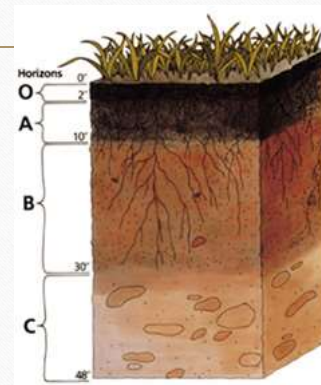


Contaminación de Suelos

El Suelo

- El suelo es la fina capa superior de la corteza terrestre en contacto con la atmósfera o las aguas, que se ha formado lentamente como consecuencia de la acción combinada de los procesos geológicos (naturaleza de la roca madre, erosión, sedimentación, etc.), climatológicos (lluvia, viento, humedad, temperatura etc.) y biológicos (vegetación, fauna, etc.).



Los componentes del suelo se pueden dividir en **sólidos, líquidos y gaseosos**.

Sólidos

Este conjunto de componentes representa lo que podría denominarse el esqueleto mineral del suelo.

Silicatos, Óxidos e hidróxidos de Fe y de Al y granos poliminerales; Carbonatos (calcita, dolomita); Sulfatos; Cloruros y nitratos; Sólidos de naturaleza orgánica o complejos órgano-minerales, la materia orgánica muerta existente sobre la superficie, el humus o mantillo

Líquidos

Esta fracción está formada por una disolución a causa de las sales y los iones más comunes como Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻,... así como por una amplia serie de sustancias orgánicas

Gases

La fracción de gases está constituida fundamentalmente por los gases atmosféricos y tiene gran variabilidad en su composición, por el consumo de O₂, y la producción de CO₂ dióxido de carbono. El primero siempre menos abundante que en el aire libre y el segundo más, como consecuencia del metabolismo respiratorio de los seres vivos del suelo, incluidas las raíces y los hongos. Otros gases comunes en suelos con mal drenaje son el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O).

Clasificación

Por su estructura

- **Suelos arenosos:** No retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura.
- **Suelos calizos:** Tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco o pardo y, en lugares secos y áridos, no son buenos para la agricultura.
- **Suelos humíferos** (tierra negra): Tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.
- **Suelos arcillosos:** Están formados por granos finos de color amarillento o rojizo y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con el humus, que es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos, pueden ser buenos para cultivar.
- **Suelos pedregosos:** Formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.
- **Suelos mixtos:** Tiene características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos mezclados.

Por sus características físicas

- **Litosoles:** Se consideran un tipo de suelo que aparece en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm y sostienen una vegetación baja. Se conocen también como leptosoles, palabra que viene del griego leptos, que significa "delgado".
- **Cambisoles:** Son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla. Se divide en vértigos, gleycos, eutrícos y crómicos.
- **Luvisoles:** Presentan un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50%.
- **Acrisoles:** Presentan un marcado horizonte de acumulación de arcilla y bajo saturación de bases al 50%.
- **Gleysoles:** Presentan agua en forma permanente o semipermanente con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 50 cm.
- **Fluvisoles:** Son suelos jóvenes formados por depósitos fluviales, la mayoría son ricos en calcio.
- **Rendzina:** Presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.
- **Vertisoles:** Son suelos arcillosos de color negro, presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de poca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales

Características principales de los suelos

PROPIEDADES FÍSICAS

Color · **Textura** (mezcla particular de arena, arcilla y limo) · **Estructura** (si es buena, es un buen suelo para cultivo) · **Porosidad** (por los poros penetran el agua y el aire) · **Permeabilidad** (movilidad del aire y del agua dentro del suelo) · **Profundidad efectiva** · **Drenaje** (rapidez con que se secan)

PROPIEDADES QUÍMICAS

pH (influye en la disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana) · **Fertilidad** (buenas concentraciones de nutrientes para las plantas) · **Materia orgánica** (residuos de plantas y animales en descomposición)

La contaminación del suelo. Causas

Los suelos contaminados se generan principalmente por:

- Mala gestión de los residuos urbanos e industriales: vertidos incontrolados, acumulaciones incorrectas, ruinas industriales, enterramientos de bidones y envases, antiguos enterramientos de residuos, etc.
- Malas prácticas en instalaciones industriales: fugas, almacenamiento incorrecto.
- Accidentes en el transporte, almacenamiento y manipulación de productos químicos.
- Tratamiento incorrecto de las aguas residuales urbanas e industriales, mal estado de las redes de saneamiento, fugas, etc.
- Empleo indiscriminado de fitosanitarios.
- Deposición de contaminantes atmosféricos.

La contaminación del suelo. Efectos

- Destrucción del poder de autodepuración por procesos de regeneración biológica normales, al haberse superado la capacidad de aceptación del suelo. Se ve afectado el ciclo biogeoquímico y la función de biofiltro.
- Disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento de los microorganismos del suelo, o bien alteración de su diversidad, lo que hace aumentar la fragilidad del sistema.
- Disminución del rendimiento de los cultivos con posibles cambios en la composición de los productos, con riesgo para la salud de los consumidores, al entrar determinados elementos en la cadena trófica.
- Contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia. Se alcanzan concentraciones superiores a las consideradas aceptables.
- Disminución de las funciones de soporte de actividades de ocio. Los espacios contaminados presentan problemas de salubridad para los usuarios.

La contaminación del suelo. Principales Agentes

- Los **hidrocarburos** son los principales agentes contaminadores del suelo. Los combustibles fósiles (fueles, gasolinas, gasóleos, kerosenos, etc.) se emplean en numerosas actividades y se almacenan en grandes cantidades.
- Los **metales pesados** en pequeñas dosis pueden ser beneficiosos para los organismos vivos y de hecho son utilizados como micronutrientes, pero pasado un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud. Proceden de productos químicos utilizados en agricultura y de lodos residuales, de actividades de minería y fundición, de desechos domésticos, y de actividades industriales sin olvidar su origen natural, como son las emisiones volcánicas o la existencia en un tipo de suelo determinado de concentraciones altas de estos tipos de metales
- Las **partículas ácidas atmosféricas** en suspensión proceden generalmente de la industria, del tráfico rodado, abonos nitrogenados que sufren el proceso de desnitrificación. Como consecuencia de esta contaminación se disminuye el pH del suelo con lo que se puede superar la capacidad tampón y liberar elementos de las estructuras cristalinas que a esos pH pueden solubilizarse y son altamente tóxicos para animales y plantas.

Remediación de suelos

Se refiere a la adición de materiales a ambientes contaminados para producir una aceleración del proceso natural de biodegradación. Estas degradaciones o cambios ocurren usualmente en la naturaleza (por lo cual el proceso se denomina “atenuación natural”), sin embargo la velocidad de tales cambios es baja. Mediante una adecuada manipulación, sistemas biológicos pueden ser optimizados para aumentar la velocidad de cambio o degradación y así usarlos en sitios con una elevada concentración de contaminantes.

Tipos de tratamientos

- **Tratamientos biológicos (biorremediación).** Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos.
- **Tratamientos fisicoquímicos.** Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.
- **Tratamientos térmicos.** Utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes en un suelo.

Biorremediación

La biorremediación es la utilización de tecnologías mediante las cuales se estimula la biodegradación del contaminante o la capacidad de recuperación del ecosistema mediante procesos biológicos, al objeto de minimizar las consecuencias de un contaminante.

Ventajas

- Mientras que los tratamientos físicos y buena parte de los químicos están basados en transferir la contaminación entre medios gaseoso, líquido y sólido, en la biorremediación se transfiere poca contaminación de un medio a otro.
- Es una tecnología poco invasiva y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos que signifiquen una amenaza para el medio.
- Comparativamente, es económica viable y al tratarse de un proceso natural, suele tener aceptación por parte de la opinión pública.

Desventajas

- La biodegradación incompleta puede generar intermediarios metabólicos inaceptables, con un poder contaminante similar o incluso superior al producto de partida y algunos compuestos contaminantes son tan resistentes que pueden incluso inhibir a biorremediación.
- Es difícil predecir el tiempo de requerido para un proceso adecuado y el seguimiento y control de la velocidad y/o extensión del proceso es costoso.

BIORREMEDIACIÓN “IN SITU” Este tipo de tratamiento normalmente es la opción más adecuada para la recuperación de suelos, ya que no es necesaria la preparación y excavación del material contaminado.

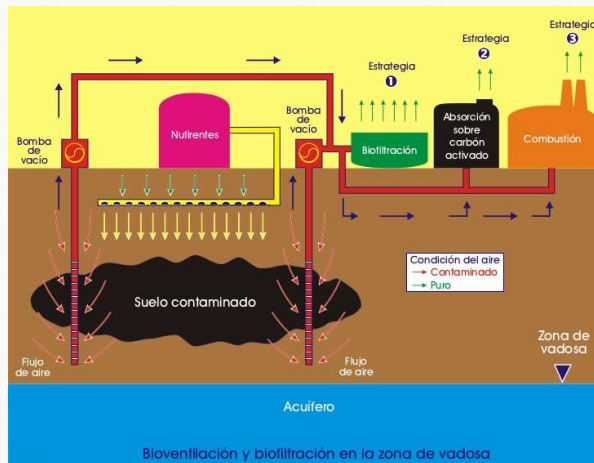
Las técnicas más usadas son:

- Bioventeo o Bioaireación o Bioventing
- Inyección de aire a presión o Biosparging
- Atenuación natural
- Bioestimulación
- Bioaumentación

Bioventeo o Bioaireación o Bioventing

- Consistente en la ventilación forzada del suelo mediante la inyección a presión de oxígeno (aire) en la **zona no saturada del suelo** (situada entre la superficie y los acuíferos) a través de pozos de inyección. Debido a la aireación del suelo se va a favorecer la degradación de los hidrocarburos por dos motivos: por volatilización, facilitando la migración de la fase volátil de los contaminantes, y por biodegradación, ya que al incrementar la oxigenación del suelo se van a estimular la actividad bacteriana.

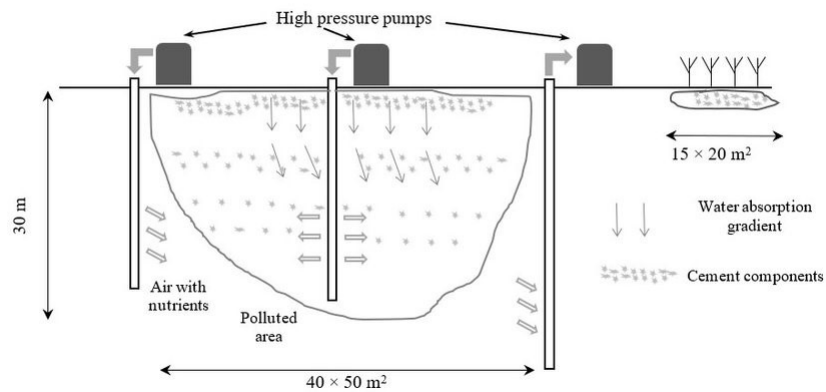
Bioventeo o Bioaireación o Bioventing



Inyección de aire a presión o Biosparging

- Consiste en inyectar aire (u oxígeno) a presión y nutrientes en la zona saturada para aumentar la actividad biológica de los microorganismos autóctonos. Esta inyección genera principalmente dos efectos: 1. El aire inyectado absorbe gran cantidad de los hidrocarburos volátiles presentes en el agua y el suelo. 2. El aire eleva los niveles de oxígeno del agua mejorando la biodegradación de los contaminantes (Matthews, 1993). Con la inyección de aire a presión se llevan a cabo dos mecanismos de remoción del contaminante, la volatilización de compuestos de la zona no saturada y la fase acuosa y la biodegradación. El mecanismo gobernante depende de las características de los contaminantes.

Inyección de aire a presión o Biosparging



Otros métodos in-situ

Atenuación natural
Bioestimulación
Bioaumentación
Fitorremediación

Atenuación natural

- Su característica principal es la utilización de los procesos fisicoquímicos de interacción contaminante-suelo y los procesos de biodegradación que tienen lugar de forma natural en el medio. Estos procesos se conocen como procesos de biotransformación natural que van a reducir la concentración de los contaminantes y entre los que se encuentran la **dilución, dispersión, volatilización, adsorción, biodegradación y aquellas reacciones químicas que se producen en el suelo y que contribuyen de alguna forma a la disminución de la contaminación.**

Bioestimulación

- Implica la circulación de soluciones acuosas (que contengan nutrientes y/u oxígeno) a través del suelo contaminado, para estimular la actividad de los microorganismos autóctonos, y mejorar así la biodegradación de contaminantes orgánicos o bien, la inmovilización de contaminantes inorgánicos in situ (Van Deuren y col., 1997). En este sistema, el agua subterránea es conducida a la superficie por medio de un sistema de pozos de extracción, se acondiciona en un reactor para volverla a inyectar y estimular la degradación bacteriana de los contaminantes del subsuelo y del acuífero. En el reactor en superficie se agregan al agua: nutrientes, oxígeno. Algunas veces esta técnica utiliza **biosurfactantes** para ayudar al lavado de contaminantes del suelo (Zitrides, 1990); (Cole, 1994).

Bioaumentación

- El principio de la bioaumentación es de utilizar bacterias altamente especializadas para incrementar y mejorar, la capacidad de digestión total de la población bacteriana natural, presente en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y suelos. Esta tecnología se utiliza cuando se requiere el tratamiento inmediato de un sitio contaminado, o cuando la microflora autóctona es insuficiente en número o capacidad degradadora. Consiste en la adición de microorganismos vivos, que tengan la capacidad para degradar el contaminante en cuestión, para promover su biodegradación o su biotransformación. El tamaño del inóculo a utilizar, depende del tamaño de la zona contaminada, de la dispersión de los contaminantes y de la velocidad de crecimiento de los microorganismos degradadores (Riser-Roberts, 1998).

Fitorremediación

Uso de la capacidad de algunas plantas para acumular los tóxicos que contaminan el suelo y las aguas. El término fitorremediación es asociado con el uso potencial de especies hiperacumuladoras.

También se puede realizar una clasificación en función de los contaminantes con los que se puede trabajar (Alexander, 1999; Eweis *et al.*, 1999):

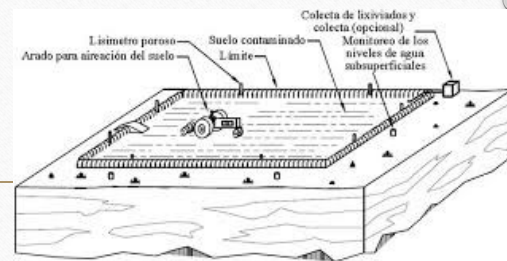
- **Hidrocarburos de todo tipo** (alifáticos, aromáticos, BTEX, PAHs,...).
- **Hidrocarburos clorados** (PCBs, TCE, PCE, pesticidas, herbicidas,...).
- **Compuestos nitroaromáticos** (TNT y otros).
- **Metales pesados**. Estos no se metabolizan por los microorganismos de manera apreciable, pero pueden ser inmovilizados o precipitados.
- **Otros contaminantes**. Compuestos organofosforados, cianuros, fenoles, etc.

BIORREMEDIACIÓN EXSITU.

- Tratamiento en lechos (landfarming)
- Biopilas
- Compostaje

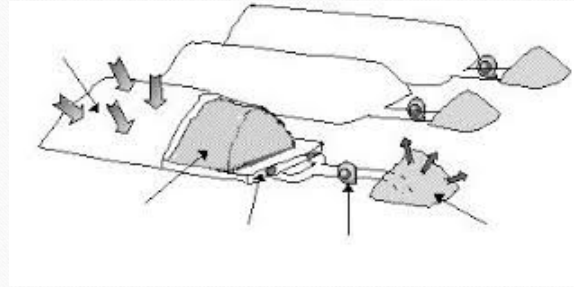
Landfarming

- El suelo se excava y se extiende en parcelas adecuadas, de gran extensión,
- Generalmente **on site**: junto al lugar donde se realiza la recuperación.
- Se forma una delgada capa sobre la superficie



Bioceldas o biopilas

- Generalmente se ejecuta on site: junto al lugar donde se realiza la recuperación
- El suelo se excava y se dispone en pilas o montones



Compostaje

- El compostaje consiste en estimular la actividad biodegradadora aerobia de microorganismos indígenas bajo condiciones termofílicas que permita transformar compuestos orgánicos en sustancias inocuas.
- Es un método de tratamiento de residuos orgánicos frecuentemente empleado.
- Produce un material higienizado, estable y parecido al humus, rico en materia orgánica, que se denomina compost.

