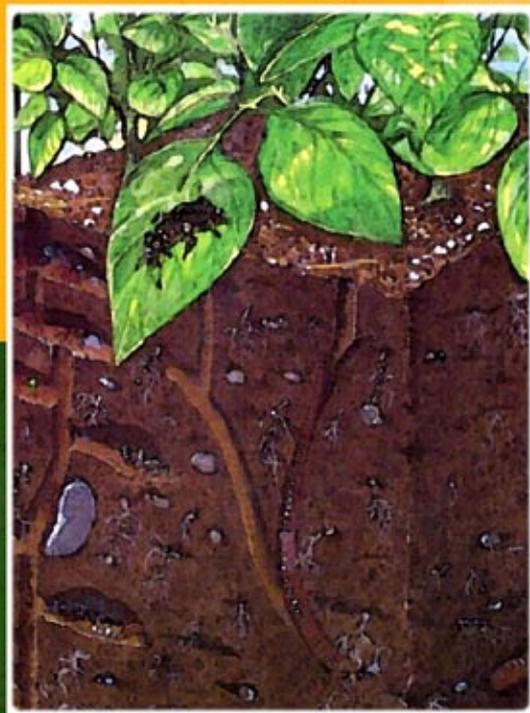


# ¿Qué es la biorremediación?

Rosario Iturbe Argüelles



Esta publicación es de todos para leer en el Metro



**¿Qué es la  
biorremediación?**



## **Gobierno del Distrito Federal**

**Marcelo Ebrard Casaubón**

Jefe de Gobierno

**Raúl Armando Quintero Martínez**

Secretario de Transportes y Vialidad

**Francisco Bojórquez Hernández**

Director General del

Sistema de Transporte Colectivo



## **Universidad Nacional Autónoma de México**

**José Narro Robles**

Rector

**Sergio M. Alcocer Martínez**

Secretario General

**Juan José Pérez Castañeda**

Secretario Administrativo

**Rosaura Ruiz Gutiérrez**

Secretaria de Desarrollo Institucional

**Carlos Arámburo de la Hoz**

Coordinador de la Investigación Científica

**René Drucker Colín**

Director General de Divulgación de la Ciencia

# **¿Qué es la biorremediación?**

Rosario Iturbe Argüelles



## **Dirección General de Divulgación de la Ciencia**

Director General de Divulgación de la Ciencia

**René Drucker Colín**

Coordinador de Medios

**Ángel Figueroa**

Subdirector de Medios Escritos

**Juan Tonda**

Jefa de la Unidad Administrativa

**Isabel Velasco**

Coordinación editorial

**Juan Tonda**

**Nemesio Chávez Arredondo**

Diseño de la colección y formación

**Elizabeth Cruz**

Primera edición, 31 de marzo de 2010

D.R. © 2010 Universidad Nacional Autónoma de México.  
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510,  
México, Distrito Federal.

ISBN 978-607-02-1267-3

Agradecemos el apoyo otorgado por  **Fundación  
TELMEX®**

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en México

# ¿Qué es la biorremediación?

## Suelo, subsuelo y acuífero

Sabemos que en la actualidad hay mucha contaminación en el aire, en los ríos y lagunas, y hasta el agua de lluvia se contamina antes de llegar al suelo.

También el suelo y el subsuelo se contaminan.

### ¿Qué es el suelo? ¿Qué es el subsuelo?

El suelo es la primera capa que va desde la superficie del terreno hasta aproximadamente 30 cm de profundidad y se define como:

“Material compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y microorganismos”.

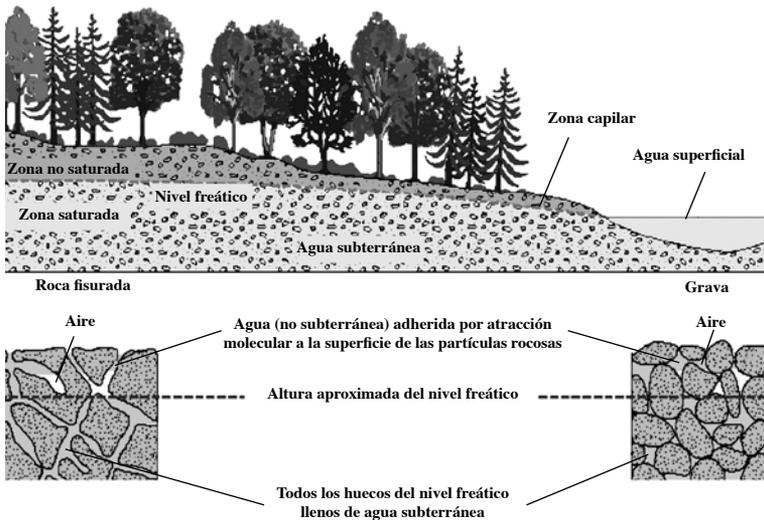
El subsuelo es la materia que está por abajo del suelo, y tiene características muy parecidas a las del suelo.

El suelo y el subsuelo pueden estar formados por rocas muy sólidas o por capas de arenas, arcillas, limos, etc., que tienen características diferentes.

## ¿Qué es un acuífero?

Si hacemos una excavación observamos que el suelo está húmedo, pero en algunos sitios, al excavar a más profundidad, empieza a escurrir más agua. Esto quiere decir que el suelo está saturado; es decir, que entre los granitos de suelo hay agua, como se ve en la figura.

Cuando el suelo está saturado, se tiene un acuífero y entonces se pueden instalar pozos y extraer agua para el uso de las personas. Esto es lo que se hace en la Ciudad de México y en muchas otras ciudades del país.



### Acuífero

## Contaminación

### ¿Cómo se contaminan el suelo, el subsuelo y los acuíferos?

Hay muchas formas de contaminar los suelos y los acuíferos. Por ejemplo, si el drenaje que lleva el agua sucia de nuestras casas tiene fugas, el agua sucia se va a ir hacia abajo, hacia el subsuelo, y puede llegar al acuífero y contaminarlo.

Los plaguicidas que se usan en el campo para eliminar la fauna nociva de los cultivos están hechos con compuestos químicos que en su mayoría son tóxicos y se deben usar sólo en las dosis requeridas. Pero, por lo general, se aplican en cantidades mayores que las requeridas y entonces, al regar los cultivos, estos químicos ingresan al suelo, al subsuelo y pueden llegar al acuífero. Lo mismo sucede con los fertilizantes, que aunque son buenos para estimular el crecimiento de los cultivos, están hechos con nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos que también pueden contaminar los suelos si se aplican en cantidades mayores de lo necesario.

Las industrias utilizan gran cantidad de compuestos químicos, metales, plásticos, disolventes, etc. Cuando las industrias no trabajan adecuadamente o tienen accidentes, pueden tener derrames de alguna de estas sustancias que van directamente a contaminar el suelo.

La magnitud de la contaminación depende de los compuestos que se derramen, pero también de la cantidad derramada y del tipo de suelo que se contamine.

### **¿Todos los suelos se contaminan igual?**

No. Los suelos, como se vio antes, pueden ser de diferentes tipos; unos dejan pasar más fácilmente el agua y se llaman de alta permeabilidad. Pero los contaminantes también son distintos y tienen propiedades diferentes. Esto hace que unos lleguen antes que otros al acuífero, o que algunos contaminen más que otros. Por ejemplo, los contaminantes viajan más rápido en un suelo arenoso que en uno arcilloso, porque el arenoso es más permeable, y tanto el agua como los contaminantes pasan más fácilmente.

El subsuelo de la Ciudad de México, en el centro y hacia el oriente de la misma, está formado por arcillas y limos que son casi impermeables; es decir, que el agua tarda en pasar y también los contaminantes, pero finalmente pueden ir viajando hacia abajo y llegar al acuífero.

## Prevención

### ¿Cómo evitar la contaminación de los suelos?

Las formas de contaminar pueden ser muy diferentes dependiendo del tipo de contaminante que se derrame en el suelo y las sustancias que lleguen.

Lo mejor es no contaminar, y para esto se requiere que cada sector sea cuidadoso en las diferentes prácticas que le corresponden. Las industrias pueden evitar los derrames de sus productos mediante sistemas adecuados de control y supervisión periódica de cada instalación. Asimismo es muy importante que las industrias cuiden los sitios de almacenamiento de sus residuos. Para esto existen normas que, al cumplirlas, se evita en gran medida la posibilidad de derrames que contaminen los suelos.



**Suelo contaminado**

## Limpieza de suelos

### ¿Qué puede hacerse con un suelo contaminado?

Debido a prácticas inadecuadas, sobre todo en años pasados, cuando no existían leyes y reglamentos para evitar la contaminación de los suelos y acuíferos, se contaminaron el suelo y el subsuelo de muchos sitios, así como los acuíferos.

La industria petrolera es una de las que más contaminó en el pasado, ya sea en muchas de sus instalaciones o bien a lo largo de los ductos que atraviesan todo el país.

La contaminación por hidrocarburos puede deberse a gasolina, diesel, combustóleo, petróleo crudo, o mezcla de aceites.



Suelo limpio

Cuando se toma la decisión de limpiar una extensión de terreno que se contaminó, lo primero que debe hacerse es conocer la magnitud de la contaminación y para esto hay un procedimiento que se llama “Caracterización del sitio contaminado” y después se propone una técnica de remediación (así se llama al término para limpiar suelos contaminados en México).

Una de las técnicas para limpiar los suelos contaminados es la biorremediación.

## **Biorremediación**

### **¿De qué se trata?**

La biorremediación es una técnica para limpiar suelos contaminados de una forma muy práctica ya que se usan a los mismos microorganismos que viven en el suelo y el subsuelo.

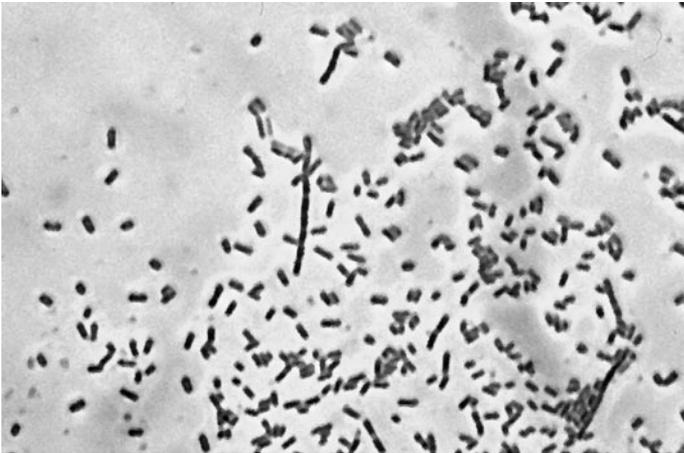
Hay que recordar que al principio se dijo que el suelo y el subsuelo están constituidos por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y microorganismos.

### **¿Qué son los microorganismos?**

Son organismos muy pequeños que existen en toda la naturaleza. Adentro del cuerpo humano, en las plantas, en el agua, en la tierra y en el aire. En todas partes existen microorganismos.

Aquí vamos a referirnos únicamente a los microorganismos del suelo.

Microorganismo significa organismo unicelular, del tamaño promedio de una micra (la milésima parte de un milímetro). En un gramo de suelo existen desde miles hasta millones de ellos. Los microorganismos del suelo son en su mayoría bacterias, protozoos, actinomicetos, hongos y algas.



**Bacterias del suelo**

La biorremediación usa a los microorganismos para que degraden los compuestos. Esto quiere decir que a los microorganismos que viven en el suelo les gusta comer algunos compuestos químicos que son tóxicos para la naturaleza, por ejemplo hidrocarburos (gasolina, petróleo, etc). Cuando se da la degradación completa el hidrocarburo se convierte en agua y bióxido de carbono.

Para que los microorganismos puedan “comer” eficientemente el compuesto y degradarlo, es necesario que se cumplan ciertas condiciones:

- La temperatura debe ser la adecuada
- Agua suficiente
- Debe existir una cantidad adecuada de nutrientes
- Cantidad de oxígeno suficiente (para microorganismos aerobios)

Estas condiciones permiten que los microorganismos crezcan y se multipliquen y entonces requieren mayor cantidad de sustancias químicas para comer y la biodegradación es más eficiente.

Si estas condiciones no se cumplen, los microorganismos no crecen lo suficiente y mueren.

### **¿Cómo se les proporciona lo necesario?**

Existen factores físicos y químicos para que la biorremediación se lleve a cabo de manera eficiente: agua, temperatura, pH, oxígeno, nutrimentos mayores y menores.

*Agua.* El contenido de agua es uno de los factores más importantes en la degradación debido a que entre el 80 y 90% del peso de las células bacterianas es agua.

*pH.* El valor de pH intracelular está entre 6.5 y 7.5, por lo que éste es el intervalo de pH para que el crecimiento de los microorganismos sea óptimo.

*Temperatura.* A medida que aumenta la temperatura, las reacciones químicas y enzimáticas aumentan en la célula. Para cada organismo existe una temperatura mínima, por debajo de la cual no hay crecimiento, una temperatura óptima en la que el crecimiento es más rápido y una máxima, arriba de la cual ya no hay crecimiento. El intervalo para el crecimiento óptimo de la mayoría de las bacterias está entre 20 °C y 35 °C.

*Oxígeno.* El oxígeno presente en el suelo debe ser cuando menos del 1%. Si el contenido es menor, se cambiarán las reacciones de respiración aerobias por anaerobias.

*Nutrientes.* La porción sólida de la célula de una bacteria está hecha de carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, fósforo y en menor cantidad potasio, sodio, calcio, magnesio, cloruros, hierro, otros. El mayor componente (50%) es el carbono. El contaminante que se quiere degradar debe contener este elemento. Después del carbono, el oxígeno es el que ocupa más espacio en la célula (20%). Se requieren nutrientes y oxígeno para las nuevas células.

La biorremediación es un proceso mediante el cual los microorganismos transforman los compuestos químicos peligrosos de un suelo contaminado en productos finales no peligrosos. Casi todos los compuestos orgánicos y algunos inorgánicos pueden degradarse biológicamente si se da el tiempo suficiente y se proporcionan las condiciones físicas y químicas requeridas.

## ¿Cómo se aplica la biorremediación?

Una vez que se conocen las características de la contaminación y del suelo, y se concluye que puede aplicarse la biorremediación, entonces se tiene que decidir si la biorremediación se va a aplicar en el mismo sitio donde el suelo está contaminado. Esto se llama biorremediación *in situ*.

### **Pasos de la biorremediación *in situ***

La biorremediación *in situ* consiste en estimular a los microorganismos que habitan en el suelo contaminado mediante la aplicación de nutrimentos y oxígeno.

Este es un sistema muy similar a las técnicas convencionales de tratamientos biológicos para aguas residuales, en los cuales se agregan nutrientes y aire al desecho orgánico para facilitar la biodegradación en un reactor biológico. En este caso el biorreactor es el subsuelo; aunque no puede existir el mismo control en un reactor de aguas residuales que en el subsuelo, porque las muestras de suelo no son homogéneas como las de agua.

Los requisitos para que la biorremediación *in situ* sea factible son los siguientes:

1. El subsuelo debe ser suficientemente permeable para permitir que la solución con los nutrimentos y el oxígeno llegue adecuadamente al sistema.

2. La concentración del sustrato (contaminante) debe ser mayor que la concentración de sustrato mínimo para el crecimiento de los microorganismos. Si la concentración del contaminante no es suficiente se requiere un segundo sustrato para los microorganismos.

3. Debe haber un número suficiente de bacterias o microorganismos para que puedan degradar los contaminantes del suelo.

4. Contar con el método apropiado para suministrar oxígeno al subsuelo (lo más usual es agregar aire o agua). La introducción de burbujas de aire puede mejorar la biodegradación aerobia de los contaminantes orgánicos.

5. Los nutrientes nitrógeno y fósforo así como los micronutrientes (hierro, calcio, etc.) se agregan al sistema a través de galerías filtrantes o pozos de inyección. El nitrógeno, fósforo y potasio por lo general se agregan en forma de fertilizantes.

## Otras formas de biorremediación

En otras formas de biorremediación hay que extraer el suelo contaminado y después limpiarlo.

Algunos de estos métodos de biorremediación son los siguientes:

### Biopilas

La técnica de biopilas consiste en formar pilas con el suelo contaminado y estimular la actividad microbiana, agregando aire, agua y fertilizantes que contengan nitrógeno y fósforo, en un ambiente con temperaturas mayores a 15 °C. El aire se introduce mediante un compresor mecánico. Las biopilas se construyen en capas de 30 cm de altura y después de cada capa se coloca la tubería por la cual se va a introducir el aire, para que los microorganismos tengan oxígeno suficiente.



**Formación de biopilas de suelo contaminado**

## **Biolabranza**

La técnica de biolabranza consiste en airear el suelo almacenado en montones y ahí mismo agregar agua y fertilizantes. En este caso, la aireación se realiza con equipos mecánicos como tractores o retroexcavadoras.



**Aireación del suelo para biolabranza**

Las bacterias que viven en el suelo contaminado ya están adaptadas al contaminante y por eso lo resisten y no se mueren. Al recibir oxígeno, a través del aire, agua y fertilizantes en las cantidades necesarias y además estar en un ambiente adecuado de temperatura, dichas bacterias van a crecer y multiplicarse y van a “comer” el contaminante y lo van a transformar en dióxido de carbono y agua, de manera que la contaminación va a ir disminuyendo.

En esto consiste la biorremediación que ya se usa exitosamente en muchos lugares de México, principalmente donde ha habido derrames de hidrocarburos.

Aunque el método de biorremediación es muy eficiente para reducir la contaminación del suelo y los acuíferos, es mejor contar con un control del manejo de las instalaciones y operaciones de mantenimiento de las industrias y evitar la contaminación. Esto siempre será más amigable con el ambiente y se reducirán los costos.

# Rosario Iturbe Argüelles

La doctora Rosario Iturbe Argüelles cursó la licenciatura en ingeniería civil y el posgrado en ingeniería ambiental, ambos estudios en la UNAM. Desde 1984 es investigadora en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en el cual es actualmente Coordinadora de Ingeniería Ambiental. Sus principales líneas de investigación son el saneamiento de suelos y acuíferos contaminados y el transporte de contaminantes en el subsuelo. Ha publicado más de 100 artículos en revistas internacionales, memorias de congresos y revistas nacionales. Ha dirigido 23 tesis de posgrado y 10 de licenciatura. Es profesora del curso *Control de la contaminación de suelos y acuíferos* en el posgrado de ingeniería. Fue invitada por la compañía *CSI Ingenieros* a dirigir el proyecto “Evaluación ambiental de sitios contaminados por hidrocarburos” para la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (Uruguay, 2005).

## *¿Qué es la biorremediación?*

Editado por la DGDC-UNAM y el Sistema de Transporte Colectivo Metro, terminó de imprimirse el 31 de marzo de 2010 en los talleres de Galas de México ubicados en San Antonio Abad 121, Col. Obrera, 06800, México D.F.

El cuidado de la edición estuvo a cargo de Nemesio Chávez.

La impresión se realizó en offset en papel bond de 90 gramos.

En su composición se usaron tipos Times de 9, 14 y 16 puntos y Book Antiqua de 14 y 16 puntos. El tiraje constó de 50,000 ejemplares.



## LA CIENCIA ES CULTURA

La colección Ciencia de Boleto preparada por la UNAM para el Sistema de Transporte Colectivo, pretende que el público se acerque a la ciencia y la considere parte de su cultura. Quienes se preocupan de no fragmentar el conocimiento piensan que la divulgación de la ciencia de calidad es literatura y es arte. Gran cantidad de investigadores y divulgadores de la UNAM ponen su granito de arena para sacar a la ciencia de los laboratorios y las escuelas y llevarla a los usuarios del Metro. Esperamos que este esfuerzo resulte de su agrado. No sólo se puede aprender en los salones de clase y universidades, sino también en caminos subterráneos de nuestra ciudad y en movimiento.

**Lee y devuelve CIENCIA DE BOLETO**

**SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO**



SISTEMA  
DE TRANSPORTE  
COLECTIVO

Este fascículo fue impreso gracias a la colaboración de

