

1a edición, Febrero 1996

© SECRETARIA DE GOBERNACION

© CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES  
AV DELFIN MADRIGAL No. 665, COL. PEDREGAL SANTO  
DOMINGO, DELEGACION COYOACAN, C.P. 04360, MEXICO, D.F.  
TELEFONOS 606 98 37, 606 97 39, 606 99 82, FAX: 606 16 08

© Autores: Carlos Manuel Ibarra Díaz, María Esther Arcos  
Serrano, Cecilia Izcapa Treviño y Georgina Fernández  
Villagómez.

Edición a cargo de: M.I. María Esther Arcos Serrano.

Impresión a cargo de: Lic. Ricardo Cícero Betancourt y Violeta  
Ramos Radilla

Derechos reservados conforme a la ley  
IMPRESO EN MEXICO. *PRINTED IN MEXICO*

Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de  
Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES  
EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

## SECRETARIA DE GOBERNACION

**Lic. Emilio Chuayffet Chemor**  
Secretario de Gobernación

**Lic. Juan Ramiro Robledo Ruiz**  
Subsecretario de Protección Civil y de Prevención  
y Readaptación Social

## CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES

**Dr. Roberto Meli**  
Director General

**Ing. Shigeharu Morishita**  
Director del Equipo Asesor Japonés

**Dr. Mario Ordaz**  
Coordinador de Investigación

**M. en I. Roberto Quas**  
Coordinador de Instrumentación

**Lic. Ricardo Cícero Betancourt**  
Coordinador de Difusión

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCION CIVIL  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA LA  
DESCONTAMINACION DE SUELOS

Carlos Manuel Ibarra Díaz  
María Esther Arcos Serrano  
Cecilia Izcapa Treviño  
Georgina Fernández Villagómez

COORDINACION DE INVESTIGACION  
AREA DE RIESGOS QUIMICOS

# CUADERNOS DE INVESTIGACION

## P R E S E N T A C I O N

---

La Coordinación de Investigación del Centro Nacional de Prevención de Desastres realiza estudios sobre las características de los fenómenos naturales y de las actividades humanas que son fuentes potenciales de desastres, así como sobre las técnicas y medidas que conducen a la reducción de las consecuencias de dichos fenómenos.

Las actividades enfocan la problemática de los Riesgos Geológicos (Sismos y Volcanes), de los Riesgos Hidrometeorológicos (Inundaciones, Huracanes, Sequías, Erosión) y de los Riesgos Químicos (Incendios, Explosiones, Contaminación por Desechos Industriales).

Los resultados de los estudios se publican en Informes Técnicos que se distribuyen a las instituciones y los especialistas relacionados con cada tema específico.

En adición a dichos informes técnicos de carácter muy especializado, el CENAPRED ha emprendido la publicación de esta serie, llamada CUADERNOS DE INVESTIGACION, con el fin de dar a conocer a un público más amplio aquellos estudios que se consideran de interés más general o que contienen información que conviene quede publicada en una edición más formal que la de los Informes Técnicos.

Los Catálogos de Informes Técnicos y de Cuadernos de Investigación, así como las publicaciones específicas pueden obtenerse solicitándolos por escrito a la Coordinación de Investigación del CENAPRED, o pueden consultarse directamente en su Unidad de Información.

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>CAPITULO I CONTAMINACION DEL SUELO POR SUSTANCIAS TOXICAS</b> .....	13
<b>1.1 CAUSAS DE LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS TOXICAS EN EL SUELO</b> .....	13
<b>1.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALIZADOS EN SUELOS</b> .....	15
<b>CAPITULO II METODOS DE DESCONTAMINACION DE SUELOS</b> .....	17
<b>2.1 INTRODUCCION</b> .....	17
<b>2.2 TECNICAS DE INYECCION DIRECTA</b> .....	17
2.2.1 Método "DETOXIFIER" .....	18
2.2.2 Métodos combinados: Suelo y Agua Contaminados .....	19
2.2.3 Sistema "CROW" .....	24
<b>2.3 METODOS DE EXTRACCION</b> .....	25
2.3.1 Introducción .....	25
2.3.2 Proceso "BEST" .....	26
2.3.3 Proceso "CONTEX" .....	32
2.3.4 Otros Procesos de Extracción .....	35
2.3.5 Sistema "EXCALIBUR" .....	38
2.3.6 Suelos Contaminados con Plomo .....	39
<b>2.4 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE SUELOS CONTAMINADOS</b> .....	40
2.4.1 Introducción .....	40
2.4.2 Requisitos de Aplicación .....	41
2.4.3 Microorganismos que pueden degradar contaminantes .....	43
<b>2.5 ESTABILIZACION DE SUELO CONTAMINADO CON SILICATOS</b> .....	44
<b>2.6 RESUMEN DE OPCIONES PARA DESCONTAMINACION DE SUELOS</b> .....	45
<b>CAPITULO III SITUACION EN MEXICO</b> .....	49
<b>CAPITULO IV LEGISLACION</b> .....	55
<b>ANEXO</b> .....	57
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	59

# TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA LA DESCONTAMINACION DE SUELOS

## RESUMEN

Existe una gran variedad de sustancias tóxicas que contaminan los suelos, cuya presencia se debe a la disposición de materiales peligrosos que se desechan de diversos procesos industriales o bien por derrames accidentales de compuestos químicos.

En el presente trabajo se mencionan las principales sustancias químicas tóxicas presentes en los suelos y se describen algunos de los métodos de tratamiento que se han desarrollado en los últimos 10 años, los cuales permiten la recuperación de estas sustancias y la regeneración del suelo contaminado. Estas técnicas se clasifican en los siguientes grupos dependiendo del tipo de proceso:

- Técnica de inyección directa
- Técnicas de extracción por solventes
- Técnicas mediante microorganismos para degradación de contaminantes orgánicos

También se plantea la situación actual en México, ya que en el país no se ha dado la debida importancia al problema de contaminación de suelos, por lo tanto no se han identificado los sitios que presentan mayor contaminación, ni se han estudiado las posibles técnicas de tratamiento. La actividad petrolera se considera una de las principales fuentes de contaminación de suelos en el país. Así como, los patios de algunas industrias y los sitios clandestinos donde se acumulan residuos tóxicos. También representan un problema importante los tiraderos municipales donde se mezclan residuos industriales con desechos domésticos, lo que implica un riesgo a la salud.

Por último, se presenta la legislación vigente en México contenida básicamente en las normas ecológicas expedidas por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

# TECHNOLOGYS OF TREATMENT FOR SOILS RESTORATION

## ABSTRACT

There is a wide variety of toxics substances that pollute the soils, wich presence obeys to the disposal of dangerous materials that are produced from diverse industrial processes or by accidental spills of chemical compounds.

In this document are mentioned the main toxic chemicals present in soils and describes some methods of treatment that has been developed in the last 10 years, wich permit the recuperation of this substances and the regeneration of contaminated soil. This technics has been clasificated in the following groups according to the type of process involved:

- Direct injection
- Extraction with solvents
- Degradation of organics contaminants by microorganism

Also it shows the actual situation in México, since in this country has not been considered the problem of soils pollution in his wide dimension, thus it has not been identified the places that present more pollution, neither has not been studied the possible thecnics of treatment. The oil industry is considered as one of main sources of soils pollution in the country. Moreover the backyards of industries and the clandestine sites where are acumulated toxic wastes. Also represent an important problem the municipals waste sites where are mixed hazardous with domestic wastes, that implies a risk to the public health.

Finally, last legislation in México is presented mainly Ecological Norms issued by Social Development Office (Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL).

# CAPITULO I

## CONTAMINACION DEL SUELO POR SUSTANCIAS TOXICAS

### 1.1 CAUSAS DE LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS TOXICAS EN EL SUELO

Las causas de la presencia de sustancias tóxicas en los suelos obedece principalmente a:

- a) Disposición de materiales peligrosos en el suelo, desechados como resultado de un proceso industrial que en el momento no tuvo un tratamiento adecuado.
- b) Derrames accidentales de compuestos químicos.

El método de disposición de desechos en sitios específicos era una forma de desligarse del material peligroso, ya que representa un método económico y se pensaba seguro, este método se basa en el principio de la descomposición del material tóxico por microorganismos. Pero antes de disponer el material se deben considerar muchas características importantes que el suelo debe poseer para favorecer la degradación de ciertos materiales, las cuales se mencionan a continuación (Parr/Marsh, 1979):

#### \* TEXTURA

Este factor determina la capacidad de filtración y permeabilidad, capacidad de absorción de agua, aire y nutrientes. Un buen suelo debe contar con una porosidad media, ya que suelos poco porosos ocasionan una permeabilidad lenta que no permite llegar los elementos necesarios, y por el contrario una alta porosidad también es negativa, porque son excesivamente drenables no permitiendo que los nutrientes se absorban bien, ya que se mueven muy rápidamente.

#### \* DENSIDAD

Es la medida del peso del suelo por unidad de volumen, lo cual determina el tamaño de poro del suelo. Esta medida puede variar con el uso frecuente de maquinaria pesada para trabajar el suelo, o bien en caso de incorporar desechos compactos, la densidad tenderá a incrementarse. Si se adicionan desechos orgánicos, la densidad disminuye y por lo tanto se incrementa la filtración y la permeabilidad.

#### \* CAPTACION DE AGUA

La capacidad de captación de agua es proporcional a su densidad y textura. Suelos de textura fina o alta densidad no mantienen la adecuada humedad. El contenido de agua es determinante para la cantidad de oxígeno, potencial Redox y la actividad microbiológica, así como la presencia de materia orgánica también incrementa el contenido de agua.

Otros factores que afectan las reacciones químicas que ocurren en los suelos son:

- El tipo y cantidad de fracciones orgánicas e inorgánicas que interactúan
- el pH del sistema

- las concentraciones relativas de macro y micro-nutrientes
- el potencial Redox

Estos factores, aunados al clima y población microbiana determinan cuando un suelo es capaz de asimilar desechos industriales.

En el suelo se llevan a cabo una gran cantidad de reacciones que involucran intercambio iónico, principalmente catiónicos. Esto depende del pH, a un pH alto los iones  $H^+$  localizados en arenas y material húmico se separan y pueden reemplazarse por otros cationes, estos cationes a su vez se pueden sustituir por otros. Entre los cationes más comunes que se encuentran en el suelo son:  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $H^+$ .

Existe una medida para la capacidad de intercambio catiónico (Cation Exchange Capacity: CEC), se refiere al total de cationes capaces de intercambiarse por unidad de masa o peso de suelo (meq/100 g suelo). Este valor varía dependiendo del tipo de suelo, por ejemplo en caolinita es 1-10 meq/100 g, en illitas 10-40 meq/100 g, en montmorillonitas de 80-100 meq/100 g y en vermiculita de 120-150 meq/100 gramos de suelo. Por lo general los suelos están formados por mezclas de estos tipos.

También existen intercambios aniónicos, aunque en menor grado que los catiónicos, éstos se llevan a cabo por mecanismos más complejos que simple atracción electrostática como es el caso del intercambio catiónico. Generalmente las partículas de tierra silícica tienen una carga negativa, la cual repele aniones de minerales. Los aniones como  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  y  $SO_4^{2-}$  se retienen comúnmente en los suelos por fuerzas electrostáticas de carga positiva y se consideran como no absorbidas.

En los suelos también se encuentran reacciones de precipitación, adsorción y formación de complejos de organometálicos. Los hidróxidos presentes se pueden absorber por aniones como el arsenato, molibdato y fosfato a través de un intercambio ligante.

La presencia de  $CO_2$  en el suelo propicia la reacción de algunos cationes para formar carbonatos solubles. Este es el principal mecanismo por el cual encontramos carbonato de calcio en casi todos los tipos de suelos, ya que el calcio es uno de los cationes más abundantes en la naturaleza.

La mayoría de todas las reacciones químicas y biológicas en el suelo involucran reacciones de óxido-reducción, las cuales transfieren electrones de un anión o molécula a otro(a). Generalmente el oxígeno del aire recibe los electrones de la materia orgánica, funcionando como agente oxidante. El papel del suelo también es el proveer aceptores de electrones para la oxidación de la materia orgánica y otros compuestos. Cuando la cantidad de oxígeno no es suficiente para efectuar la oxidación, entonces intervienen otros agentes como los nitratos, manganeso IV y III, Hierro III y azufre VI, los cuales funcionan como receptores de electrones.

Como se puede observar, el conocimiento de un suelo en especial requiere examinar todos estos aspectos. Este análisis se realiza antes de disponer algún material tóxico al suelo, tomando en cuenta también el tipo y la cantidad de contaminante(s) que se añada(n).

Otros aspectos a considerar son las condiciones que rodean al sitio propuesto, entre las que se encuentran asentamientos humanos, corrientes de agua, tanto superficiales como subterráneas, la vegetación y la fauna, etc.

Se ha observado que esta práctica no fué bien aplicada a nivel mundial, ya que se han creado grandes cementerios tóxicos con elevadas concentraciones de contaminantes, algunos de los cuales no se degradan en forma natural. Se sobre-estimó la capacidad de la naturaleza para eliminar muchos desechos que actualmente alcanzan grandes concentraciones, por la cual es necesario darles la atención necesaria, ya que se están afectando otras áreas y sobre todo los mantos acuíferos.

Los derrames de solventes, hidrocarburos y otros compuestos también son otra fuente importante de contaminación al suelo, ya que generalmente no se tratan de recuperar o no se aplica un tratamiento para descontaminar. De esta manera, grandes cantidades de contaminantes quedan retenidas en el suelo, por ejemplo, un suelo no saturado de agua, puede captar hasta un 30% de la capacidad de retención de agua con hidrocarburos del petróleo.

## **1.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALIZADOS EN SUELOS**

Los suelos contaminados alojan una gran variedad de sustancias químicas tóxicas, cuyas concentraciones pueden variar desde algunas partes por billón de un solo contaminante, hasta altas concentraciones de una mezcla de varias sustancias. Se han realizado algunos estudios para determinar los contaminantes más comunes en la mayoría de los suelos afectados. El Cuadro 1.2 muestra una lista de los contaminantes de mayor incidencia en el suelo, estos datos se obtuvieron de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, USEPA), la cual ha determinado 1035 lugares contaminados con desechos tóxicos. Se puede observar en esta lista que muchos de los compuestos contaminantes son volátiles o corrosivos, lo que implica tener que trabajar con equipo especial, tanto de maquinaria como de protección personal, para tratar dichas zonas.

Generalmente estos compuestos están mezclados interactuando entre sí, lo que hace más difícil su tratamiento, por lo cual, antes de aplicar algún tratamiento de descontaminación es necesario hacer un análisis, tanto cualitativo como cuantitativo, para determinar estas sustancias y sus concentraciones.

**PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALIZADOS  
EN SUELOS CONTAMINADOS**

SUSTANCIA	Incidencia	SUSTANCIA	Incidencia
Tricloroetileno	246	Cobre	74
Plomo	230	Zinc	71
Cromo	173	Cloruro de vinilo	68
Bifenilo policlorado	156	Xileno	67
Metales pesados	147	Cloroformo	65
Tetracloroetileno	138	Fenoles	64
Benceno	137	Dicloroetano	60
Tolueno	131	Solventes	57
Orgánicos volátiles	129	Cianuros	53
Arsénico	119	Níquel	46
Cadmio	100	Dicloroetileno	45
Tricloroetano	86	Etil benceno	45

Tabla 1.2: Principales contaminantes localizados en 1035 suelos contaminados, en Estados Unidos según estudios de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), Junio 1991.

También se han clasificado los desechos tóxicos en varias familias, dependiendo de su origen:

Textiles	Madera/vegetación
Vidrio	Desechos de construcción
Papel	Suelo
Metales	Líquidos
Plásticos	Asbestos
Gomas	Otros