante específico (en particular su naturaleza y estructura molecular), el suministro de oxígeno, la humedad, el suministro de nutrientes, el pH, la temperatura, la disponibilidad del contaminante (dependiente fundamentalmente de la solubilidad) para los microorganismos y la concentración del contaminante. La presencia de sustancias tóxicas, distintas del contaminante, puede inhibir la actividad de los microorganismos.

El nivel de oxígeno en los tratamientos in situ es fácil de controlar mediante laboreo mecánico, ventilación, inyección o extracción de aire. El contenido de oxígeno se incrementa, entre otros métodos, evitando la saturación del suelo, evitando la compactación, o en algunos casos insuflando aire (técnica de Bioventing).

El agua es el mayor componente del protoplasma bacteriano y su suministro es esencial para el crecimiento y mantenimiento de los microorganismos. Además, sirve como medio de transporte para que los nutrientes y los compuestos orgánicos lleguen a la célula microbiana, ya que los microorganismos los toman desde una solución. Un exceso, limitará la cantidad de aire disponible; por otro lado, su carencia detendrá la actividad bacteriana.

Los nutrientes requeridos para el crecimiento celular son nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, calcio, manganeso, hierro, cinc y cobre. Si los nutrientes no están disponibles en la cantidad suficiente la actividad microbiana disminuirá y se detendrá. El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes que más frecuentemente están en cantidades deficientes y suelen agregarse a los sistemas de tratamiento en formas disponibles para los microorganismos (como amonio el nitrógeno y el fósforo como fosfato).

El pH afecta la solubilidad y, consecuentemente, la disponibilidad de muchos constituyentes del suelo que pueden afectar la actividad microbiológica. Para la mayoría de los microorganismos el pH óptimo para su desarrollo está entre 6 y 8. Muchos metales potencialmente tóxicos para los microorganismos son insolubles a pH alcalinos, por lo que el aumento del pH puede reducir los riesgos de envenenamiento de los microorganismos.

La temperatura afecta la actividad de los microorganismos en la unidad de tratamiento. La velocidad de biodegradación decrecerá con el descenso de la temperatura. Por esta causa, la biorremediación puede tener efectividad limitada durante las épocas de clima frío a menos que se lleve a cabo en instalaciones o bajo condiciones controladas. Los microorganismos pueden soportar temperaturas muy bajas inhibiendo su actividad para después retomarla al aumentar nuevamente la temperatura.

El calentamiento del sitio de biorremediación mediante el uso de inyección de aire caliente puede acelerar el tratamiento, aunque una temperatura muy alta también puede afectar la actividad provocando una suerte de esterilización del suelo. La temperatura también envuelve pérdidas de contaminantes mediante la volatilización a altas temperaturas.

Para determinar si el tratamiento biológico será efectivo en una situación dada se realizan previamente ensayos de tratabilidad. La extensión del estudio puede variar dependiendo de la naturaleza de los contaminantes y las características del sitio. Si se trata de un contaminante no tóxico usualmente es suficiente analizar la presencia de una población de microorganismos, las concentraciones de nutrientes, la presencia de inhibidores o tóxicos, y las características del suelo tales como pH, porosidad y humedad.





Ejecución

### 3. Tratamiento:

1. Traslado y retiro de residuos sólidos del suelo.
2. Mezclado y homogenización de los suelos.
3. Trituración del suelo.
4. Armado de biopilas.
5. Caracterización inicial del suelo:
  - ✓ Hidrocarburos totales de petróleo (HTP), según técnica EPA 418.1
  - ✓ Todos los analitos de la Tabla 9 del Anexo II del Decreto 831/93 Reglamentario de la Ley N° 24051 de Residuos Peligrosos.
6. Riego para inoculación de las biopilas (iopreparado).
7. Volteo de biopilas.
8. Muestreos y análisis de laboratorio.

***Fin de operación (Monitoreo final)***





## 4. Sitio de Operaciones (Ubicación de los suelos a tratar)

Los trabajos serán desarrollados en el área impermeabilizada del repositorio que dispone el Yacimiento, y que se encuentra debidamente autorizado por la Secretaría de Medioambiente de la Provincia para el desarrollo de los tratamientos de biorremediación en el marco de la legislación vigente.

- 1. Acondicionamiento de los lugares de tratamiento:** Se considera que el lugar de tratamiento se encuentra debidamente acondicionado, con cartelería suficiente, freáticos operativos y cerco perimetral en correctas condiciones.
- 2. Acondicionamiento del material a tratar:** Se considera que los suelos a tratar poseen características de granulometría y humedad que los definan como tales, no contemplándose el manejo de lodos y/o fangos, o cualquier tipo de líquido o fase libre. En el caso que los suelos presenten una cantidad de sólidos extraños que interfieran con los equipos viales y de operación, se realizará la separación de los mismos.



## 5. Tiempos de degradación de % de HTP por Biorremediación Asistida

Los volúmenes de suelo a tratar, ubicación de los mismos, y concentración inicial de hidrocarburos totales de petróleo (HTP), son datos fundamentales para poder establecer el plan de tratamiento correcto, siendo estos muy variables dependiendo de las fuentes que dieron origen de su contaminación y el tipo de composición del suelo .

No obstante las incertidumbres indicadas, y considerando la experiencia de los profesionales de MACS S.A. en la operación de los suelos empetrolados, es posible establecer ciertos criterios que permiten acotar esta propuesta.

La velocidad de degradación de los hidrocarburos en los suelos depende de varios factores, entre los cuales los más importantes son:

- ✓ Concentración inicial de HTP en los suelos.
- ✓ Intensidad de laboreo mecánico (frecuencia y número de operaciones unitarias de inoculación y volteo mecánico a que son sometidos los suelos).

Así, puede considerarse una escala de concentraciones iniciales de petróleo (HTP) y el laboreo óptimo requerido para lograr la mayor velocidad de degradación y consecuentemente el menor plazo de tratamiento.

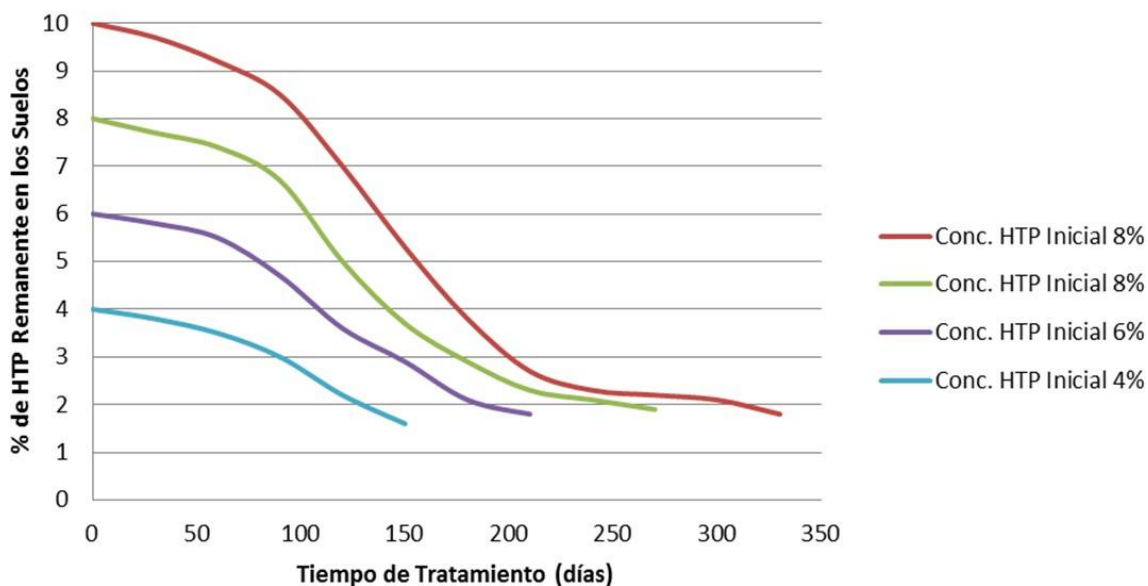
A continuación, se presenta el esquema óptimo de laboreo y las curvas de degradación teóricas para suelos con concentraciones iniciales de HTP de 10%, 8%, 6% y 4%, rango de concentraciones factible de encontrar en los suelos generados en las operaciones habituales.

Vale considerar que la propuesta considera la operación de los suelos entre los meses de Agosto a Mayo y que los plazos de tratamiento incluyen el aletargamiento del proceso que ocurre durante la época invernal, período en que no se efectúa ningún tipo de laboreo.



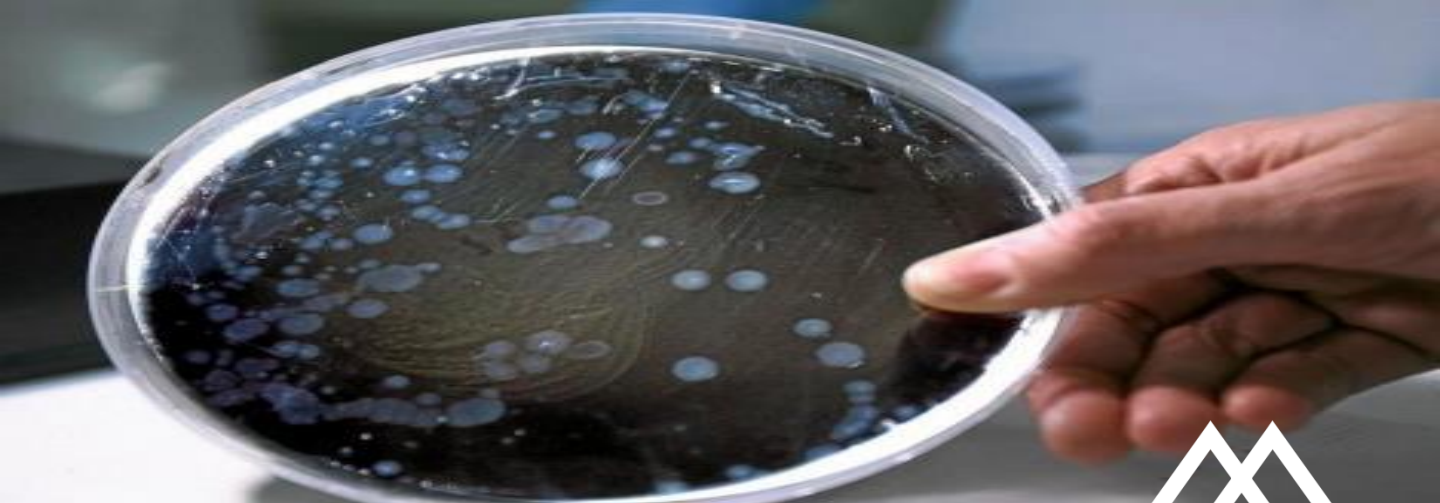
## 5.1 Tiempos de degradación de % de HTP por Biorremediación Asistida

 **Curvas Teóricas de Degradación**



Concentración Inicial de HTP (%)	Construcción con Inoculación	Volteo con Inoculación	Riego de Inoculación
10	1	8	8
8	1	6	6
6	1	5	5
4	1	3	4





## 6. Origen de las cepas de microorganismos a utilizar

El biopreparado a utilizar es desarrollado por los técnicos de MACS S.A., en base a los organismos que viven en el sitio que debe remediarse (autóctonos) los cuales son colectados, aislados, estudiados, seleccionados en función de su actividad sobre ciertos contaminantes específicos, y cultivados (bioaumentados).

Finalmente son reinsertados en concentraciones adecuadas en el sitio de origen (suelos a tratar) de manera de incrementar velozmente la población de los mismos microorganismos naturales, que tendrán preferencia por el contaminante objeto del tratamiento.

Queda establecido así, que las cepas de microorganismos a utilizar son autóctonas, y no serán sometidas a procesos genéticos de obtención.



## 7. Operación de las biopilas

La operación de las biopilas consiste básicamente en 2 actividades:

**1. Inoculación de microorganismos:** para mantener un número y tipificación adecuados de microorganismos (hongos, bacterias, enzimas, etc) para maximizar la velocidad de degradación. Esta operación se realiza tanto en forma individual como complementaria a la construcción y volteo de las biopilas. Los microorganismos se inoculan mediante riego en forma de biopreparado en base acuosa.

**2. Volteo mecánico con maquinaria vial:** para devolver esponjosidad (y capacidad de aireación) al suelo, eliminar los gases metabólicos de la actividad microbiana, mejorar la homogeneidad, etc. Para cada lote de suelos a tratar, de acuerdo a la concentración inicial de HTP y a las características de los hidrocarburos que lo componen, corresponderá una determinada cantidad de cada una de las operaciones unitarias mencionadas (volteo y riego) para lograr la degradación de los hidrocarburos por debajo de los límites establecidos en la legislación.

Estas operaciones serán realizadas con una frecuencia y un número determinado de acuerdo a lo indicado en el ítem 5.1.

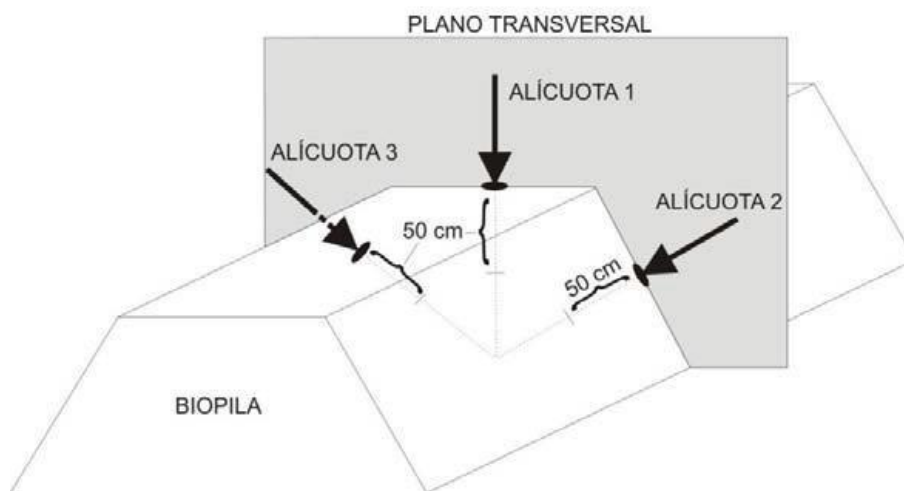


## 8. Muestreo de suelos y evolución del proceso

Se realizará un muestreo inicial de las biopilas al momento de finalizada su construcción en forma estandarizada y con soporte estadístico según la Guía Técnica EPA SW 846 – Capítulo 9.

En función de la geometría propuesta para las biopilas en cada caso, se propone el siguiente esquema de muestreo:

8.1 En puntos equidistantes separados aproximadamente 10 metros entre sí, definidos por un plano imaginario transversal a la biopila se tomarán 3 (tres) muestras a una profundidad de 50 a 75 cm, utilizando un barreno manual. De cada una de estas muestras se obtendrá una alícuota, a los efectos de mezclarlas y obtener una única muestra compuesta por punto de muestreo. Se obtiene así 1 (una) muestra para analizar por cada 125 m<sup>3</sup> de suelos, a partir de 3 puntos de muestreo. El esquema es el siguiente:





2 de 2

2. Repetir este muestreo en cada hito de volteo mecánico programado a los fines de contar con la información de avance del proceso.
3. A los fines del seguimiento del proceso, se propone efectuar las determinaciones analíticas de HTP en laboratorios propios con la ventaja de mayor velocidad en la obtención de los resultados y la consecuente posibilidad de corregir rápidamente los parámetros operativos (número de microorganismos, humedad, etc.).
4. Se propone efectuar el muestreo de final de tratamiento con presencia de la Autoridad de Aplicación a los efectos de avalar lo actuado en esta instancia.
5. Los parámetros propuestos a analizar son los siguientes:
  - ✓ Muestreo inicial y de seguimiento del tratamiento:
    - HTP (técnica EPA 418.1 y/o EPA 1664) o
  - ✓ Muestreo final:
    - HTP (técnica EPA 418.1)

8.6 Los analitos de la Tabla 9 Anexo II del D.R. 831/93 “Niveles Guía de Calidad de Suelos” (según técnicas allí determinadas).

A los efectos del seguimiento de la degradación, del avance del tratamiento y la consecuente certificación de servicios, el valor de referencia a considerar para cada biopila es el promedio aritmético de las muestras correspondientes a cada una.

8.7 Las técnicas propuestas para la determinación de la concentración de HTP en los suelos en tratamiento es la EPA 418.1 y/o EPA 1664, no previéndose efectuar determinaciones cromatográficas o de otra naturaleza.





“Junto a nuestros clientes experimentamos y construimos las mejores soluciones integrales para que sus negocios sean rentables, innovadores y sustentables.”

**MACS S.A. presentará periódicamente y una vez concluido el tratamiento de los suelos, la siguiente información:**

## **9. Entregables (Informes):**

- ✓ Volúmenes de los suelos empetrolados tratados.
- ✓ Descripción de las actividades desarrolladas en el período, detallando las tareas realizadas y los materiales, equipos y métodos utilizados.
- ✓ Evolución del contenido de hidrocarburos totales de petróleo, PH, conductividad eléctrica, contenido de agua y recuento bacteriano en cada una de las transectas o fracciones de volúmenes de suelo tratado delineadas desde el comienzo como unidades para el seguimiento.
- ✓ En el primer informe y en el final se incluirán los análisis físico-químicos sobre los lixiviados de todos los componentes en los suelos tratados, listados en la tabla del Anexo 1 de la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051
- ✓ Registros fotográficos y gráficas que permitan representar cada una de las etapas del proceso.
- ✓ Los resultados de los análisis físico-químicos y biológicos realizados se acompañarán con los protocolos de análisis originales debidamente firmados por el responsable técnico del laboratorio.





## 10. Finalización del tratamiento:

Se considerará terminado el tratamiento cuando la concentración de HTP en el suelo tratado, hecho un muestreo en forma estandarizada y con soporte estadístico según la Guía Técnica EPA SW 846 y medido según Normas EPA 418.1, sea inferior a 2.00 % p/p (peso/peso) en todas las muestras.

El muestreo que determinará esta condición, será efectuado con presencia de la autoridad de aplicación, deberá ejecutarse dentro de los 15 (quince) días de solicitado el mismo. Pasado este plazo, MACS S.A., podrá efectuar la certificación final de los servicios, comprometiéndose a prestar toda la asistencia que se requiera para la realización del muestreo conjunto con la autoridad.



## 11. Control de calidad del tratamiento:

Análisis	Descripción
<b>Evolución del proceso:</b> <b>Concentración de HTP</b> HTP (% en peso) EPA 418.1	Se considerará terminado el tratamiento cuando la concentración de HTP en el suelo tratado, hecho un muestreo en forma estandarizada y con soporte estadístico según la Guía Técnica EPA SW 846 y medido según Normas EPA 418.1, sea inferior a 2.00 % p/p (peso/peso) en todas las muestras.
<b>Evaluación estadística de los resultados analíticos</b>	Los resultados se garantizaran estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) asegurando la certeza en la degradación alcanzada.
<b>Evolución del proceso:</b> <b>Calidad final del suelo</b>	<p><b>Micro biocenosis</b> para confirmar la ausencia de efecto tóxico del sustrato (hidrocarburos) sobre los microorganismos del suelo.</p> <p><b>Fitotoxicidad</b> para confirmar la ausencia de inhibición que causa el sustrato (hidrocarburos) en el surgimiento radicular de semillas.</p>

**MACS**  
SOLUCIONES INTEGRALES