

---

**Contaminación de suelos y biorremediación en Venezuela.**

***Contaminated soils and Bioremediation in Venezuela***

**Carmen Infante\***

\*STGA. Servicios técnicos gestión de avanzada. C.A. Caracas. [luchoben@cantv.net](mailto:luchoben@cantv.net)

---

**RESUMEN**

La contaminación de suelos por disposición inadecuada de desechos orgánicos, derrames accidentales de sustancias y productos, proviene de diversas actividades industriales. Esto trae como consecuencia una afectación de las propiedades físico químico y biológico de un suelo que alteran su condición natural y por ende el ecosistema. Son muchas las soluciones ambientales que existen para recuperar el suelo afectado por la contaminación de compuestos orgánicos, lo cual depende de las características propias del recurso suelo, magnitud de la contaminación, tipo de contaminante entre otros. En los suelos venezolanos una de las tecnologías más usada es la biorremediación. Estudios con suelos de textura contrastante (arcillosos y arenosos) han revelado el éxito de recuperación de éstos suelos, contaminados

**ABSTRACT**

Soil contamination due to inadequate disposition of organic waste and accidental spills of substances and products, comes from different industrial activities. In consequence, chemical, physical, and biological properties of soil are affected, so it's natural condition change as well as the ecosystem. There are many environmental solutions to recover contaminated soils from organic wastes; however, it will depend on the soil characteristics, magnitude of the contamination, pollutant type among others. In Venezuela, bioremediation is the technology commonly used to recover impacted soils. Studies performed with contrasting soil texture (loamy and sandy) have revealed the successful recovery from contamination of oil spills. This can be possible by controlling and regulating some physical and chemical soil properties that allows bioremediation to takes place. This technology has been applied

por derrames de crudo mediano, controlando o regulando ciertas propiedades físicas y químicas necesarias para que ocurra la biorremediación. Este tipo de técnica tiene aplicación en el tratamiento de desechos orgánicos procedentes de la industria de alimentos, químicos agropecuarios, pulpa, papel, cartón, lácteos, productos azucareros y petróleo entre otros. Una de las bondades de la biorremediación es que favorece la recuperación ecológica de los suelos permitiendo naturalmente el desarrollo de la cobertura vegetal. Asimismo la bioestimulación es el proceso que domina sobre la bioaumentación, permitiendo así el desarrollo de los microorganismos presentes en el recurso suelo para degradar el compuesto de interés.

**Palabras claves:** biorremediación, recuperación ecológica, suelos contaminados.

to treat organic waste coming from industrial process such as foods, agricultural chemicals, paper pulp, cardboard, dairy solids, sugar products and petroleum wastes among others. One of the kindness of the bioremediation technology is that it promotes the ecological recovery of soils by allowing the development of naturally vegetation covering. By the other hand, the bioestimulation process dominates on bioaumentation process, since it allows to increase the microbial population present in the soil to degrade the organic compound.

**Key words:** bioremediation, ecological recovery, polluted soils.

---

## INTRODUCCIÓN

En este siglo, la gestión ambiental marca pauta en el desarrollo industrial. Cada vez son mayores los esfuerzos por aplicar tecnologías limpias, minimizar la generación de desechos e identificar soluciones ambientales mas efectivas y ecológicas para recuperar suelos degradados por disposición inadecuada de desechos o eventuales derrames de productos y compuestos al ambiente. En este sentido, la biorremediación, referida como el proceso biológico mediante el cual los microorganismos pueden transformar componentes orgánicos en inocuos o de menor toxicidad ha sido empleado eficientemente en la recuperación de suelos contaminados, particularmente los afectados por derrames de crudo.

La Biorremediación es una técnica que puede ser aplicada estimulando los microorganismos autóctonos que se encuentran en un suelo y desecho, empleando para ello un adecuado suministro de nutrientes, como nitrógeno fósforo y potasio; humedad y aireación entre otros. La combinación efectiva de estos factores permite una bioestimulación de los microorganismos. En las condiciones tropicales, donde se ubica Venezuela, la relativa alta y constante temperatura durante todo el año, así como otros factores climáticos y edáficos propician la existencia de una gran diversidad y riqueza de microorganismos con capacidad de metabolizar fracciones de saturados y aromáticos presentes en un desecho. Esta capacidad es utilizada efectivamente para detoxificar suelos y tratar desechos orgánicos de una manera ambientalmente segura.

En este trabajo se presentan aspectos generales de la biorremediación, tales como; los desechos que pueden ser tratados con esta tecnología, la relación con los factores bióticos (bioaumentación vs bioestimulación) y abióticos, así como los resultados de un estudio de laboratorio con suelos venezolanos de textura contrastante.

### **Desechos que pueden ser tratados con la biorremediación**

El mayor auge de la biorremediación parte de la inmensa investigación desarrollada a partir de 1989, como consecuencia del derrame de crudo del buque/tanquero Exxon Valdez, en las costas de Prince en Alaska. (Venosa *et al.*, 1990). A partir de allí, surgieron diversas aplicaciones en distintos tipos de desechos orgánicos provenientes de diferentes industrias. Entre ellas, industria del papel, agro productos, azucarera, minería y petrolera. En la práctica, todos los desechos con contenidos de carbono orgánico biodegradable pueden ser tratados con este proceso. Igualmente un suelo contaminado por un

eventual derrame de algún producto biodegradable puede ser tratado con biorremediación. En Venezuela existen diferentes experiencias positivas de recuperación de suelos contaminados por petróleo, productos, derivados o desechos que han sido ambientalmente tratados, y recuperados ecológicamente (Infante, 2001). Su aplicación en la industria del petróleo, ha sido efectiva en el saneamiento de fosas, derrames de crudo en suelos, tratamiento de rípios de perforación y desechos de fondo de tanques, en los cuales las fracciones saturados y aromáticos, características principales de estos desechos, pueden ser utilizadas por los microorganismos como fuentes de carbono para su crecimiento (Infante *et al.*, 1999a).

### **Biorremediación y su relación con los factores bióticos y abióticos**

La composición y diversidad de la comunidad microbiana, así como la transformación de los contaminantes varía en función de los factores abióticos y bióticos. Entre los primeros se incluyen la temperatura, humedad, aireación, pH, nutrientes, y tipo de suelo. Así mismo las características del contaminante influyen sobre la biodegradabilidad, tales como la concentración, composición química, disponibilidad o solubilidad, volatilidad y toxicidad. A muy bajas concentraciones, la tasa de biodegradación puede disminuir debido a que los compuestos no suministran suficiente energía para el crecimiento microbiano y a concentraciones moderadas o muy altas son tóxicos a los microorganismos autóctonos (Thomas y Ward, 1992). La composición química es determinante en la biodegradabilidad, compuestos de saturados y aromáticos son de relativa fácil biodegradación, mientras que las resinas y asfaltenos son no biodegradables, dado que su estructura química es altamente compleja y de poca o muy baja disponibilidad para los microorganismos; a estos compuestos se les conoce como recalcitrantes, y en consecuencia persisten en el ambiente (Atlas y Bartha, 1972). La disponibilidad de un compuesto a los microorganismos para que ocurra el proceso de biodegradación puede ser mejorada mediante la adición de surfactantes. Esto ha sido demostrado en lodos petrolizados, donde la adición de un biosurfactante incrementa la biodegradación significativamente con respecto a muestras control sin el biosurfactante. (Rocha e Infante, 1997)

Dentro de los factores bióticos destacan principalmente la presencia o no de microorganismos con capacidad de degradar los compuestos de interés. Numerosos géneros de bacterias y hongos tienen la capacidad de utilizar diferentes fuentes de carbono orgánico. En el proceso de biorremediación de compuestos del petróleo, las bacterias pertenecientes al género *Pseudomonas*, son una de la de mayor relevancia. (Atlas y Bartha, 1993)

En relación a los nutrientes, estos son estrictamente necesarios en el proceso de biodegradación, ya que el metabolismo microbiano requiere de constituyentes químicos fundamentales que representan componentes de las células. Cuando ocurre un derrame de crudo en un suelo, por ejemplo, se presenta un desbalance de las relaciones C/N, C/P, por lo cual se deben suministrar nutrientes para contrarrestar este efecto, permitiendo así que los microorganismos puedan utilizar el exceso de carbono en el suelo. La limitación de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo, en los procesos de biorremediación de desechos ha sido bien documentada (Atlas y Bartha, 1993). Este es un factor clave junto con la aireación para que la biodegradación sea exitosa en cualquier tipo de suelo. El pH igualmente puede afectar significativamente la actividad microbiana de un suelo y por ende la biodegradación. Generalmente dentro de un rango entre 6 y 8 el proceso es eficiente, de lo contrario se debe ajustar con aditivos para disminuir la acidez o basicidad del suelo y favorecer así la biodegradación de un desecho. Sin embargo se han registrado procesos óptimos de biodegradación en suelos con pH de 5, debido a la alta actividad de hongos con capacidad de biodegradar (Thayer, 1991).

### **Textura de un suelo y su efecto sobre la técnica de biorremediación.**

La textura de un suelo influye notablemente sobre el proceso de biodegradación. En suelos de textura arcillosa los contaminantes o desechos cuyo origen corresponde a crudos pesados, tienden a formar grumos, se limita así la disponibilidad del contaminante a los microorganismos, mientras que en suelos de textura arenosa este efecto es menos marcado.

Sin embargo, si se trata de un crudo mediano o liviano, el mismo puede ser lixiviado o lavado en un suelo arenoso, lo cual facilita la técnica de biorremediación. Las texturas extremas inciden en el proceso de biorremediación, ya sea porque el contaminante no es retenido en el suelo o porque se apelmaza con el suelo, formando grumos, que impiden el contacto microorganismo-contaminante. Por ello cuando se aplica la técnica de biorremediación en suelo, es necesario conocer la textura y añadir acondicionadores o enmiendas orgánicas que no solo suministren nutrientes y mejoren la calidad orgánica del mismo para favorecer el desarrollo o crecimiento de una flora microbiana, y que además permita que propiedades como la estructura, y porosidad del desecho, entre otros sean mejoradas para lograr una efectiva biorremediación. Ha sido demostrado que en suelos venezolanos de la Península de Paraguaná, de propiedades físicas marginales, la adición de lodos o desechos provenientes de aguas servidas como fuente de nitrógeno en la biodegradación de lodos petrolizados, mejora la densidad real, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica e índices de plasticidad entre otras (Acosta et al., 1995). Igualmente la adición de agentes orgánicos tales como aserrín, hojarasca de diferentes especies vegetales, suelo con alto contenido de materia orgánica, desechos agroindustriales, melaza, cáscara de arroz y algodón, entre otros, mejoran la biodegradación de desechos petrolizados al proporcionar una mejor calidad nutricional y de textura, porosidad, en la mezcla suelo desecho que permite un mayor y mejor contacto microorganismo-contaminante (Devine, 1994; Infante et al., 2001; Peramaki y Blomker, 1991).

Como aporte al presente trabajo, en el cuadro 1 se muestran los resultados de un estudio, a nivel de laboratorio, de la aplicación de la técnica de biorremediación en suelos de textura contrastantes con y sin adición de acondicionadores orgánicos. Los agentes orgánicos usados fueron una mezcla de aserrín con desechos agroindustriales. Se observa que, tanto con el suelo arenoso como en el arcilloso, hubo una reducción significativa del contenido de crudo por la adición de los acondicionadores orgánicos en relación al control donde éstos no se aplicaron. En ambos tratamientos, a las bandejas con 2 Kg de mezcla suelo-desecho, se les aplicó fertilizante nitrogenado y fosforado para adecuar las relaciones C/N y C/P, así como aireación, mediante rastro dos veces por semana, durante los 60 días de experimentación. La humedad del suelo se mantuvo en un 60 % de la capacidad de campo. Los resultados demuestran el efecto positivo de los acondicionadores o mejoradores orgánicos sobre el proceso de biorremediación y la necesidad de ser utilizados para aplicar la técnica en suelos de textura extremas como la arenosa y arcillosa.

**Cuadro 1.** Variación del contenido (g de crudo/g de desecho)<sup>1</sup> de un crudo mediano, durante un proceso de biodegradación.

<b>Suelo Arcilloso</b>	0 días	15 días	30 días	60 días
Sin acondicionadores orgánicos	8,8± 1,2	9,3±0,9	8,1±0,3	9,8±1,3
Con acondicionadores orgánicos	8,0±0,9	7,6±1,4	4,8±0,8	3,3±1,0
<b>Suelo Arenoso</b>	0 días	15 días	30 días	60 días
Sin acondicionadores orgánicos	7,9±1,5	8,2±0,6	8,8±0,9	8,6±1,2
Con acondicionadores orgánicos	8,3±0,9	6,3±1,3	4,9 ±0,3	3,0±0,8

<sup>1</sup> Resultados del análisis de tres réplicas

### Bioaumentación y bioestimulación

La Bioaumentación se refiere al aislamiento y cultivo de microorganismos o formulación de preparaciones biológicas con el objetivo de añadirlos a un suelo o desecho en particular para incrementar la población microbiana con capacidad de metabolizar o degradar el contaminante.

Si bien, esto funciona en ambientes donde por las condiciones climáticas o factores edáficos existe una población de microorganismos muy baja, en los suelos venezolanos resulta poco probable encontrar una situación de este tipo. Las características de los suelos unidos a las del desecho promueven el crecimiento de una flora microbiana apta para degradar hidrocarburos y otros compuestos, siempre y cuando se ajusten los factores abióticos que regulan el proceso de biodegradación (Infante et al., 2001).

La Bioestimulación se refiere al acondicionamiento o ajuste de los principales factores abióticos, tales como pH, humedad, aireación y nutrientes, entre otros que favorecen o estimulan el desarrollo de poblaciones bacterianas. En Venezuela son muchos los estudios conducidos tanto a escala laboratorio como en campo que demuestran la efectividad del proceso de biodegradación bajo la modalidad de bioestimulación, sin necesidad de añadir preparaciones biológicas, o usar la bioaumentación. Esta ha sido aplicada con éxito y se han demostrado sus bondades en comparación con la bioaumentación en diversos desechos de la industria petrolera, tales como rípios de perforación, suelos contaminados por derrames de productos y crudo, lodos de fondo de tanques y saneamiento de fosas. Su aplicación ha sido realizada como landfarming, referida a la biodegradación del contaminante en la capa arable del suelo; composting aeróbico, formando pilas de hasta 3 m de altura y 2 m de ancho con incorporación de mejoradores orgánicos y tratamiento "in situ", como en el caso de fosas, en las cuales se aplica el biotratamiento o biorremediación dentro de la misma, sin necesidad de remover y extraer el desecho para tratarlo en otra área. (Infante et al., 2001, Infante et al., 1999b, Infante y González, 1995).

## CONCLUSIONES

En general, la contaminación de suelos por productos, compuestos o desechos orgánicos particularmente de la industria petrolera pueden ser tratados y éstos recuperados ecológicamente con la biorremediación, basada en la estimulación de los microorganismos para adecuación de los factores abióticos.

Así mismo podría indicarse que en suelos de textura contrastantes como los arcillosos y arenosos, deben emplearse acondicionadores orgánicos que permitan mejorar la estructura de la mezcla para favorecer así la biorremediación.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, I. C. Infante y W. López.** 1995. Efecto de lodos petrolizados y lodos de tratamientos de aguas servidas sobre un suelo CALCIORTHIDS de la Península de Paraguaná. *Agronomía Tropical*. 45 (4): 527-537
- Atlas, R. M and R. Bartha.** 1972. Degradation and mineralization of petroleum in seawater: Limitation by nitrogen and phosphorus. *Biotechnology Bioengineering*. 14. 309-317
- Atlas, R. M and R. Bartha.** 1993. *Microbial Ecology. Fundamentals and applications* Third edition. The Benjamin/Cummings publishing company, INC. 563 pp
- Devine, K.** 1994. Bioremediation: The state of usage. *In: Applied Biotechnology for site Remediation.* (Editors: Hinche, L and M, Annaris). Lewis Publishers. 435-439
- Infante, C. y O. González.** 1995. Comparación del proceso de biodegradación de lodos petrolizados en biorreactores y en suelos. *Visión Tecnológica*. 3 (1) 29-34
- Infante, C. P. Vásquez y M. Lippke.** 1999a. *Petróleo y Ambiente. Visión Tecnológica*. 99-104
- Infante, C. M. Romero, A. Arrocha, D. Gilbert and F. Brito.** 1999b. In situ bioremediation of pits from Puerto La Cruz Refinery. (Editors: Alleman, B and A, Leeson) *In: In situ bioremediation of petroleum hydrocarbon and other organic compounds*. 5 (3): 215-219
- Infante, C.** 2001. Biorrestauración de áreas impactadas por crudo por medio de INTEBIOS® y BIORIZE®. *Interciencia*. 26 (10): 504-507
- Infante, C. G, Sánchez, N. León y L. Sánchez** 2001. In situ biostimulation: a key factor in bioremediation. *In: Ex situ biological Treatment technologies.* (Editors: Magar, V and A, Leeson) .Battelle Ress. 6 (6):257-261

- Peramaki, M. P y K.R Blomker.** 1991. Practical Design Considerations for Composting Contaminated soil. (Editors: Alleman, B and A, Leeson) **In:** In site and on-site bioremediation: 2 : 7-103
- Rocha, C y C. Infante.** 1997. Enhanced oily sludge biodegradation by a tensio-active agent isolated from *Pseudomonas aeruginosa* USB-CS1. *Applied Microbiological Biotechnology.* 47: 615-619
- Thayer, A. M.** 1991. Bioremediation: Innovative technology for cleaning up hazardous waste. *Chemical Engineering News.* 26 23-42
- Thomas, J. M y C. H. Ward** 1992. Subsurface Microbial Ecology and Bioremediation. *Journal of Hazardous Materials.* 32 179-194
- Venosa, A., J. R. Haines, J.A Glaser, E J. Opatken, P.H. Pritchard y C.F Costa.** 1990. Bioremediation treatability trials using nutrient application to enhance cleanup of oil contaminated shoreline. In *Proceedings 83 rd Air and Waste Management Association Annual Meeting.* Air and Waste Management Assoc., Pittsburgh, Pa. pp 90 –122.