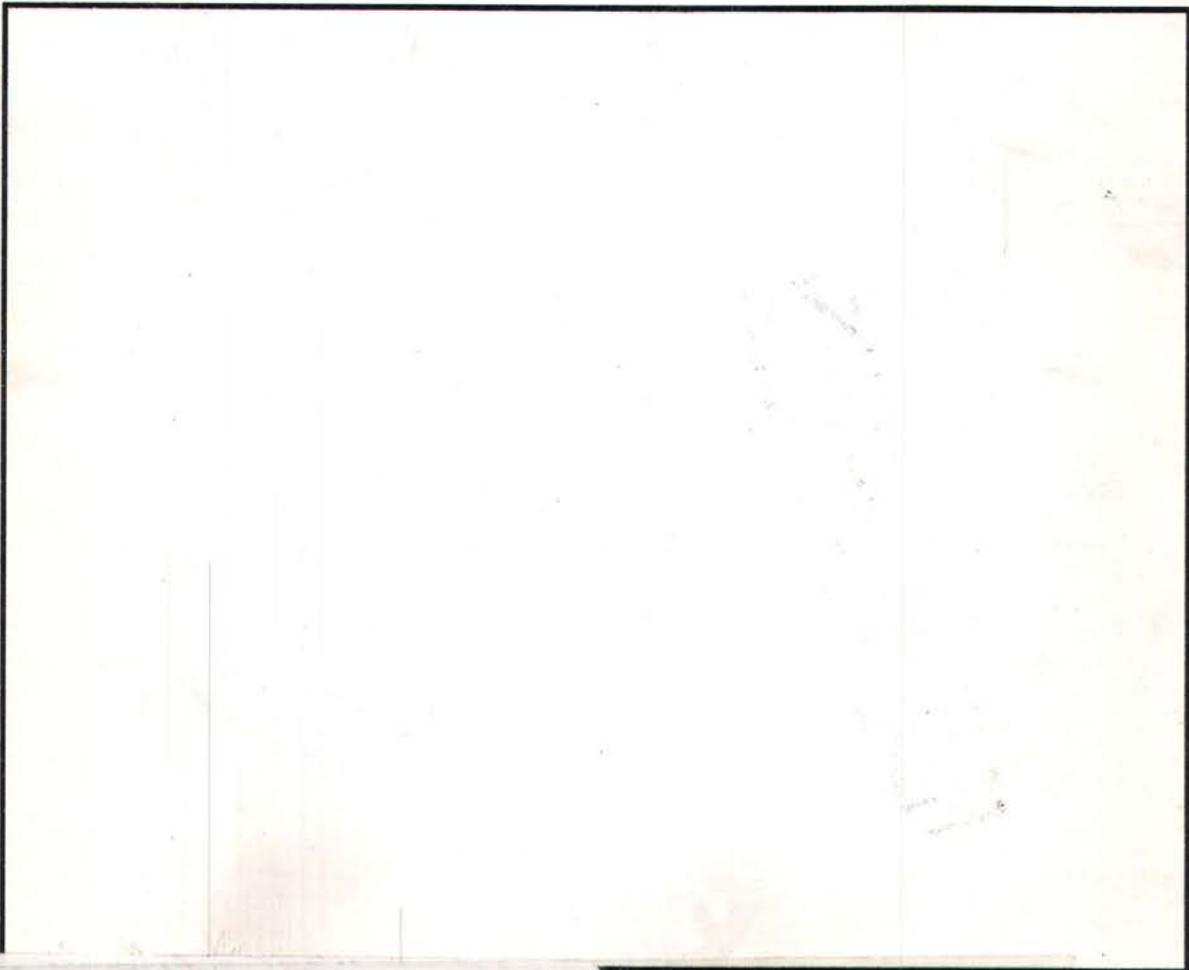
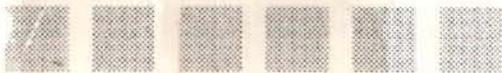


CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES



CENAPRED
TD878
T42
EJ.5 (3750)
BIB. No. 8



SISTEMA NACIONAL DE PROTECCION CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA LA
DESCONTAMINACION DE SUELOS

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

Area de Riesgos Químicos

Enero de 1994

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).

CONTENIDO

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
CONTENIDO	iv
CAPITULO I. CONTAMINACION DEL SUELO POR SUSTANCIAS TOXICAS	1
1.1 CAUSAS DE LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS TOXICAS EN EL SUELO	1
1.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALIZADOS EN SUELOS	3
CAPITULO II. METODOS DE DESCONTAMINACION DE SUELOS	6
2.1 INTRODUCCION	6
2.2 TECNICAS DE INYECCION DIRECTA	7
2.2.1 Método "DETOXIFIER"	7
2.2.2 Métodos combinados: Suelo y Agua Contaminados	9
2.2.3 Sistema "CROW"	15
2.3 METODOS DE EXTRACCION	17
2.3.1 Introducción	17
2.3.2 Proceso "BEST"	18
2.3.3 Proceso "CONTEX"	24
2.3.4 Otros procesos de extracción	28
2.3.5 Sistema "EXCALIBUR"	31
2.3.6 Suelos contaminados con plomo	33
2.4 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE SUELOS CONTAMINADOS ..	34
2.4.1 Introducción	34
2.4.2 Requisitos de Aplicación	35
2.4.3 Microorganismos que pueden degradar contaminantes	39
2.5 ESTABILIZACION DE SUELO CONTAMINADO CON SILICATOS	39
2.6 RESUMEN DE OPCIONES PARA DESCONTAMINACION DE SUELOS	41
CAPITULO III. SITUACION EN MEXICO	44
CAPITULO IV. LEGISLACION	52
ANEXO	53
BIBLIOGRAFIA	55

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 g. 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

CAPITULO II

METODOS DE DESCONTAMINACION DE SUELOS

2.1 INTRODUCCION

Anteriormente, una de las alternativas para deshacerse de desechos industriales era depositarlos en zonas específicas para dicho propósito. Con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas técnicas y procesos para la estabilización de estos residuos, protegiendo así los suelos. Sin embargo, se necesitan tratar los suelos que de alguna forma se han visto afectados por la disposición inadecuada de desechos tóxicos, ya que representan un peligro para todo tipo de vida.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) determinó que 32,000 sitios de desechos industriales contienen material peligroso, de los cuales 838 deben ser atendidos urgentemente.

Inicialmente se optó por aislar estas zonas, mantenerlas lejos del paso de ríos subterráneos y superficiales, mediante desviaciones con trincheras, pero se observó que al paso del tiempo las trincheras empiezan a degradarse; también se intentó mezclar estas tierras con suelo estéril, lo cual fué contraproducente porque la extensión del problema se acrecentó.

En los últimos 10 años se han hecho esfuerzos satisfactorios que han permitido descontaminar muchos de estos depósitos y regenerarlos para una mejor armonía ecológica. Algunas de las técnicas empleadas para este efecto se discuten a continuación.

Se clasifican las técnicas de descontaminación de suelos dentro de los siguientes grupos dependiendo del tipo de proceso:

- a) Técnica de inyección directa
- b) Técnicas de extracción por solventes
- c) Técnicas mediante microorganismos para degradación de contaminantes orgánicos
- d) Otros

Es importante mencionar, que dependiendo del tipo de contaminante que se albergue en el lugar se determina la técnica adecuada para tratarlo.

2.2 TECNICAS DE INYECCION DIRECTA

Esta novedosa técnica se fundamenta en el acarreo de sustancias volátiles alojadas en el suelo, mediante la inyección de fluidos gaseosos, entre los que se encuentran el aire y el vapor. Generalmente estos fluidos se introducen a elevada temperatura para que los contaminantes se evaporen y salgan a la superficie con mayor facilidad, acompañados del agente acarreador.

2.2.1 Método "DETOXIFIER"

Uno de los equipos conocidos es el "detoxifier" de Toxic Treatments (USA) Inc., el cual, es una unidad transportable. El equipo está formado de dos componentes principales, la torre y el tren de proceso. La torre está constituida por dos barrenadores de tallo largo, cada uno modificado con cortadores rotatorios de 5 ft de diámetro, localizados en el extremo inferior del tallo, este equipo es capaz de operar a 27 ft de profundidad. Cada barrenador está formado de dos tubos concéntricos, en el interior del primer tubo se conduce una corriente de vapor hacia los cortadores que se encuentran en contacto directo con el suelo contaminado, esta corriente de vapor se provee de un calentador que trabaja a 450°F y 450 psig. El otro tubo inyecta aire caliente a una temperatura aproximada de 300°F y 250 psig también en dirección hacia los cortadores rotatorios (SITE Technology Profile, 1990-I).

El vapor se bombea hasta el tope de los barrenadores y se inyecta a través de las hojas cortadoras. La corriente calienta la tierra, incrementando la presión de vapor de los contaminantes volátiles y por tanto aumenta la facilidad con que pueden liberarse hacia la superficie. Tanto el vapor como el aire inyectado facilitan la salida de los contaminantes funcionando como un medio de acarreo.

En el exterior se cuenta con una cubierta metálica que cubre toda el área en proceso, captando los gases que salen a la superficie e impidiendo que se liberen a la atmósfera y la contaminen. Los gases se recolectan en la cubierta y se conducen hacia el tren de proceso, el cual cumple la función de separar los contaminantes de la corriente de gas utilizada.

La primera etapa consiste en una condensación, liberando la corriente de aire de la mayoría de los contaminantes que se habían evaporado. Posteriormente, la corriente de aire se pasa a través de una serie de lechos de carbón activado para eliminar totalmente los contaminantes y se inyecta nuevamente al suelo para continuar un ciclo. La corriente líquida pasa a un destilador separando los contaminantes del agua; generalmente el agua recuperada se manda a una planta de tratamiento de aguas para una mayor purificación y los contaminantes recuperados del suelo se disponen dependiendo de su naturaleza a tratamientos de purificación o de estabilización.

2.2.2 Métodos combinados: Suelo y Agua Contaminados

Ahora bien, este proceso puede presentar algunas variantes. Por lo general donde existe un problema de suelo contaminado, también hay problemas con agua del subsuelo afectada. Para tal caso se ha desarrollado un tratamiento similar al anterior, el cual combina dos tecnologías en una sola, éstas son: (Hornsby/Helgerson, 1991).

- * La extracción de contaminantes volátiles orgánicos (VOCs) del suelo por medio de vapor (Soil Vapor Extraction, SVE).
- * Aqua Detox, desarrollada por Dow Chemical para la extracción de volátiles orgánicos (VOCs) del agua.

Independientemente, cada una de las tecnologías funcionan de la siguiente manera:

- El SVE es un sistema de inyección de vapor y aire hacia el suelo, que facilita la migración de contaminantes orgánicos a la superficie. Este sistema aplica un vacío en la zona de extracción para inducir los flujos de aire en el suelo a través de las cavidades. El gas se recolecta en la superficie y se conduce hacia lechos de carbón activado, los cuales eliminan los contaminantes de la corriente fluida. Alternativamente, el gas purificado se vuelve a inyectar al suelo para la extracción de otros contaminantes.

- El Aqua Detox es un proceso cuya función es remover compuestos volátiles y algunos otros de punto de ebullición superior a los 200°C, del agua contaminada. Básicamente consiste en purgar un gas acarreador, como aire o vapor, a través del agua, transfiriendo los contaminantes volátiles a una fase gaseosa. Esta técnica, que se desarrolló durante los años 70's, es capaz de remover efectivamente más de 90 de los 110 compuestos volátiles enunciados en el documento CFR 40 de la EPA del 1 de julio de 1986 (ver cuadro 2.2.2.1). Esta técnica es factible de aplicarse con vacío para la separación de contaminantes menos volátiles.

Recolectada la fase gaseosa se condensa obteniéndose un sistema líquido multifase, el cual se decanta y separa, para que los contaminantes se puedan tratar o recuperar.

Ahora bien, como se mencionó anteriormente estos procesos actúan conjuntamente en sitios donde existe tanto contaminación de suelo como de agua. El sistema conjunto separa los orgánicos volátiles (VOCs) del agua y suelo, sin emisiones de gases peligrosos a la atmósfera. La figura 2.2.2.2 muestra de manera esquemática el sistema integrado.

Los vapores que llegan a la superficie se condensan en el separador líquido/gas (a), se separan y los gases se envían hacia los lechos granulados de carbón activado (b), donde se eliminan los contaminantes incondensables y el gas resultante se vuelve a inyectar al seno del suelo por medio de una bomba.

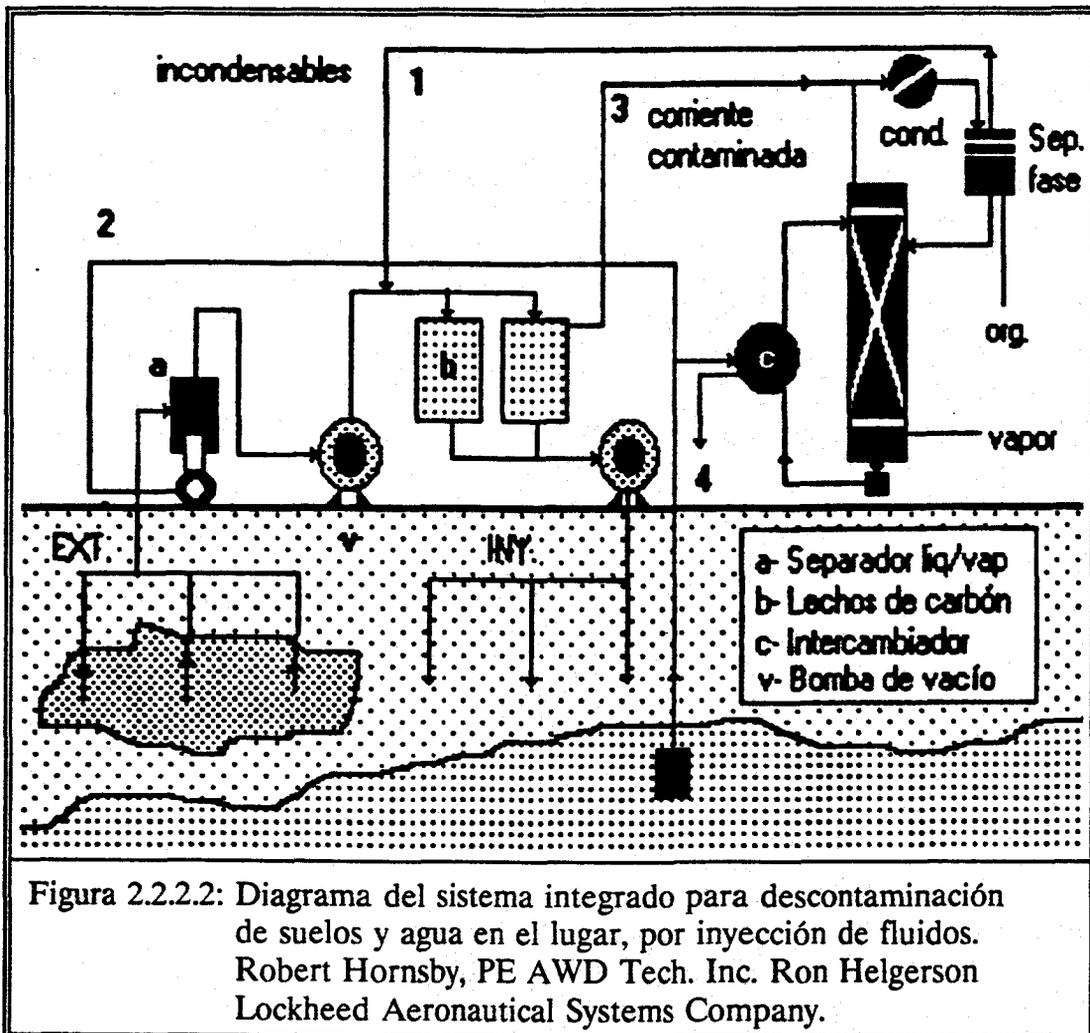
PRINCIPALES CONTAMINANTES VOLATILES DETERMINADOS POR LA EPA

<p>Acroleina Acrilonitrilo Benceno Bromoformo Bromuro de metilo Clorobenceno Clorodibromometano Cloroetano Cloroformo Cloruro de metileno Cloruro de metilo Cloruro de vinilo Diclorobromometano Etilbenceno Tetracloroetileno Tetracloruro de carbono Tolueno tricloroetileno 1,1,1-tricloroetano 1,1,2,2-tetracloroetano 1,1,2-tricloroetano 1,1-dicloroetano 1,1,-dicloroetileno 1,2-dicloroetano 1,2-dicloropropano 1,2-trans-dicloroetileno 1,3-dicloropropileno 2-cloroetilvinil éter</p> <p>COMPUESTOS ACIDOS</p> <p>Pentaclorofenol p-cloro-m-cresol 2-clorofenol 2,4-dimetilfenol 2,4-diclorofenol 2,4,6-triclorofenol</p>	<p>BASES-NEUTROS</p> <p>Acenapteno Acenaptileno Antraceno Bencidina Benzo(a)antraceno Benza(a)pireno Benzo(ghi)perileno Benzo(k)fluoroanteno bis(2-cloroetil) éter bis(2-cloroetilhexil)ftalato bis(2-cloroetoxi)metano bis(2-cloroisopropil)éter butil-bencil ftalato Criseno Di-n-butyl ftalato Di-n-octil ftalato Fluoreno Fluoroanteno Hexaclorobenceno Hexaclorobutadieno Hexaclorociclopentadieno Hexacloroetano Indeno(1,2,3-cd)pireno Isoforona 1,2-diclorobenceno 1,2-difenilhidrazina 1,3-diclorobenceno 1,4-diclorobenceno 2,4-dinitrotolueno 2,6-dinitrotolueno 2-cloronaftaleno 3,3-diclorobencidina 3,4-benzofluoroanteno 4-bromofenil fenil éter 4-clorofenil fenil éter</p>	<p>Naftaleno Nitrobenceno N-nitrosodimetilamina N-nitrosodi-n- propilamina N-nitrosodifenilamina Fenantreno Pireno 1,2,4-triclorobenceno</p> <p>PLAGUICIDAS</p> <p>4,4'-DDD 4,4'-DDE 4,4'-DDT Aldrin Alfa-BHC Alfa-endosulfan Beta-BHC Beta-endosulfan Clordano Delta-BHC Dieldrin Endrin aldehido Heptacloro Epóxido de heptacloro PCB-1016 PCB-1221 PCB-1232 PCB-1242 PCB-1248 PCB-1254 PCB-1260 Sulfato de endosulfan Toxafeno</p>
---	---	---

Cuadro 2.2.2.1: Componentes volátiles determinados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Junio 1986.

Los líquidos (corriente 2) se calientan en un intercambiador de calor (c) y entran en el domo de una columna de intercambio (9' de diámetro y 60' de alto) fluyendo hacia abajo de la torre. En el interior de la torre se inyecta vapor trabajando a una presión de 100 mm de Hg abs, de esta manera los contaminantes pasan del líquido hacia la corriente de vapor y salen por la parte superior de la columna. El agua tratada (corriente 4) sale en la parte inferior de la torre y se enfría en el intercambiador de entrada calentando así, la corriente de alimentación a la columna.

Los vapores que salen de la torre entran a un condensador de agua y posteriormente a un tanque separador, aquí se dividen las fases formadas. La fase acuosa regrasa a la torre de intercambio para tratarse nuevamente. La fase orgánica se extrae para un tratamiento posterior en el que probablemente se intenten recuperar sus componentes, y la fase gas (corriente 1), formada por los incondensables, se envía a los lechos de carbón activado para eliminar los contaminantes restantes y posteriormente se inyecta nuevamente al suelo para cerrar el ciclo.



Es importante mencionar que el sistema opera con tres unidades de lechos de carbón activado granulado (Granulated activated carbon, GAC), de las cuales dos están conectadas en serie mientras la tercera se regenera, a ésta se le pasa una corriente de vapor, la cual lleva los contaminantes (corriente 3) hacia el condensador superior de la torre de intercambio para separarlos. Cada 8 horas se regenera uno de los lechos de carbón activado.

En este tipo de sistemas es muy importante la colocación de los equipos de extracción y de inyección, ya que de ellos depende el éxito de la operación. Un buen mecanismo de flujo neumático evitará que haya fugas hacia la atmósfera o que los gases se conduzcan hacia zonas fuera del alcance del tratamiento. Por tanto antes de introducir los cabezales se debe tener un análisis completo de la zona que se tratará.

Este proceso fue aplicado a fines de 1988 en una área contaminada por solventes en The Lockheed Aeronautical Systems Company (LASC) en Burbank, California. El sistema operó a 1000 gpm en el área de tratamiento de líquidos, y a 170 SCFM para el SVE. Los contaminantes tratados se describen en la tabla 2.2.2.3. Inicialmente la concentración de VOC en el agua ascendía a 12,000 ppb y en el suelo a 6,000 ppb. Al paso de unos meses disminuyeron hasta 3,500 ppb y 400 ppb respectivamente, habiéndose retirado miles de libras de VOCs.

Los análisis de efluentes demostraron que todos los contaminantes disminuyeron sus concentraciones por debajo de la detección analítica (1 ppb para la mayoría de los compuestos), esto es equivalente a decir que se tuvo una eficiencia de 99.99%.

Los gases del suelo que se inyectaban una vez más al interior del suelo, entraban con una concentración de 2 ppm, equivalente a una eficiencia del 99%. Los costos generales de operación del proceso se describen en la tabla 2.2.2.4.

RESULTADOS LOGRADOS EN EL TRATAMIENTO EN LOCKHEED-BURBANK POR EL SISTEMA CONJUNTO DE DESCONTAMINACION DE SUELO Y AGUA DE LA REGION

SVE

Contaminantes	Gas de Extracción	Gas de Inyección
	conc. (ppb)	conc. (ppb)
Hidrocarburos en general	450,000	2000
Tetracloroetileno	420,000	365
Tricloroetileno	8,000	60

AQUADETOX

Contaminantes	1 ppb	2 ppb	3 ppb	4 ppb
Tricloroetileno	3300	2200	4.5	<1
Tolueno	180	<100	9.5	<1
Tetracloroetileno	7650	11000	3.5	<1
trans-1,2-dicloroetileno	19.5	<100	15	<1
Cloroformo	30	<100	N/A	<1
1,1-dicloroetano	18	<100	5.5	<1
1,2-dicloroetano	4.5	<100	0.8	<1
Tetracloruro de carbono	7.5	<100	N/A	<1
Benceno	30	<100	0.65	<1
1,1,2-triclorooctano	34.5	<100	N/A	<1
Etilbenceno	255	<100	N/A	<1

- 1 Concentración de diseño del agua alimentada al sistema
- 2 Concentración después de varios meses de trabajo en la alimentación
- 3 Concentración de diseño para el agua tratada
- 4 Concentración en el efluente después de varios meses

Cuadro 2.2.2.3: Resultados obtenidos al aplicar el sistema conjunto SVE y AQUADETOX para suelos y agua contaminados.

**COSTOS DE OPERACION DEL SISTEMA
AQUADETOX/SVE EN LOCKHEED-BURBANK**

		COSTO ANUAL	COSTO POR 1000 GPM
Mano de obra	\$8,000/mes	96,000	0.18
Vapor	3,840 lb/h * 8760 h * 0.92 * \$5.70/1000 lb	176,400	0.34
Químicos	\$1,800/mes	21,600	0.34
Energía	88 KW * 8,760 h * 0.92 * 0.07 \$/KWh	50,400	0.10
Otros	\$5,000/mes	60,000	0.11
		<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
		404,400	0.77

\$ Valor en dólares

Galones por año = 1000 gpm(60 min/h)(8760 h/año) = 525.6 x 10⁶ gal/año

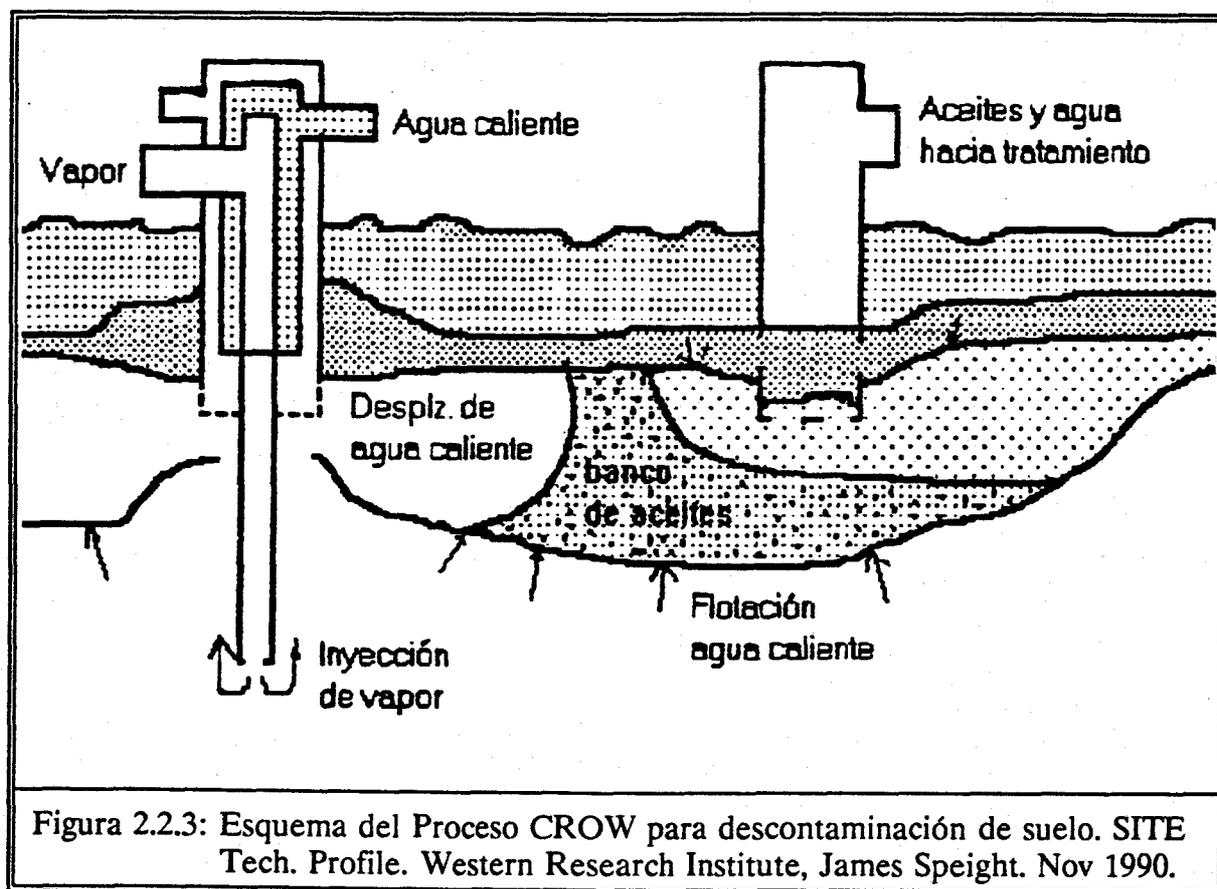
Tabla 2.2.2.4: Costos de operación del sistema combinado Aquadetox/SVE en el sitio contaminado de Lockheed-Burbank. Robert G. Hornsby, PE AWD Tech. Inc/LASC.

2.2.3 Sistema "CROW"

Existen otras modificaciones a los métodos de inyección descritos, dependiendo principalmente del tipo de contaminante que se presente o bien de las características físicas del suelo en que se trabaja. Así, para un suelo altamente contaminado con compuestos oleosos del petróleo se desarrolló el sistema de Recuperación de Desperdicios Aceitosos CROW (Contained Recovery of Oil Wastes), el cual utiliza corrientes de vapor y agua caliente para desplazar los volúmenes oleosos acumulados en el seno del suelo. Se inyecta una corriente de vapor por debajo de la zona contaminada, este vapor condensa y comienza a arrastrar partículas de contaminantes hacia niveles superiores, manteniendo a flote los líquidos orgánicos; los contaminantes se tratan de llevar a zonas más permeables. Por arriba de las zonas permeables se inyecta agua caliente para continuar el arrastre de los contaminantes y concentrarlos en un banco común para que se puedan extraer para su tratamiento. Un esquema general se muestra en la figura 2.2.3. (SITE Technology Profile, 1990-II).

En el mismo lugar en donde se aplicó el tratamiento descrito se lleva a cabo un tratamiento biológico, el cual continúa hasta que no se detecten concentraciones significativas del contaminante. Al igual que los procesos anteriores es necesario conocer perfectamente bien las características del suelo en el que se trabaja. El equipo necesario es muy sencillo, y muy similar al convencional para la producción de petróleo.

Mediante este método se pueden tratar contaminantes de los productos del petróleo, además de soluciones de pentaclorofenol y cresoles, entre otros.



2.3 METODOS DE EXTRACCION

2.3.1 Introducción

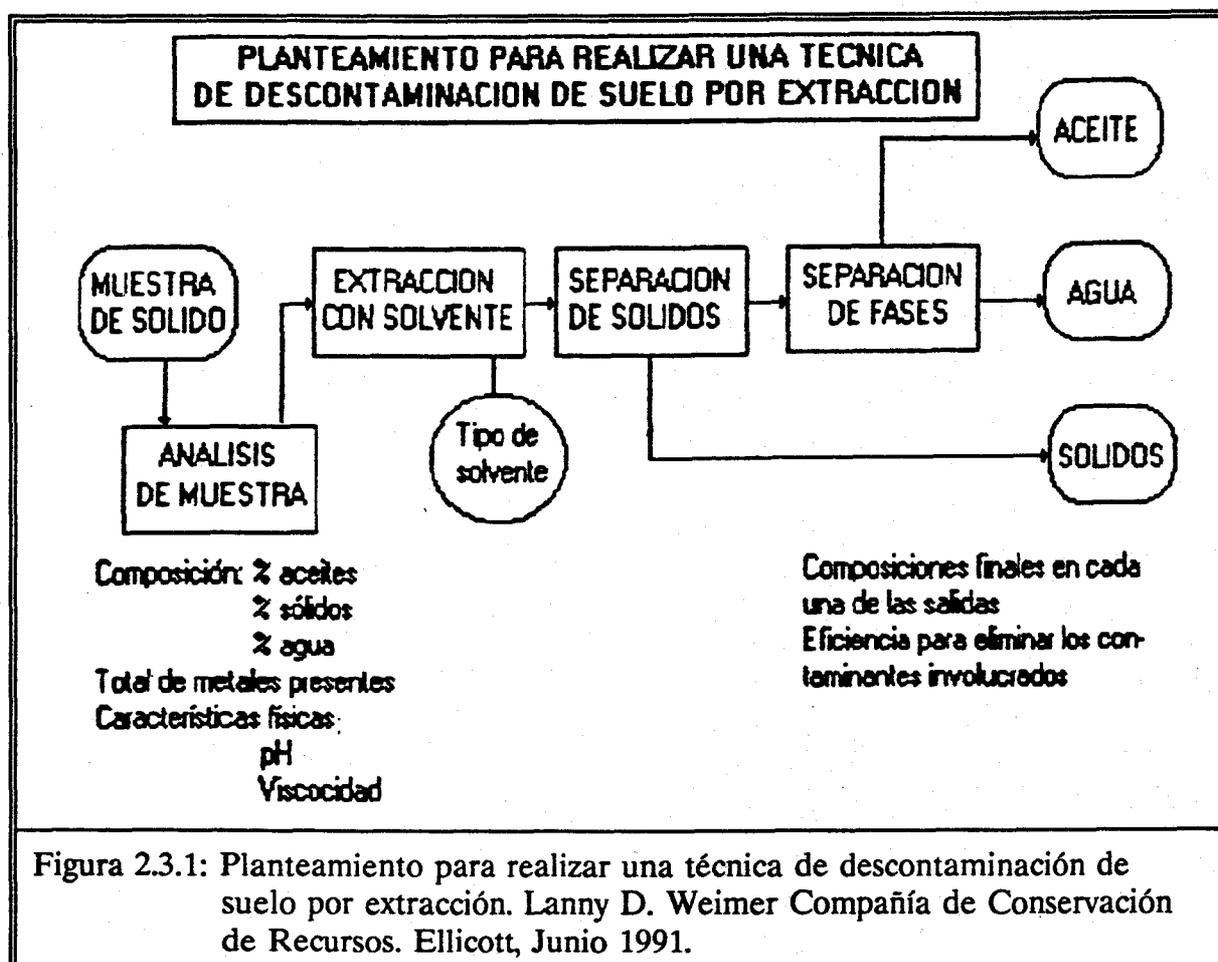
Este tipo de métodos de descontaminación de suelos se basa en la propiedad que tienen algunos contaminantes orgánicos de disolverse en presencia de algún disolvente, debido a la similitud de polaridades entre ambos.

El procedimiento y los fundamentos de esta técnica son sencillos; se requiere inicialmente conocer los tipos de contaminantes que se encuentran presentes en el suelo, para poder determinar el solvente de extracción más adecuado para el tratamiento. Se separan las fases formadas; la fase sólida queda libre de ellos. Posteriormente se procede a recuperar el solvente de extracción para volver a utilizarse.

Una forma genérica que describe el plan a seguir de este método de descontaminación de suelos se puede observar en la figura 2.3.1, la cual muestra los pasos comunes y las características que se deben considerar para llevar a cabo una buena remoción del contaminante.

- * Analizar la muestra de suelo contaminado, determinando sus composiciones, tipo de contaminantes, tipo de suelo, viscosidad, pH, entre otros.
- * Elegir el solvente de extracción adecuado, después de probar varias posibilidades
- * Llevar a cabo la extracción y la separación de la fase sólida y acuosa.
- * Secar los sólidos y determinar la composición residual de contaminantes, solvente y agua.
- * Separar la corriente acuosa en los componentes comunes: agua, contaminantes (aceites) y solvente (reciclado para volver a usarse). A cada uno de estos componentes se le determina su composición final.

A continuación se describen algunas de las técnicas actualmente utilizadas que se basan en este método.

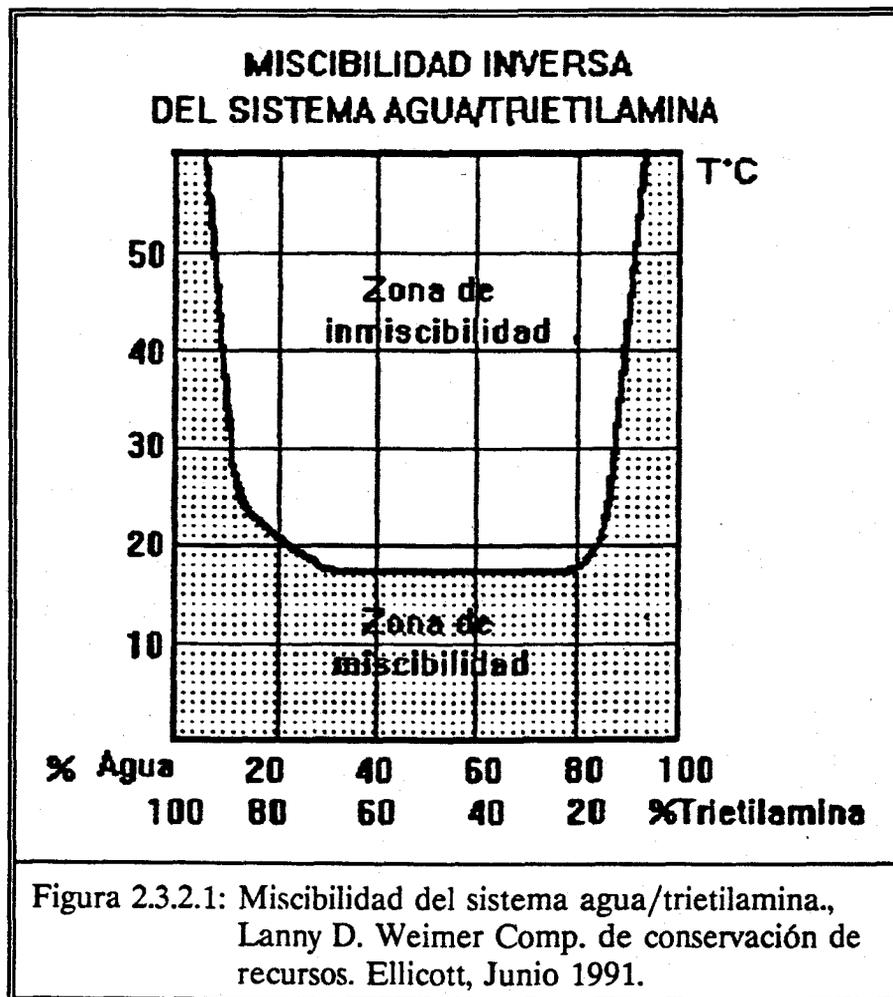


2.3.2 Proceso "BEST"

Una de las técnicas recientemente desarrolladas es el proceso BEST, por medio de una Compañía de Conservación de Recursos (Resources Conservation Company, RCC). Este proceso es capaz de tratar suelos contaminados con orgánicos volátiles (VOC), hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), bifenilos policlorados (PCBs) y plaguicidas (Wiemer, 1991).

El objetivo principal del proceso BEST es separar desechos oleosos de suelos y sedimentos por medio de un solvente de extracción, formando una fase líquida que acepte a todos los contaminantes.

El proceso BEST utiliza trietilamina como solvente de extracción. Este compuesto es una amina alifática que se produce comúnmente por la reacción del alcohol etílico y el amoníaco. La trietilamina presenta varias características y propiedades importantes que facilitan su manejo como líquido de extracción; en principio este compuesto presenta la propiedad de miscibilidad inversa, a temperaturas abajo de 65°F es soluble en agua y a temperaturas mayores sólo es parcialmente miscible con ella. La figura 2.3.2.1 muestra esta propiedad gráficamente.



Así pues, el proceso de descontaminación se puede llevar desde una etapa a temperatura cercana a la ambiente, incorporando simultáneamente aceites y soluciones acuosas. Se produce una sola fase de solución de extracción, la cual es una mezcla homogénea de trietilamina, agua y sustancias orgánicas.

Utilizando trietilamina el proceso puede manejar alimentaciones de suelos con alto contenido de agua, sin verse afectada la eficiencia de descontaminación.

La trietilamina tiene otras características importantes que facilitan el trabajar con residuos peligrosos, algunas de las cuales son:

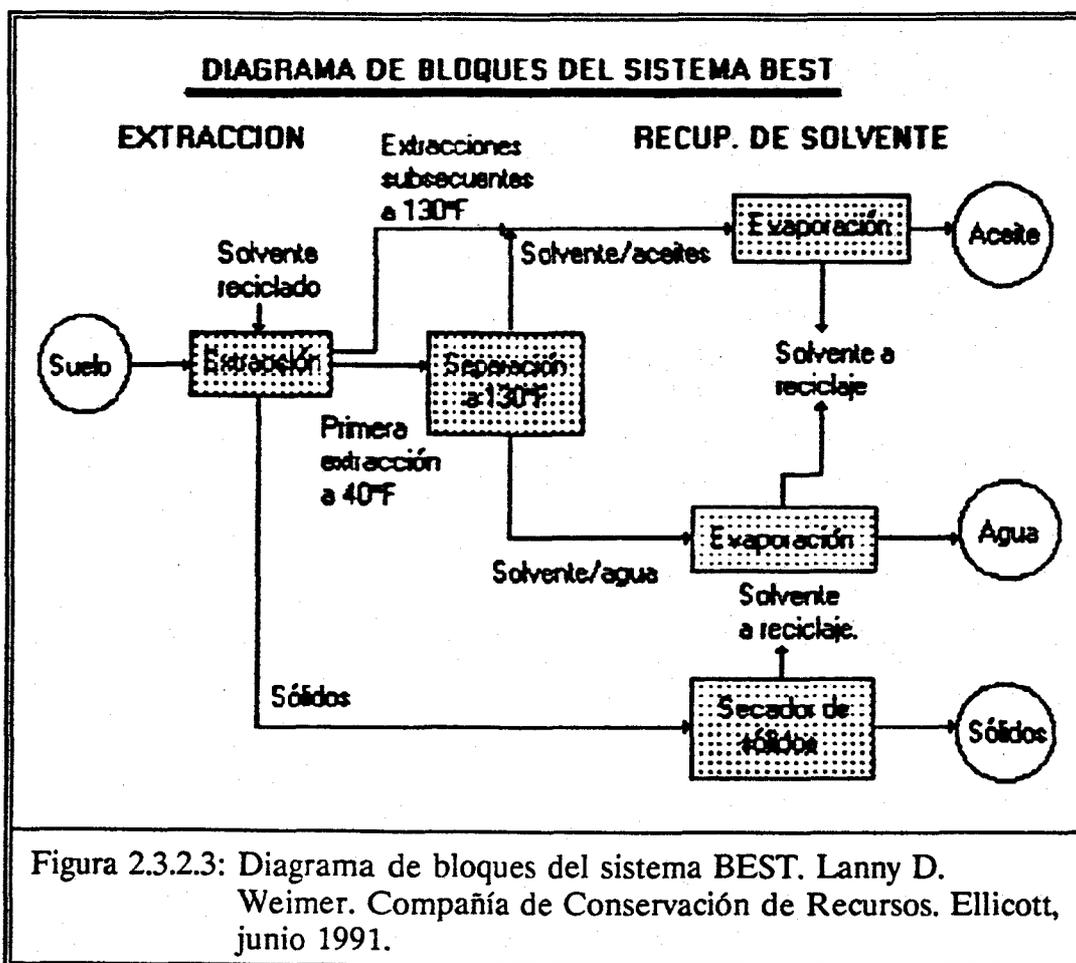
- * Presenta alta presión de vapor, lo que facilita la recuperación del solvente por simple evaporación.
- * Forma un azeótropo con el agua de bajo punto de ebullición, esto facilita eliminar los residuos de trietilamina de los extractos finales.
- * Tiene un bajo calor de evaporación (1/7 del agua), lo que facilita separarlo de los sólidos tratados por simple calentamiento con poca administración de energía.
- * La trietilamina presenta un pH alcalino, esto ayuda a transformar algunos de los metales pesados presentes en el suelo contaminado en hidróxidos, los cuales precipitan y salen del proceso junto con los sólidos tratados.

La trietilamina es moderadamente tóxica, pero tiene una ventaja muy importante es biodegradable. La EPA en el documento EPA-600/2-82-001 informa que 200 ppm de trietilamina en agua se degradan completamente en 11 horas por medio de bacterias aerobias comunes del suelo. Todas estas características se muestran en el cuadro 2.3.2.2.

Características de la trietilamina [C ₂ H ₅] ₃ N
<ul style="list-style-type: none"> * Miscibilidad inversa con agua * Calor de vaporización-130 BTU/lb (BP-194°F) * Forma azeótropo con agua 90/10 (BP-170°F) * Nivel de detección en aire-0.1 ppm * Biodegradación-200 ppm en agua, 100% en 11 hrs * Inflamable * Alcalino, pH = 11
<p>Tabla 2.3.2.2: Principales características de la trietilamina. Lanny D. Weimer. Compañía de Conservación de Recursos. Ellicott, junio 1991.</p>

El concepto general del proceso se muestra en la figura 2.3.2.3. Se cuenta con un alimentador de suelo contaminado, generalmente son unidades transportables que manejan un pie cúbico de material, el cual se deposita en un sistema de extracción (lavador/secador).

Dentro de este sistema ocurren tres etapas de extracción. En la primera etapa se introduce trietilamina a una temperatura que permita solubilizarse con el agua, generalmente es de 40°F, se lleva a cabo el proceso de lavado, y se separa la mezcla líquida de los sólidos, la cual se calienta alrededor de 130°F donde se presenta la inmiscibilidad, pudiendo decantar la fase acuosa para purificarse por medio de simple evaporación.



Las otras dos etapas que ocurren en el sistema de extracción, se llevan a cabo a una temperatura de 130°F (con el mismo solvente), con el fin de recuperar los contaminantes que no fueron removidos en la etapa anterior. Se separan las mezclas líquidas del suelo tratado y se disponen en un sistema de recuperación, junto con la fase orgánica que se formó en la primera etapa de extracción. La trietilamina se recupera fácilmente por evaporación y los contaminantes orgánicos se disponen para su tratamiento o eliminación.

Los sólidos tratados se secan por medio de calentamiento directo e indirecto con vapor. El calentamiento directo es solamente el necesario para que se forme el azeótropo correspondiente con la trietilamina para facilitar su eliminación. La trietilamina que llega a permanecer en el suelo tratado, generalmente alrededor de 150 ppm, se degradará por proceso natural. Los sólidos generalmente se regresan a su lugar de origen.

Es importante hacer mención a los siguientes aspectos:

- * El uso de una sola unidad para extracción, lavado y secado de sólidos, reduce considerablemente la necesidad que hay de manejar y transportar el material, influyendo en los costos del proceso.

- * El suelo antes de ser alimentado a la unidad de tratamiento debe tamizarse, separando el material mayor a 1/2 pulgada. Este material se dispone en una unidad de tratamiento especial.

- * Es importante notar que la separación de los elementos de la fase líquida se lleva a cabo con mínimo requerimiento de energía. El agua se separa cuando se llega al punto de la inmiscibilidad, sin ser necesario que se evapore completamente. Solamente en caso de que entre los contaminantes presentes se encuentren detergentes, surfactantes o aceites sintéticos, será necesaria una destilación para recuperar el agua.

- * El proceso BEST opera cerca de la presión atmosférica y en un medio alcalino. Las temperaturas de las corrientes oscilan entre los 40 y 170°F, sin que se requieran altas presiones.

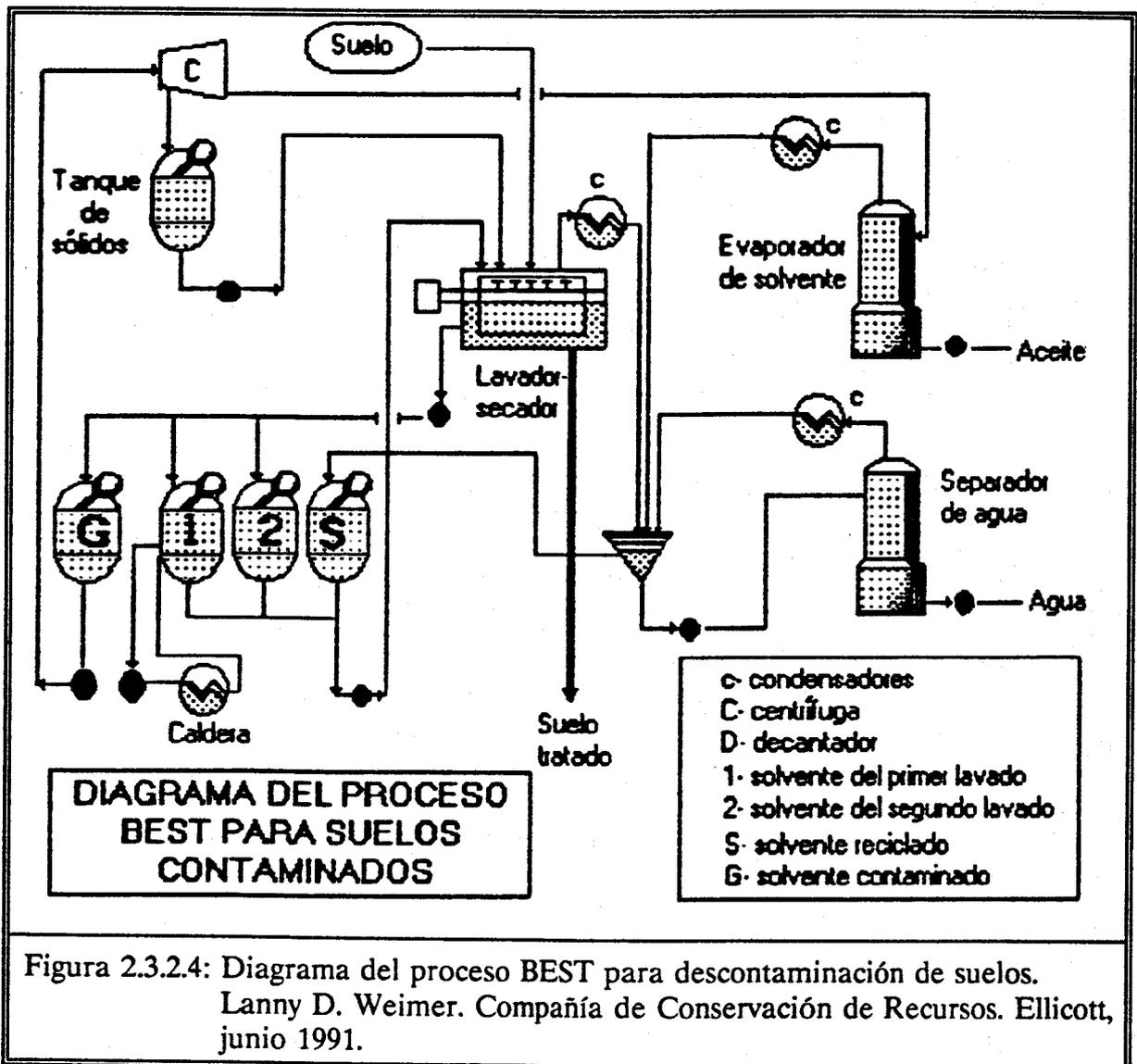
- * Una planta de este tipo puede operar las 24 horas del día manejando diariamente alrededor de 70 toneladas.

Un diagrama más específico del proceso se observa en la figura 2.3.2.4

Este tratamiento de extracción ha demostrado ser muy efectivo en el tratamiento de suelos contaminados con policloruros de bifenilo (PCB), tanto en escala piloto como en industrial. Esto se observa en la tabla 2.3.2.5, la cual muestra datos de tres muestras tratadas por este método.

Se trataron aproximadamente 1,000 libras de suelo contaminado con PCB a niveles de 130 ppm, resultando un estándar de limpieza menor a 10 ppm, llegando hasta 2 ppm. En el agua tratada se detectaron niveles de este contaminante menor a 20 ppb.

El solvente residual que se detectó en los sólidos tratados es del orden de 130 ppm, el cual, como ya se mencionó, se eliminará por biodegradación. En el agua se presentaron menos de 10 ppm de solvente. El solvente total recuperado es del orden de 99.99%.



MUESTRA	PCB en entrada mg/kg	PCB en salida mg/kg	EFICIENCIA
1	2000	1.5	99.99
2	550	0.77	99.99
3	510	1.2	99.98

Tabla 2.3.2.5: Datos de eliminación de PCB por el proceso BEST en el suelo contaminado. Lanny D. Weimer. Compañía de Conservación de Recursos. Ellicott, junio 1991.

2.3.3 Proceso "CONTEX"

Otra técnica de descontaminación de suelos por extracción con solventes se desarrolló en la compañía Phonix Miljo. Durante tres años se hicieron investigaciones dando origen al proceso de extracción continuo, el sistema CONTEX. Este sistema está diseñado como planta semi-móvil para operarse en el sitio contaminado. (Steen Vedby, 1991). El sistema CONTEX puede tratar suelos contaminados con cualquier sustancia orgánica, y también algunas formas de metales pesados. La extracción se lleva a cabo en un circuito cerrado, el cual incluye la completa regeneración del líquido extractor.

El sistema trata 10 toneladas de suelo contaminado por hora. El proceso de limpieza es muy sencillo, consiste en una extracción líquida y una evaporación subsecuente formando un ciclo. Esto se muestra gráficamente en la figura 2.3.3.1.

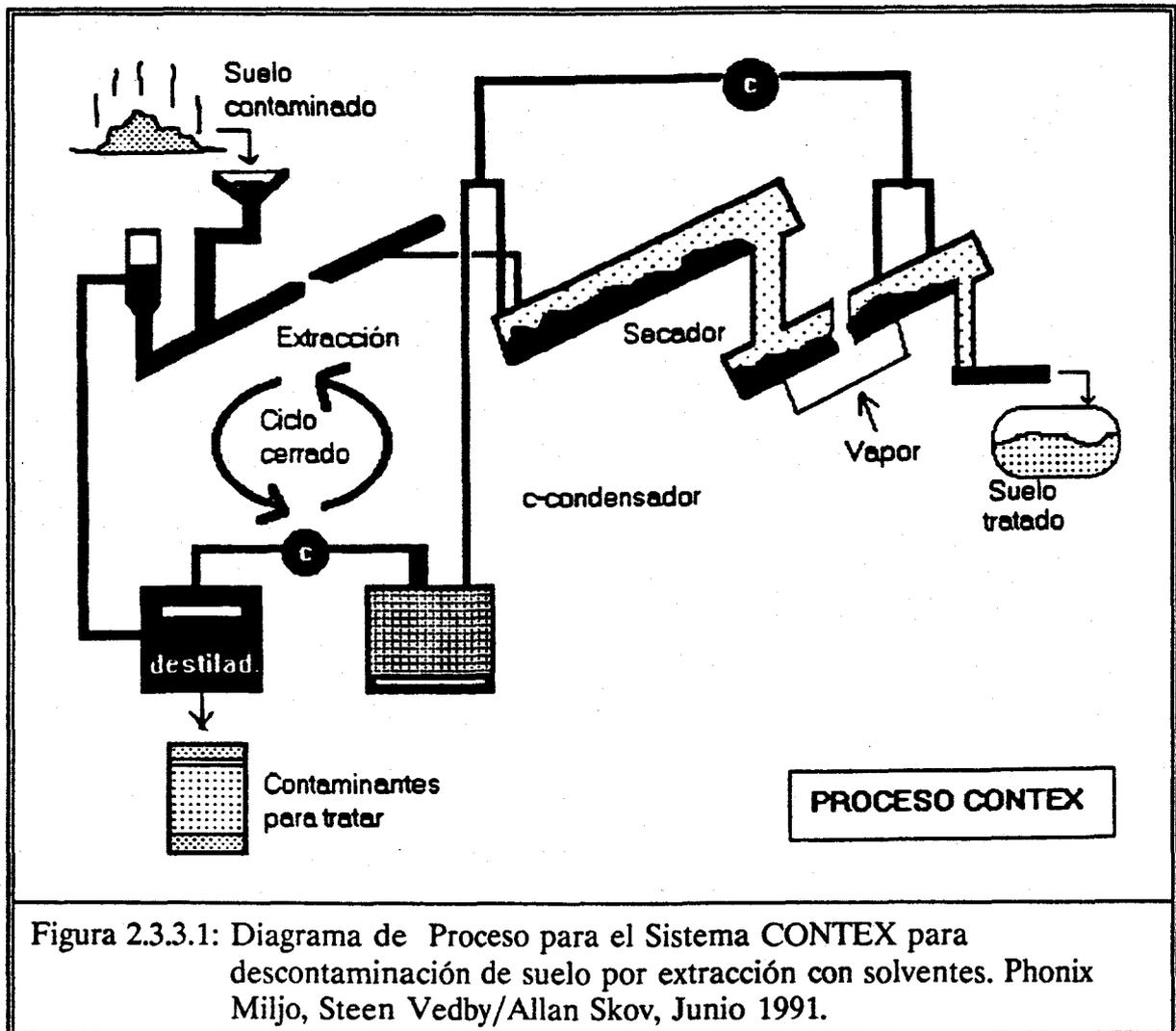


Figura 2.3.3.1: Diagrama de Proceso para el Sistema CONTEX para descontaminación de suelo por extracción con solventes. Phonix Miljo, Steen Vedby/Allan Skov, Junio 1991.

- 1.- El suelo contaminado se tamiza (tamaño de 5 a 8 cm) y se transporta por bandas a lo alto de la unidad de extracción.
- 2.- En la unidad de extracción se incorpora el solvente de extracción (diclorometano) al suelo contaminado, el cual fluye a través de éste, disolviendo y separando los contaminantes en un proceso de extracción común.

El proceso de extracción se adapta para cada caso específico, de manera que el contaminante se remueva totalmente, esto se logra por ajustes en la relación de alimentación de suelo y de solventes.

3.- El líquido de extracción se drena por gravitación separándolo del suelo lavado.

4.- Terminando la operación se elimina completamente el líquido de extracción del suelo por calentamiento con una corriente de vapor inyectada a través del suelo, a una temperatura aproximada de 212°F/100°C. El vapor se genera en una unidad vaporizadora independiente.

5.- El líquido de extracción contaminado entra a una unidad de destilación, donde se separa del resto de la corriente. Se condensa y almacena para poderse reutilizar.

6.- Los contaminantes se separan en la destilación en forma de emulsión, la cual se dispone para tratarse en plantas autorizadas para su recuperación o estabilización.

El proceso CONTEX fué diseñado en un principio para tratar suelos arenosos o con arcillas pesadas. Sin embargo el uso de transportadores de tornillo, hace posible tratar material no homogéneo, así como suelos que contengan grava y piedras, suelos orgánicos, lodos, etc.

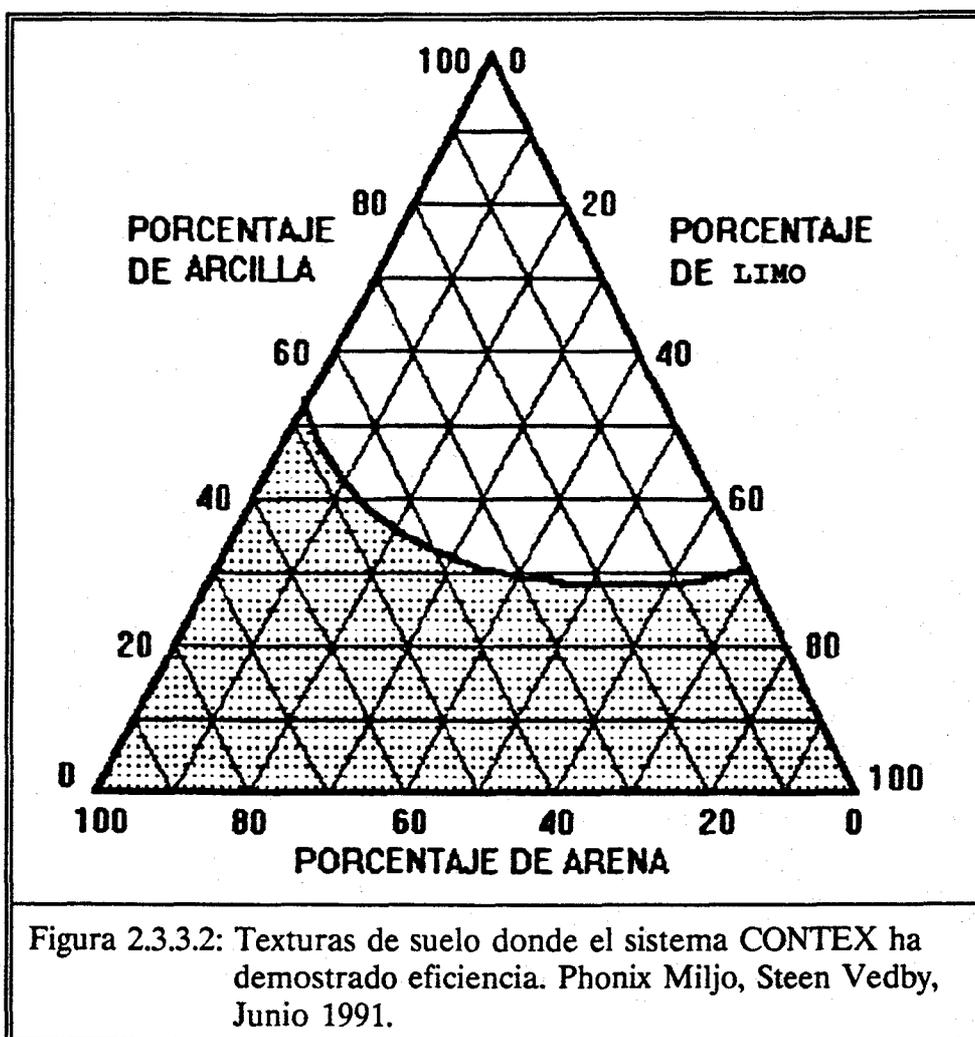
Algunas pruebas han demostrado el éxito del sistema para distintos tipos de suelo. La figura 2.3.3.2 muestra un diagrama triangular para diferentes texturas de suelo en donde el sistema CONTEX se ha aplicado con buenos resultados.

Los fragmentos de suelo mayores a 10 cm se tratan en un contenedor separado, en un sistema no continuo, con el mismo principio de extracción.

El diclorometano tiene un punto de ebullición de 40°C y una densidad a 20°C de 1.336. Este compuesto es efectivo para la mayoría de los contaminantes orgánicos como aceites, gasolina, solventes, breas, fenoles, plaguicidas, bifenilos policlorados (PCBs), etc.

El cuadro 2.3.3.3 muestra los resultados que se han obtenido al aplicar el sistema CONTEX a varios suelos contaminados. Se indican los contenidos máximos de contaminantes antes y después de la descontaminación para algunos compuestos.

Todos estos resultados se obtuvieron por laboratorios independientes, utilizando cromatografía de gases.



La capacidad del sistema para tratar suelo contaminado, puede variar de 10 a 20 toneladas por hora, dependiendo de la textura del suelo, el contenido de agua, el tipo de contaminante, la concentración de éste al inicio y al final de la operación, etc.

En general, la capacidad del sistema es mayor cuando se tratan suelos secos y arenosos, con componentes volátiles; y aumenta cuando se presentan suelos mojados, pesados y con contaminantes no volátiles.

La única corriente de desecho del sistema la forman los contaminantes emulsificados con algo de agua, los cuales se disponen a plantas de tratamiento especializado para su recuperación o destrucción. En caso de que esta corriente tenga un alto contenido de agua, se separa la fase acuosa y se destina a una planta de tratamiento de agua.

El suelo tratado por lo general no se ve afectado por este tratamiento de descontaminación, así pues se puede utilizar como relleno de zonas excavadas.

Cuadro 2.3.3.3: Valores máximos para algunos contaminantes presentes en suelos contaminados, antes y después del tratamiento.

	ANTES ppm	DESPUES ppm
Brea	27 000	<30
Gasolina	15 000	<10
Diesel	22 000	<10
Aceites	30 000	<3
Solventes Clorados	3 600	<1
Compuestos BTX	5 000	<1.5
Naftaleno	5 300	<1.5
Fenantreno	23 000	<1

El costo de operación del sistema es competitivo con el de otras tecnologías pero varía dependiendo del tipo de suelo y de los contaminantes que albergue. El precio por tonelada tratada de suelo contaminado varía de 100 a 1000 dólares.

Este sistema ha dado muy buenos resultados en países como Dinamarca, Alemania y Noruega, cubriendo los requerimientos que operan en ellos.

2.3.4 Otros Procesos de Extracción

El proceso de extracción con solvente de baja energía, LEEP (Low Energy Solvent Extraction Process), utiliza un solvente semejante a la trietilamina del proceso BEST, que presenta características de miscibilidad e inmiscibilidad con el agua (SITE Technology Profile., 1990-III).

El proceso de tratamiento por extracción ácida (Acid Extraction Treatment System, A.E.T.S.), utiliza ácido clorhídrico concentrado como medio de extracción de contaminantes del suelo. El sistema opera a un pH de 2, mezclado con agua y con partículas menores de 4 mm. Principalmente se usa para remover metales pesados. La figura 2.3.4.1 muestra esquemáticamente los pasos de este sistema (SITE Technology Profile., 1990-IV).

El proceso EXTRAKSOL es otra tecnología de extracción móvil, que utiliza solventes orgánicos no clorados como líquido de extracción. Este sistema puede remover policloruros de bifenilo (PCBs), pentaclorofenol (PCP), hidrocarburos aromáticos policíclicos (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH), plaguicidas, aceites e hidrocarburos. Los sólidos tratados se secan con gas inerte caliente. El sistema se muestra en la figura 2.3.4.2 (SITE Technology Profile., 1990-V).

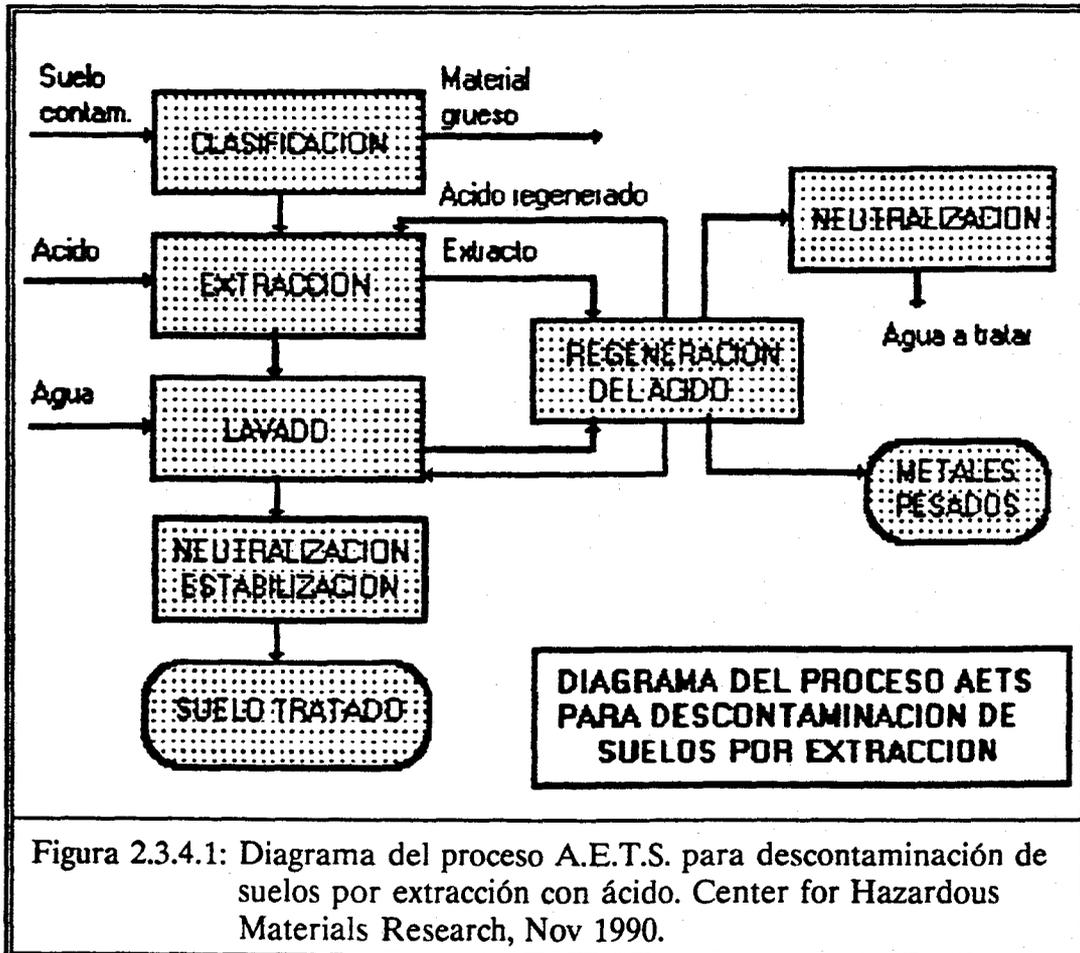
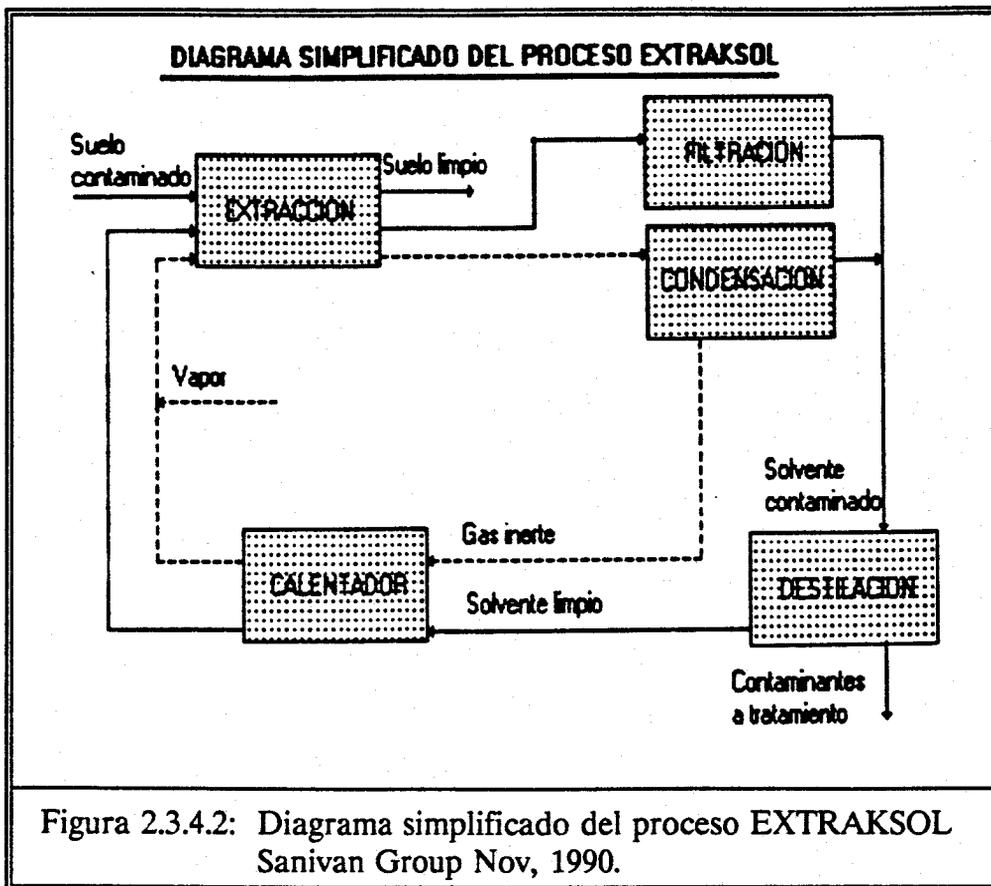
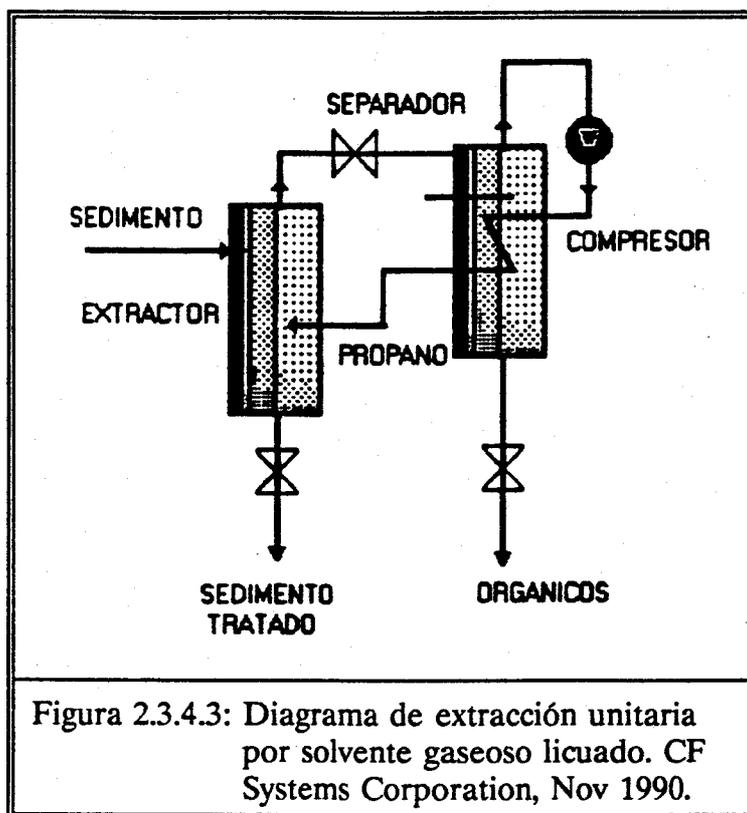


Figura 2.3.4.1: Diagrama del proceso A.E.T.S. para descontaminación de suelos por extracción con ácido. Center for Hazardous Materials Research, Nov 1990.

Otros sistemas utilizan solventes gaseosos licuados como medio de extracción de sustancias orgánicas, aceites y grasas en suelos y agua. Se utiliza propano y/o butano para el caso de suelos contaminados, éste se introduce a presión a un extractor donde se coloca el suelo y una vez realizada la extracción se desplaza el fluido con los contaminantes a través de una válvula. Posteriormente se regenera el gas y se reutiliza. Generalmente para tratar suelos se requieren varias etapas de este proceso. Una unidad de proceso se presenta en la figura 2.3.4.3. (SITE Technology Profile., 1990-VI).

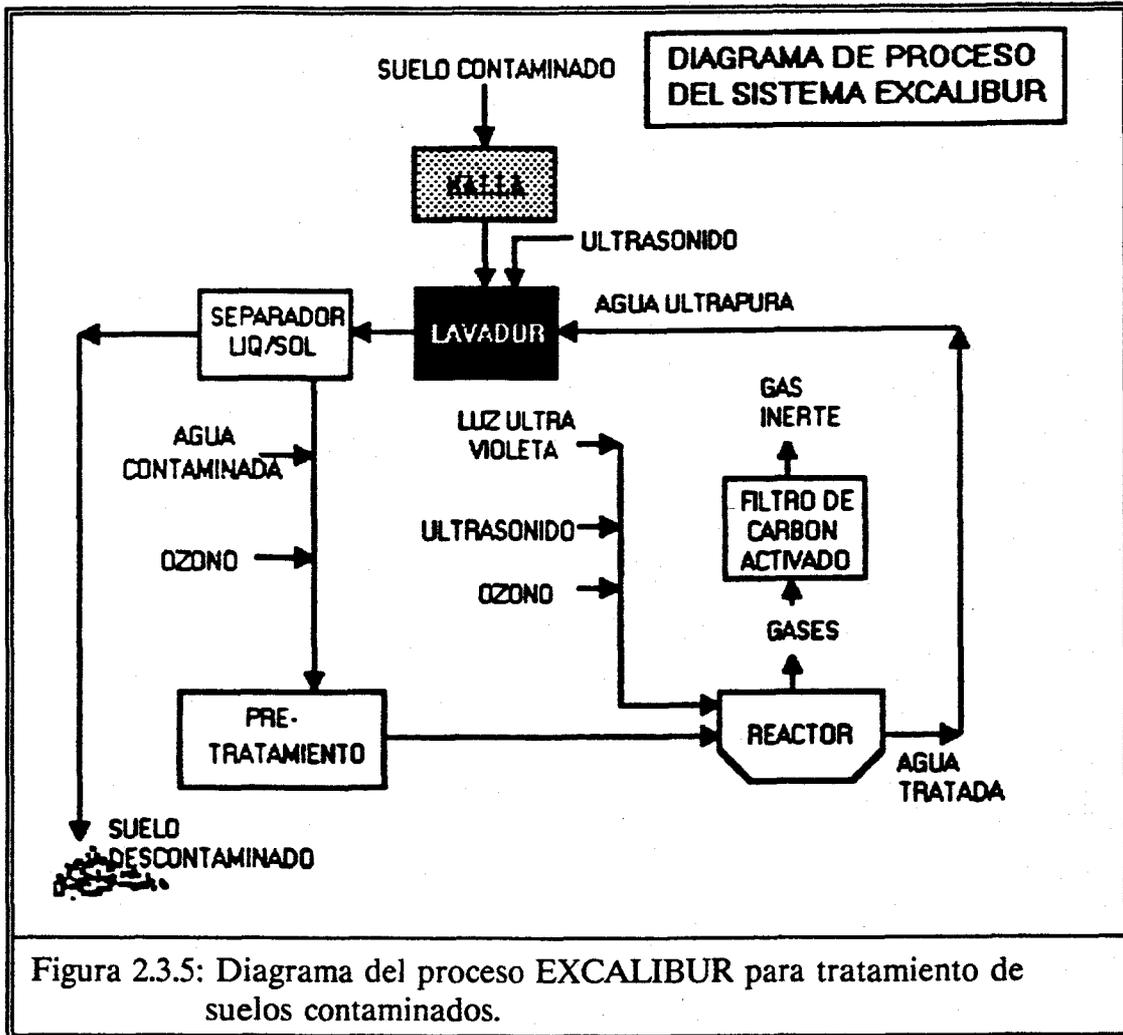




2.3.5 Sistema "EXCALIBUR"

El siguiente método de descontaminación de suelos, (Sistema Excalibur) puede clasificarse dentro de los métodos de extracción, aunque utiliza una serie de recursos que anteriormente no se habían considerado.

El sistema EXCALIBUR es una tecnología desarrollada para tratar suelos contaminados con contaminantes orgánicos e inorgánicos. El proceso presenta dos etapas: la primera extrae los contaminantes depositados en el suelo, y la segunda los oxida. La extracción se efectúa con agua ultrapura y ultrasonido. La oxidación involucra ozono, luz ultravioleta y ultrasonido. Los productos finales de este proceso son suelo descontaminado y sales inertes. (SITE Techology Profile, 1990-VII).



Se muestra un diagrama esquemático del proceso en la figura 2.3.5. Después de la excavación, el suelo contaminado se pasa por una malla de 1 pulgada de abertura. El resto del material se divide en partículas menores y se une al anterior. Se pasa el suelo al lavador, donde el agua ultrapura extrae los contaminantes presentes. El ultrasonido actúa como un catalizador para agilizar el lavado. Comúnmente el agua se agrega en una relación de 10 a 1 con respecto al suelo. Se separa la fase acuosa de la sólida por medio de un ciclón, quedando el suelo libre de impurezas y capaz de regresar a su lugar de origen.

La corriente líquida contaminada generalmente está formada por dos fases, una orgánica y otra acuosa, se separan ambas por decantación. La fase acuosa se somete a contacto con ozono en un reactor y se pasa por filtros para remover partículas finas, posteriormente entra a otros filtros de carbón activado y se desioniza.

En el reactor donde se lleva a cabo la oxidación de los contaminantes se adiciona el ozono gaseoso acompañado de rayos ultravioleta y de ultrasonido como catalizadores para acelerar el proceso. El agua tratada queda lista para poder reutilizarse en otro lote de suelo contaminado.

El sistema también está equipado con trampas de carbón activado para prevenir emisiones a la atmósfera de gases contaminantes.

El proceso Excalibur tiene un rango de capacidad de un pie cúbico por hora de suelo contaminado, con un flujo de agua de un galón por minuto a 27 yardas cúbicas por hora de suelo contaminado, con un flujo de agua de 50 galones por minuto.

Esta tecnología puede ser aplicada a suelos contaminados con orgánicos como policloruros de bifenilo (PCB), pentaclorofenol (PCP), plaguicidas y herbicidas, dioxinas e inorgánicos. También cubre ámbitos de concentración de contaminantes de 1 ppm a 20,000 ppm.

2.3.6 Suelos Contaminados con Plomo

La contaminación de suelo por plomo es de alto riesgo para la salud de los seres humanos principalmente en zonas urbanas. Muchos estudios han relacionado la cantidad de plomo en el suelo, con los niveles de plomo en la sangre (Fairey y Gray, 1970; Neri et al., 1978; y Rabinowitz con Bellinger, 1988).

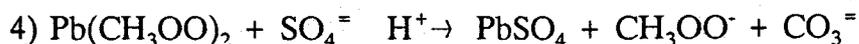
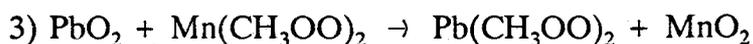
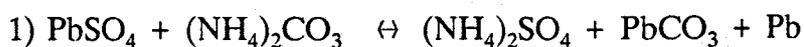
En zonas urbanas, la contaminación de plomo proviene de varias fuentes, entre las que se incluyen la pintura con plomo, baterías de plomo y componentes de automóviles. Olson y Skogerbee (1975), determinaron los principales compuestos de plomo que se encuentran en los suelos, la mayoría de ellos provenían de automóviles; sulfato de plomo, óxido de plomo, dióxido de plomo, plomo metálico, tetraóxido de plomo y plomo blanco. De entre todos estos el más común es el sulfato de plomo.

Actualmente el Laboratorio de Ingeniería de Reducción de Riesgos, de Edison, New Jersey, desarrolla una serie de técnicas que permitan solubilizar las especies de plomo localizadas en suelos por agentes apropiados, y posteriormente precipitarlos como sulfato de plomo. (UC,EPA, 1992-III).

Inicialmente se utilizó ácido nítrico para disolver el plomo metálico, pero debido a razones ambientales se utiliza ácido acético en presencia de oxígeno. La justificación teórica para esta decisión, es el favorable potencial REDOX que tiene la reacción entre el plomo metálico, ácido acético y oxígeno gaseoso.

En la primera etapa a la mezcla de agua con suelo contaminado por plomo se le agrega carbonato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$, con el propósito de convertir el sulfato de plomo a carbonato; después de una filtración, el suelo contaminado reacciona con oxígeno gaseoso en medio ácido (se emplea ácido acético), en esta etapa el plomo metálico y el carbonato de plomo se solubilizan como acetato de plomo. El suelo se vuelve a filtrar y reacciona con acetato de manganeso, con el propósito de convertir el dióxido de plomo en acetato de plomo soluble, dejando subproductos insolubles de manganeso. Las corrientes de filtrado se combinan para precipitar sulfato de plomo.

Reacciones químicas para la remoción de plomo en el suelo:



Los resultados obtenidos con esta técnica, en un suelo contaminado con 5000 mg de plomo/kg, muestran que aproximadamente el 82% del plomo que se encuentra en el suelo se recupera. En la primera etapa, en la carbonatación solamente el 0.7% del plomo se solubiliza. En el paso de oxidación se recupera el 67.3%. La etapa final donde se agrega el acetato de manganeso remueve un 14.2% del plomo total.

Todavía se trata de optimizar esta técnica para recuperar la mayor cantidad de plomo posible.

2.4 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE SUELOS CONTAMINADOS

2.4.1 Introducción

La biorestauración de suelos se evaluó por la USEPA como una técnica de tratamiento para manejar residuos peligrosos. El proceso implica la estimulación de la microfauna superficial para degradar los contaminantes del lugar, en algunos casos es necesario agregar microorganismos con metabolismo especializado para degradar los

contaminantes. El objetivo de la biodegradación es transformar los residuos orgánicos en biomasa y compuestos más simples (productos del metabolismo de los microorganismos, como el dióxido de carbono, metano y sales inorgánicas).

Casi todos los contaminantes orgánicos son biodegradables; sin embargo, se presentan algunas dificultades que se requieren solucionar para poder utilizar este método. La principal de estas dificultades se debe a la escasez de oxígeno en los suelos, principalmente en suelos finos y con baja permeabilidad, este elemento es esencial para el buen desempeño microbiológico (UC, EPA, 1992), por lo tanto en la mayoría de los casos se modifica el ambiente en donde actúan los microorganismos, propiciando un habitat adecuado para la mejor adaptabilidad y función de éste.

El proceso es similar al tratamiento convencional de agua residual en que los nutrientes y el receptor de electrón (O_2) se adicionan al residuo orgánico para facilitar la biodegradación en un bioreactor. Sin embargo, el bioreactor en este caso es la superficie, la cuál no se puede definir y controlar como un bioreactor.

2.4.2 Requisitos de Aplicación

Hay dos criterios que se deben tomar en cuenta para implementar el proceso de bio-restauración en el sitio.

a) La matriz superficial debe ser lo suficientemente permeable para difundir la solución de O_2 y nutrientes. Este criterio se determina por mediciones de conductividad hidráulica de formación (K). Una conductividad hidráulica mayor a 10^{-4} cm/s es la más recomendable.

b) Que se encuentren en el lugar microorganismos y contaminantes a degradar. En este caso se realizan bioensayos para determinar la biodegradabilidad del contaminante.

Es importante determinar parámetros hidrológicos, como la profundidad del agua, el campo específico del acuífero, dirección del flujo de agua subterránea y el tipo de contaminante.

Existen varios métodos que se pueden usar para aplicar el oxígeno en la superficie, la fuente de oxígeno puede ser aire, oxígeno puro o peróxido de hidrógeno. La forma de suministrarlo es regar el agua o el oxígeno puro, la concentración es de 8 y 40 mg de O_2/L respectivamente, dependiendo de la temperatura a la que se inyecte el fluido. El peróxido de hidrógeno se disocia para formar una molécula de agua y $\frac{1}{2} O_2$, este compuesto es infinitamente soluble en el agua, sin embargo el oxidante puede ser tóxico para los microorganismos a concentraciones tan bajas como 100 ppm.

El peróxido de hidrógeno y los nutrientes inorgánicos se determinan dependiendo de los contaminantes a biodegradar, se deben hacer pruebas de compatibilidad con el material superficial del sitio. Los nutrientes se adicionan en solución por inyección o infiltración; la solución se percola en las zonas insaturadas hacia las saturadas por infiltración.

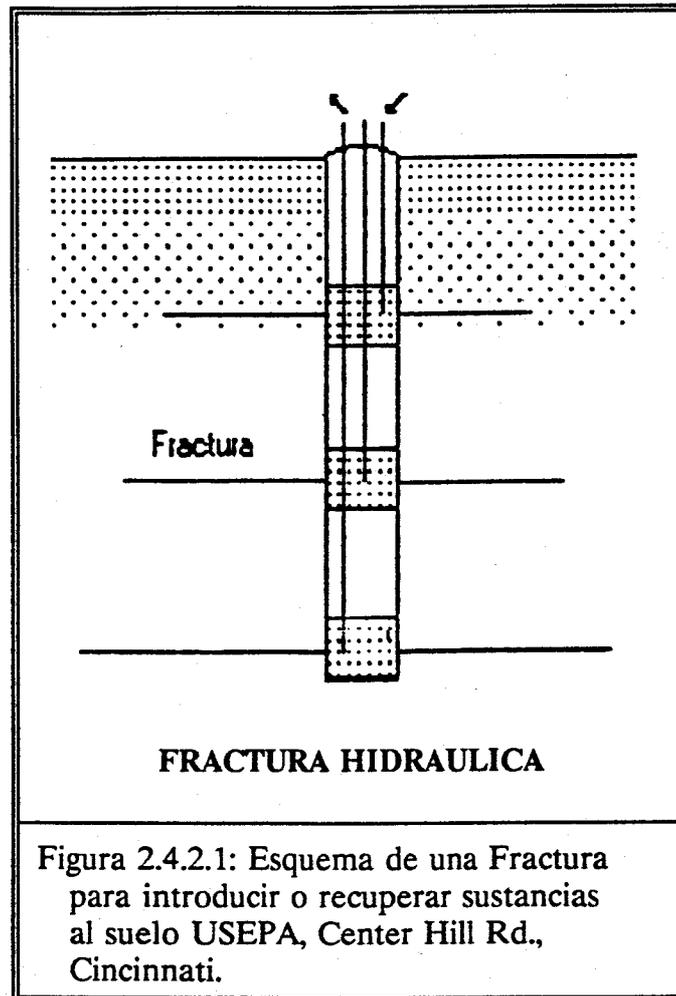
Los nutrientes inorgánicos generalmente se adicionan primero seguidos por la fuente de oxígeno; porque el suministro de oxígeno y nutrientes al mismo tiempo podría resultar en un crecimiento excesivo de microorganismos alrededor del punto de inyección y consecuentemente en la formación de un tapón.

Los nutrientes se pueden adicionar por alimentación continua o discontinua, a diferencia del oxígeno que se debe suministrar continuamente, ya que la transferencia de oxígeno es limitante para la degradación de las contaminantes.

Por otra parte se han implementado algunas técnicas hidráulicas, como es perforar la zona con cavidades por las cuales se hace circular oxígeno o peróxido de hidrógeno, esto requiere que el gas se mueva varios metros para poder llegar a toda la zona contaminada, por lo que se considera un proceso lento e ineficiente.

Debido a esto se han desarrollado otras alternativas, como la de crear capas permeables en el suelo afectado, a las que se les ha denominado fracturas hidráulicas (Hydraulic fracturing, HF), ver figura 2.4.2.1. Estas fracturas pueden llenarse con arena para producir canales que lleven oxígeno y nutrientes a las zonas contaminadas. De esta forma, el oxígeno y los posibles nutrientes que se requieran sólo deben moverse unos cuantos centímetros y no varios metros como en el caso del otro método (UC, EPA, 1992-II).

Antes de determinar la localización de las fracturas es necesario conocer perfectamente el sitio donde se encuentran los contaminantes, luego entonces se procede a diseñar la distribución, ángulo y profundidad necesarias de las capas permeables.



Este método se aplicó en un sitio contaminado con hidrocarburos en Dayton, Ohio; después de estudiar la zona, se determinó que se requerían cuatro fracturas hidráulicas. El arreglo utilizado se muestra en la figura 2.4.2.2.

Otros factores importantes para el mejor desempeño microbiológico son la temperatura y el pH, actualmente se hacen pruebas para determinar un ámbito específico en el cual la degradación alcance su máximo desarrollo.

CORTE TRANSVERSAL DE FRACTURAS HIDRAULICAS

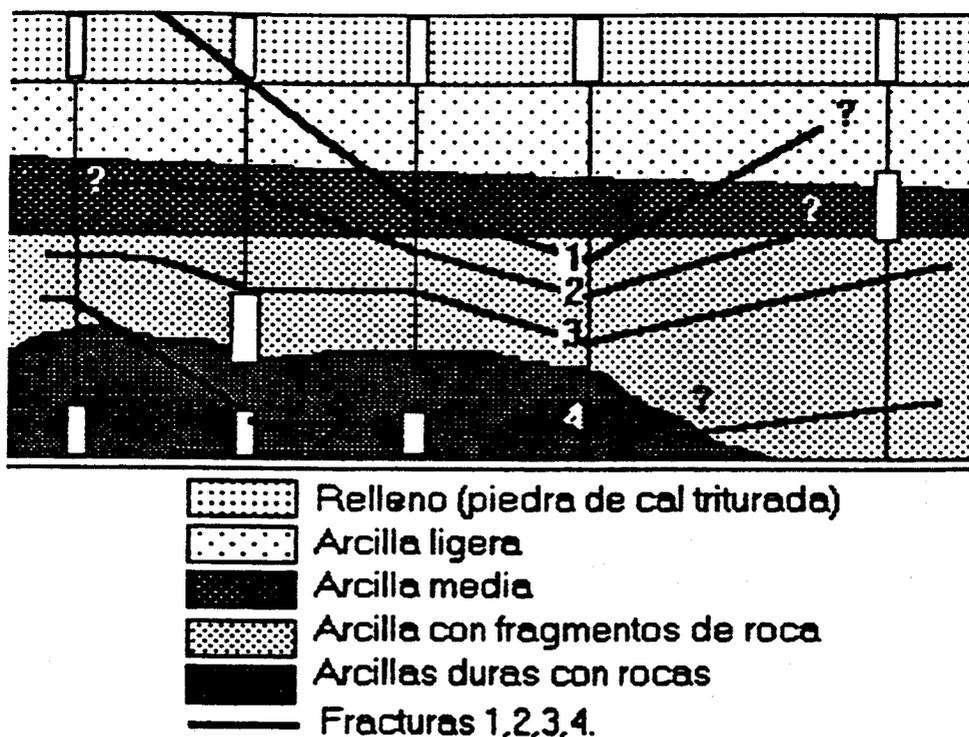


Figura 2.4.2.2: Fracturas hidráulicas diseñadas para un sitio contaminado en Dayton, Ohio. Stephen Vesper, Dept. Civil Eng. 1992.

El monitoreo durante la operación es importante para determinar el progreso de la biorremediación. Un decremento en el número de células puede indicar la toxicidad del peróxido de hidrógeno, pero en general lo que se monitorea es el oxígeno o peróxido residual y la remoción de contaminantes en el área.

2.4.3 Microorganismos que pueden degradar contaminantes

Existe una gran variedad de microorganismos que pueden degradar contaminantes:

- * La microfauna propia del lugar.

- * **BACTERIAS METANOTROFICAS.** La presencia de solventes alifáticos clorados como el 1,1,1-tricloroetano y tricloroetileno en acuíferos, son recalcitrantes y los microorganismos no pueden degradarlos; sin embargo, con el enriquecimiento del ambiente con gas natural (metano), aereación y una población microbiana selectiva, se puede lograr la degradación de estos compuestos por medio de cometabolismo. El cometabolismo es la biodegradación de sustancias orgánicas por microorganismos que no pueden usar esos compuestos directamente para su crecimiento, por lo tanto deben estar presentes otros compuestos como fuente de carbono y energía, estos microorganismos producen una enzima, la *mono-oxigenasa*, que oxida el metano, alcanos, alquenos y metano-halogenados, los cuales son la fuente primaria de energía y carbono que utilizan los microorganismos para realizar el cometabolismo de los compuestos recalcitrantes.

- * Más recientemente se han utilizado cultivos mixtos y puros que puedan degradar compuestos recalcitrantes o mezclas de diversos residuos, ya que cada tipo de microorganismos producen diferentes enzimas. Los microorganismos con capacidad de degradación especializada se pueden obtener por medio de técnicas de enriquecimiento del medio y por manipulación genética. Generalmente, estos criterios se pueden controlar en bioreactores semejantes a las plantas de tratamiento de aguas residuales, pero no se pueden controlar fácilmente en el sitio o el área contaminada.

2.5 ESTABILIZACION DE SUELO CONTAMINADO CON SILICATOS

A continuación se describe un método que aunque no elimina los contaminantes del suelo los inactiva en una masa no reactiva, ni peligrosa que se puede manejar sin ningún riesgo.

La tecnología de inmovilización (solidificación/estabilización) de sustancias peligrosas se reconoce actualmente como un buen método para inactivar contaminantes metálicos y otros inorgánicos de sitios contaminados. Sin embargo, este método no es tan efectivo con desechos de sustancias orgánicas, ya que no reducen la toxicidad (movilidad) de este tipo de componentes. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) determina que para poder llevar a cabo un método de estabilización se debe demostrar que significará una reducción de toxicidad considerable del 90 al 99%, esta práctica deberá estabilizar químicamente el desecho, lo que debe limitar su solubilidad o movilidad.

Durante los últimos 10 años, se han desarrollado varios tipos innovadores de tecnologías de estabilización. El propósito principal de todas ellas es reducir significativamente la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo los más difíciles de inactivar como es el arsénico, cromo hexavalente, hidrocianuros, etc. Estas tecnologías han utilizado agentes modificadores de superficie, surfactantes y otros agentes (como los silicatos), para estabilizar contaminantes, en conjunción con solidificación.

Una técnica de inmovilización desarrollada por la Corporación Tecnológica de Silicatos (Silicate Technology Corporation, STC) se mostró recientemente en la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en el Programa de Evaluación de Tecnología Innovadora (SITE) en un lugar contaminado en Selma California. Este sitio estaba contaminado con compuestos inorgánicos y orgánicos procedentes de sustancias para tratar madera.

Esta técnica de inmovilización utiliza principalmente compuestos de amino-silicatos para estabilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos. De acuerdo con el STC, los compuestos orgánicos se estabilizan a través de una reacción de partición con la superficie orgánica modificada de los amino-silicatos. Los inorgánicos se estabilizan por incorporación a la estructura cristalina de los amino-silicatos.

El sitio localizado en Selma California, contiene aproximadamente 18,000 yardas cúbicas de suelo que se contaminaron durante operaciones de tratamiento de madera que se llevaron a cabo hace algunos años. Las soluciones de desechos de preservativos de madera que contienen pentaclorofenol (PCP) o cromato-cobre-arseniato (CCA) se disponían en líneas de drenaje que contaminaban la zona. El suelo contaminado contiene altas concentraciones de PCP (10,000 ppm) y arsénico (2,700 ppm), también en menor grado cromo (2,200 ppm) y cobre (1,300 ppm), al igual que aceites y grasas (20,000 ppm).

Debido a las altas cantidades de PCP y arsénico, el sitio de Selma fué escogido para probar el método de inmovilización de la STC.

Durante la demostración se trataron aproximadamente 16 toneladas de suelo contaminado, se agregaron los compuestos de amino-silicato, inmovilizando metales pesados y semivolátiles orgánicos. También se adicionaron agentes solidificantes de silicio que microencapsularon los contaminantes absorbidos, produciendo una barrera física adicional.

Los resultados indicaron lo siguiente, la movilidad del PCP se redujo de un 89 a un 99%, para el arsénico de un 71 a un 92%, lo que confirma la eficiencia de esta técnica.

2.6 RESUMEN DE OPCIONES PARA DESCONTAMINACION DE SUELOS

Los procesos considerados se han respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, dentro de sus diferentes programas en los últimos años.

La tabla 2.6 presenta en forma condensada las diversas opciones que se tienen actualmente para eliminar o estabilizar los contaminantes presentes en los suelos. (Testa/Winegardner, 1991); en ésta se puede observar que el proceso más costoso es la excavación y transportación de materiales peligrosos hacia un confinamiento controlado ($\$300 \text{ dls/yd}^3$), además de contar con el inconveniente de tener que localizar el sitio adecuado.

La inyección de vapor y vaporización, resulta un proceso menos costoso que el anterior ($\$100\text{-}200 \text{ dls/yd}^3$), pero su aplicación se reduce a suelos porosos que contengan contaminantes volátiles. Existe en esta opción la ventaja de recuperar los gases. La instalación del sistema de inyección representa una dificultad en algunos terrenos.

La incorporación de asfalto es una opción para suelos que contienen hidrocarburos no volátiles. Este proceso resulta caro ($\$270 \text{ dls/yd}^3$), requiere de excavación y la transportación del asfalto.

La biodegradación se aplica a suelos porosos, y requiere de frecuentes monitoreos del suelo. El costo es medio ($\$75 \text{ dls/yd}^3$), pero necesita de un complejo sistema para inyección de nutrientes, microorganismos y agua.

El material poco peligroso que se haya colocado sobre el suelo, se puede disponer en áreas pequeñas de sitios localizados adecuadamente, es decir, que no representan un riesgo para el ambiente y la salud. El área en donde se realiza la excavación, una vez depositado el material, se debe rellenar con suelo limpio. El costo de la operación es cinco veces más bajo que el material peligroso ($\$60 \text{ dls/yd}^3$).

La opción de excavar y aerear, requiere también adicionar nutrientes y agua. La compactación del suelo es necesaria dentro de este proceso, debido a que pueden existir emisiones a la atmósfera se debe contar con un equipo de captación de gases en el exterior. El costo de estas operaciones resulta en comparación a los demás relativamente bajo ($\$50 \text{ dls/yd}^3$).

La extracción por vacío se aplica a suelos porosos y contaminantes volátiles, en este caso se requiere de la instalación de un sistema de venteo. El costo es el más bajo que se presenta en la tabla.

El "lavado de suelos " mediante una extracción, seguida de una separación y un tratamiento del material extraído resulta de un alto costo, ya que estará en función del solvente que se utilice para la operación, así como de las sustancias químicas que se empleen para la estabilización del extracto.

La última alternativa que se presenta es la de excavar, aerear y disponer el material peligroso en un lugar seguro cuidando las emisiones a la atmósfera. No se presentan costos ni a que tipo de suelo y contaminantes se aplica.

OPCION	PROCESOS	COSTO	OBSERVACION
Excavación y disposición como material peligroso	Excavar y transportar a un confinamiento controlado para material peligroso	\$ 300/yd ³	Alto costo, localizar sitio adecuado
Excavación y disposición como material no peligroso	Excavar y disponer en un sitio para material poco peligroso. Relleno con suelo limpio	\$ 60/yd ³	Localizar sitio adecuado. Solo pequeñas áreas.
Excavación, aereación y disposición.	Excavar, extender y aerear el suelo. Disponer en lugar seguro.		Cuidar emisiones a la atmósfera
Excavación, aereación y adicionar nutrientes	Excavar, extender, aerear y agregar nutrientes, y agua; compactar	\$ 50/yd ³	Cuidar emisiones a la atmósfera
Extracción por vacío	Estudio del suelo y contaminantes, instalar sistema de venteo	\$ 20-50/yd ³	Para suelos porosos y contaminantes volátiles.
Biodegradación	Estudio del suelo y contaminantes, instalar sistema de inyección de nutrientes, agua.	\$ 75/yd ³	Suelos porosos, constante monitoreo del suelo.
Inyección de vapor y evaporación	Estudio del suelo y contaminantes, instalar sistema de inyección de vapor y de recuperación de gases.	\$ 100-200/yd ³	Para suelos porosos y contaminantes volátiles. Alto costo.
Incorporar asfaltos	Excavar y transportar	\$ 125/ton	Opción para hidrocarburos no volátiles.
Lavado de suelos (extracción)	Excavar, extraer y separar el extracto obtenido.		Obtener el fluido adecuado para el contaminante principal. Alto costo

Tabla 2.6: Opciones para tratar suelos contaminados. Restoration of petroleum contaminated aquifers, Stephen M. Testa, Duane L. Winegardner, Michigan 1991.

CAPITULO III

SITUACION EN MEXICO

En la República Mexicana, hasta nuestros días no se ha estudiado ninguna de estas posibilidades para el tratamiento de áreas de suelo contaminado con diferentes productos. Desgradaciadamente hasta hace algunos años no se había considerado de primordial importancia el establecer zonas afectadas por contaminantes y en particular las tierras contaminadas.

Los programas de rehabilitación de los ecosistemas con problemas de contaminación se dirigen principalmente a ríos, lagunas, costas y atmósfera, que si bien es cierto que son los más dañados o los más fácilmente identificados, los esfuerzos que se hagan serán insuficientes si no se crean programas para la limpieza y tratamiento de los suelos contaminados. Como ya se mencionó en este trabajo, los suelos afectados pueden filtrar los contaminantes hacia ríos subterráneos y estos depositarlos en grandes extensiones de paso aumentando la dificultad de resolver el problema, inclusive contaminando zonas que ya se habían restablecido. Estas son las alteraciones que ocurren en un ecosistema determinado, afectando también a otros ecosistemas por muy lejanos que se encuentren entre sí.

Inclusive es tan poco el interés que se le ha dado al problema de los suelos contaminados en México, que no se han identificado los lugares con mayor índice de contaminación. Por lo que se mencionan sitios en que es muy probable que se encuentren grandes problemas de contaminación, debido al tipo de industria o proceso que se lleva a cabo en la región. El petróleo y sus derivados constituyen uno de los principales focos de atención.

México cuenta con grandes depósitos de hidrocarburos del petróleo localizados en zonas bien identificadas. En la mayoría de estas regiones se han instalado diferentes tipos de industrias para la explotación y refinación del petróleo. Es por de más describir todos los estragos ambientales y destrucción de ecosistemas que han provocado dichas industrias.

El ambiente nunca constituyó un elemento de tomarse en cuenta para la planeación del desarrollo petrolero. Cuando en alguna región se localizan reservas importantes de hidrocarburos o se encuentran condiciones apropiadas para la instalación de plantas petroquímicas y refinerías, se priorizan estas condiciones sobre otras (Jaime Ros, 1987).

Las reservas de hidrocarburos en el país se encuentran principalmente en la cuenca de Chicontepec, ubicada en el llamado Paleocañón, en la parte norte del Estado de Veracruz; en formaciones mesozoicas de las entidades de Tabasco y Chiapas (19% del

Veracruz; en formaciones mesozoicas de las entidades de Tabasco y Chiapas (19% del total del país); en la plataforma marítima de la sonda de Campeche (48%); y en la cuenca de Sabunas, entre los Estados de Coahuila y Nuevo León. Mientras que los yacimientos de la zona de Campeche son muy amplios (sólo comparables con los del golfo Pérsico), los de Chicontepec aunque menores, son más accesibles, por lo que los pozos no tienen que ser tan profundos.

Por lo que toca a otras áreas con potencial de hidrocarburos, la actividad exploratoria se ha concentrado en las siguientes zonas: la cuenca de Jalisco, la cuenca del Papaloapan, la plataforma de Valles en San Luis Potosí, la costa occidental de Baja California, el golfo de Tehuantepec, la zona marítima de Sinaloa, la zona sur del estado de Chiapas, la península de Yucatán, el golfo de México y el norte del mar Caribe. El resto del territorio tiene pocas o nulas posibilidades de contener reservas, particularmente la planicie costera del océano Pacífico.

Las zonas productoras de hidrocarburos más activas del país han sido divididas en tres áreas, siguiendo criterios geológicos: Salina del Istmo-Macuspán; Chiapas-Tabasco, y la sonda de Campeche, con 28 yacimientos en total, de los cuales a 16 se les denomina gigantes y a 12 supergigantes, por la producción de barriles de crudo o gas (Cuadro 3.1)

Los Cuadros 3.2 y 3.3 muestran las refinerías y petroquímicas más importantes de la República, algunas de las cuales han dejado de operar como tales, pero durante su periodo de operación contribuyeron con la contaminación de sus alrededores. Podemos considerar los alrededores de estas zonas de explotación y refinamiento del petróleo como muy factibles de estar contaminados. La figura 3.1 muestra en el territorio nacional los principales centros petroquímicos y de refinación.

Esta consideración no es infundada si observamos todos los accidentes que se han presentado durante el tiempo de operación. Algunos de estos desastres se mencionan a continuación:

- * Explotación de pozos en la laguna de Tamiahua (el Katan, el Atlamaya y el Tauro) que contaminaron gran parte de la laguna, ocasionando mortandad de peces y moluscos.
- * Varios derrames del oleoducto Salina Cruz-Minatitlán que cruza la Laguna Superior en el litoral del Istmo de Tehuantepec, al realizar algunas maniobras de desalojo en el ducto.
- * Desechos de productos residuales a las aguas del río Huazuntlán, provenientes de la industrias Azufrera Panamericana, Molino Naseca, Guanos, Fertilizantes y las Petroquímicas que contaminan al río Coatzacoalcos. Esto no sólo afecta a los efluentes, sino hasta su destino final que son la Laguna del Ostión y después al mar, lo que ha ocasionado una baja en la producción pesquera.

- * Contaminación de los cinco ríos con mayor caudal del país (Usumacinta , Grijalva, Papaloapan, Coatzacoalcos, Pánuco), por la presencia de las industrias petroleras. Alrededor del Usumacinta y Grijalva, se encuentran Ciudad PEMEX, Cactus y la Venta; por el Coatzacoalcos se ubican, la Cangregera, Pajaritos, Minatitlán, y Cosoleacaque; el Papaloapan aloja en las proximidades de sus efluentes a Matapioche, y Ciudad Madero que está en la región del Pánuco.
- * Los desechos de las petroquímicas son los más peligrosos. Las sustancias tóxicas que llevan las aguas de descarga se depositan en los ríos, como son las sales de cloruro, sulfito de sodio, benceno, etilbenceno, xileno, ácido carbónico, carbonato de potasio, glicoles, fenoles, aceites, metales pesados, etc, que en su mayoría no son biodegradables, constituyendo un peligro para la flora y fauna, así como para el hombre.
- * Contaminación del pantano Santa Alejandría, contiguo a la refinería Lázaro Cárdenas. Los contaminantes entre los que se encuentran principalmente grasas, aceites, fenoles y aguas enchapopadas, formaron una nata que alcanzó 40 cm de espesor sobre las aguas.
- * La perforación del Ixtoc 1 en la bahía de Campeche, que salió de control derramando aproximadamente 3 millones 100 mil barriles que fluyeron durante el periodo comprendido entre el 3 de junio de 1979 y el 9 de marzo de 1980, y después de descontar los hidrocarburos quemados, los evaporados y los recolectados, se estima que quedaron a la deriva un millón 23 mil barriles.
- * La explosión de varios tanques de gran volumen en la planta de San Juan Ixhuatepec, en Tlalnepantla, Estado de México. Esta tragedia cobró muchas vidas humanas y daños materiales por localizarse en una zona urbanizada.

Estos son sólo algunos de los accidentes ocurridos en plantas de procesamiento y explotación de hidrocarburos, y aunque no se menciona en ellos nada con respecto a la contaminación de suelos, es lógico pensar que en sus alrededores se encuentren grandes extensiones de tierras afectadas.

La exploración, perforación de pozos e instalación de petroquímicas y refinerías ha afectado tierras de cultivo; ha provocado derrames de crudo; ha contaminado las aguas de los ríos, lagunas, mares y la atmósfera de las áreas circundantes a la industria, ocasionando un impacto nocivo sobre agricultura, ganadería, fruticultura, pesca y en general sobre las condiciones de vida de la población.

La defensa del ambiente contra la actividad petrolera ha formado varios grupos, entre los que destacó en 1976 un movimiento campesino denominado Pacto Ribereño, formado por más de 7000 campesinos de la región de Chontalpa, de los municipios de

Cadena, Comalcalco, Cunducan, Jalpa, Huimanguillo y Paraíso. Estos campesinos reclamaron una indemnización por sus tierras de cultivo (plátano, cacao, coco, pimienta, cítricos y pastizales) afectadas por la perforación de pozos, por el establecimiento de ductos, derrames de aceite, etcétera. Han evaluado los daños de este deterioro sobre 50 mil hectáreas. Sin embargo el pacto no tuvo repercusiones favorables para los campesinos aunque se firmaron varios tratados.

Es importante notar que aunque los campesinos pedían indemnización por sus tierras contaminadas, nunca exigieron que fueran regeneradas o tratadas para poder seguir siendo cultivables, ni se les propuso esta solución.

AREA	GIGANTE	SUPERGIGANTE
Salina del Istmo y Macuspana	Cuichapa Orgarrio Tonalá El Burro El Plan Cinco Presidentes Magallanes	José Colomo Chilapilla Hormiguero
Chiapas y Tabasco	Sitio Grande Río Nuevo El Golpe Cárdenas Agave Giraldas	Cactus Antonio J. Bermúdez Paredón
Sonda de Campeche	Pol Bacab Kutz	Cantarell Abkatún Kanaab Maloob-Zap Ku Ek Chuc

Tabla 3.1: Areas productoras de hidrocarburos en México. "El auge petrolero: de la euforia al desencanto"

Además de considerar las actividades de exploración, perforación de pozos e instalación de petroquímicas y refinerías, se debe tener en cuenta los patios de algunas industrias en donde por muchos años se han venido depositando a cielo abierto subproductos de los mismos procesos.

Otro problema también de gran magnitud son los depósitos de desechos domésticos mezclados con residuos industriales; principalmente los localizados en las grandes zonas urbanas, constituyendo un riesgo a la salud.

También hay que considerar las zonas forestales donde se trata la madera para su preservación, debido a que en los procesos empleados es factible que haya derrames hacia el suelo.

Las inspecciones por parte de las autoridades han revelado que en las zonas industriales existen suelos contaminados por sustancias orgánicas e inorgánicas que resultan perjudiciales a la salud humana y al ambiente. Los mantos acuíferos están actualmente en riesgo de contaminarse por la presencia de estos residuos industriales dispuestos sin ningún tratamiento de estabilización.

Debido a esta gran presión que se está ejerciendo es que se empiezan a tomar medidas para restablecer estos suelos. El costo de tratamiento es muy alto y es escaso el número de especialistas nacionales que dominan estas tecnologías. Las compañías terminan contratando los servicios de técnicos extranjeros.

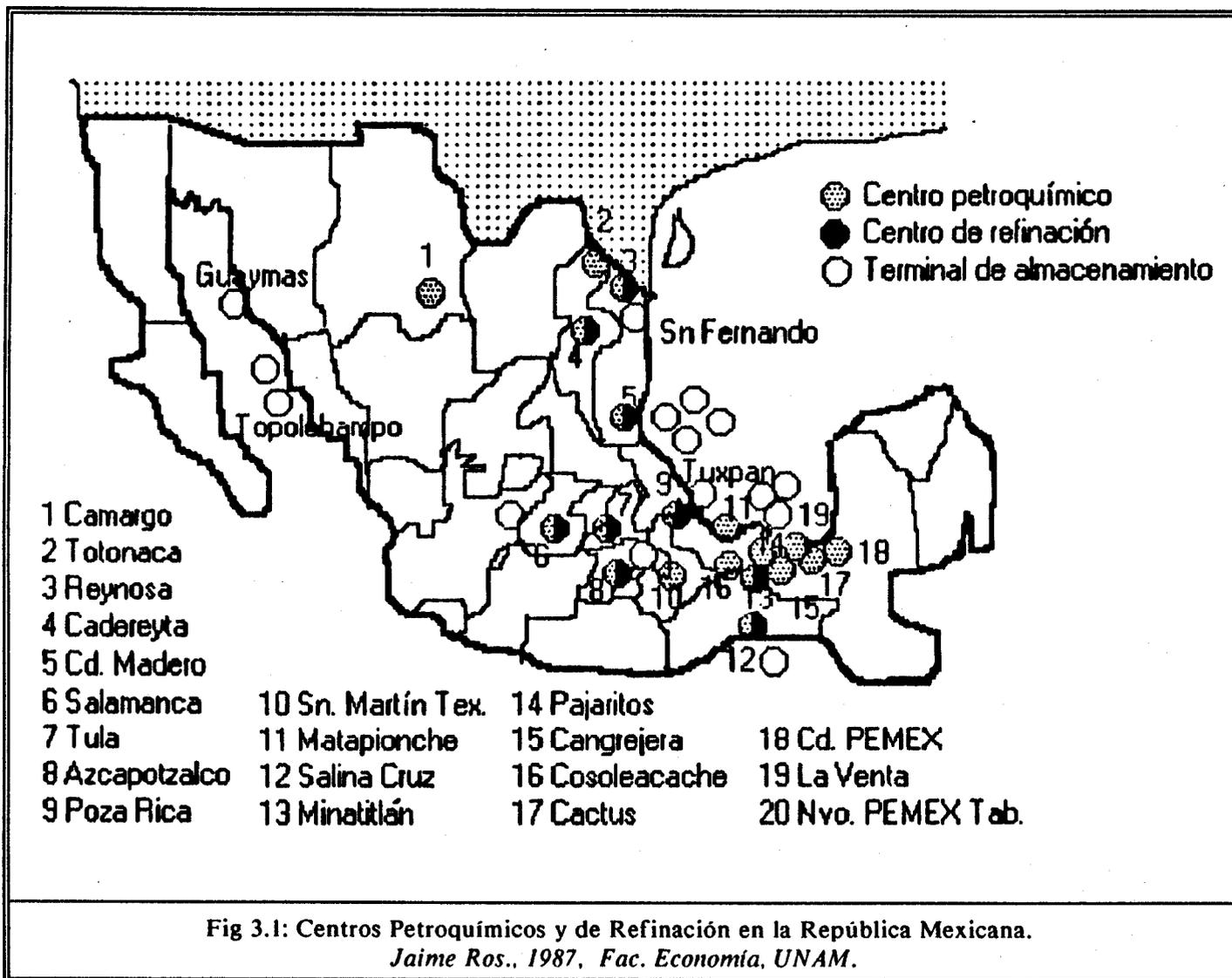
Finalmente es necesario considerar este problema que hasta ahora se ha pasado de frente, crear una nueva conciencia y darle al tratamiento de suelos contaminados la importancia que debe tener.

REFINERIA	UBICACION	OBSERVACION
"18 de Marzo" Azcapotzalco	D.F	Proveía al Valle de México casi todos los derivados
Cadereyta	Nuevo León	Reparto de combustible, Zona Norte
Madero	Cd Madero, Tamaulipas	Exportación de productos petrolíferos
"Gral Lazaro Cardenas del Río"	Veracruz	Puerto de exportación de refinados del país
Poza Rica	Norte de Veracruz	Cabecera de la zona centro
Reynosa	Tamaulipas	
"Ing. Antonio M. Amor"	Salamanca	Centro industrial abastecedor de la parte centro
"Ing. Antonio Dovali Jaime"	Oaxaca	Puerto de exportación petrolera en la costa del Pacífico
"Miguel Hidalgo" Tula	Hidalgo	Satisface la creciente demanda del antiplano

Cuadro 3.2: Refinerías en el territorio nacional. Jaime Ros, UNAM 1987.

PETROQUÍMICA	UBICACIÓN	PRODUCTO PRINCIPAL	INICIO
Azacapotzalco	D.F	Azufre, Dodecilbenceno, Tetrámero de propileno	1956
Cactus	Chiapas	Azufre, Gas licuado, Etano	1974
Camargo	Chihuahua	Amoniaco, Anhídrido Carbónico	1967
La Cangrejera	Veracruz	Etileno, Nitrógeno, Benceno, Acetaldehído, Tintas, Tolueno	1980
Cosoleacaque	Veracruz	Amoniaco	1962
Cd Madero	Tamaulipas	Etilbenceno, Azufre, Butadieno, Estireno, Etileno, Propileno	1961
Cd PEMEX	Tabasco	Azufre, Gas	1981
La Venta	Tabasco	Gas, Etano	1967
Matapionche	Veracruz	Azufre	1981
Minatitlán	Veracruz	Etilbenceno, Ciclohexano, Heptano, Hexano, Tolueno, Xilenos	1964
Nuevo PEMEX	Tabasco	Gas, Propano, Butano, Azufre	1984
Pajaritos	Veracruz	Acetaldehído, Cloruro de vinilo, HCl, Etano	1967
Poza Rica	Veracruz	Azufre, Etano, Etileno, Polietileno	1951
Reynosa	Guanajuato	Etano, Etileno, Polietileno	1966
Salamanca	Oaxaca	Isopropanol, Amoniaco, Anhídrido Carbónico	1962
Salina Cruz	Puebla	Azufre	1983
San Martín Texmelucan	Tamaulipas	Metanol, Desparafinantes, Desemulsionantes,	1969
Totonaca	Hidalgo	Azufre	1981
Tula		Acrilonitrilo, Azufre, Ac.cianhídrico, Acetonitrilo	1978

Cuadro 3.3: Petroquímicas que han operado en México. *Jaime Ros., 1987, UNAM.*



CAPITULO IV

LEGISLACION

Para actividades de control de residuos industriales peligrosos, entra en vigor el 1 de marzo de 1988. La ley del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente.

Los artículos 150 al 153 del capítulo V, incluidos en esta ley, contienen lo relacionado a la instalación y operación de sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos peligrosos, con la supervisión de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Específicamente el artículo 153 habla sobre la importación o exportación de materiales peligrosos.

En este reglamento se establece que es competencia de la Secretaría publicar en el Diario Oficial de la Federación, los listados de residuos peligrosos y sus actualizaciones; expedir normas técnicas ecológicas y procedimientos para el control y manejo de los residuos peligrosos que se generan en operaciones y procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo y de servicios. También se señalan los requisitos y condiciones que deben cumplir los generadores de residuos peligrosos desde su generación, y manejo que incluye almacenamiento, recolección, transporte, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final.

Se han creado algunas normas oficiales mexicanas por parte de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), las cuales establecen los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes presentes en residuos. Estas normas se mencionan en el Anexo.

ANEXO

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

- NOM-CRP-001-ECOL/93 Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (2 de julio de 1993 D.O.F.)
- NOM-CRP-002-ECOL/93 Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. (2 de julio de 1993 D.O.F)
- NOM-CRP-003-ECOL/93 Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93 (2 de julio de 1993 D.O.F.)
- NOM-CRP-004-ECOL/1993 Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos excepto de los radioactivos. (2 de julio de 1993 D.O.F.)
- NOM-CRP-005-ECOL/1993 Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. (2 de julio de 1993 D.O.F.)
- NOM-CRP-006-ECOL/1993 Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos. (2 de julio de 1993 D.O.F)
- NOM-CRP-007-ECOL/1993 Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (2 de julio de 1993 D.O.F)

Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 5o. Fracción X y 146 de la L.G.E.E.P.A.; 27 Fracción XXXIII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la APF, expiden el primer listado de actividades altamente riesgosas (28 de Marzo, 1990)

Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto en los artículos XVI y XVII de la L.O.A.P.F., expiden el segundo listado de actividades altamente riesgosas (4 de Mayo, 1992)

BIBLIOGRAFIA

BUEVE Lucas, "Excalibur Enterprises" Inc, Demostration Program, SITE Technology profile-VII, NEW York, Nov 1990. Pág. 44-45.

COLAK Peter Z., Sanivan Group, "Demonstration Program" SITE Technology Profile-V, Anjou, Quebec, Nov 1990. Pág 78-80.

HORNSBY Robert G. y Helgerson Ron, "Zero Air Emissions Ground Water and Soil Remediation Using the AWD Integrated System", AWD Techonologies, Inc., Lockheed Aeronautical Systems Company, SITE: Selected for the Superfund Innovative Technology Evaluation Program. Junio 1991.

LA MORI Philip N., "Toxic Treatments (USA) Inc". Demonstration Program, SITE Technology Profile, Sn Francisco California, Nov 1990. Pág 96-97.

PAFF Stephen W., "Center for Hazardous Materials Research" Emerging Program, SITE Technology Profile-VI, Pittsburg PA, Nov 1990. Pág 125-126.

PARR James F. y Marsh Paul B., "Land Treatment of Hazardous Wastes", 1979. Pág 10 -11.

SHALLICE Chris., "CF Systems Corporation" Demonstration Program, SITE Technology Profile-VI, Waltham Massachusetts, Nov 1990. Pág 30-31.

SPEYHT James, Western Research Institute, Emerging Program, SITE Technology Profile-II, Laramie Wyoming, Nov 1990. Pág 169-170.

STEINER Werner., "Enviro Sciences" Emerging Program, SITE Technology Program-III, Randoph, New Jersey, Nov 1990. Pág 139-140.

"The Safe Diposal of Hazardous Wastes", The special need and problems of developing countries Vol II (1989), World Bank Technical Paper. Number 93.

VEDBY Steen y Skov Allan, Pnonix Miljo, "Mobile Extraction Technology for on-site soil decontamination", Vejen Denmark., Junio 1991.

VESPER Stephen y MURDOCH Laurence., USEPA "Solid and Hazardous Waste Research Facility" 5995 Center Hill Rd., Cincinnati, OH 45224.

WEIMER Lanny D., "Resources Conservation Company" Ellicot City. Third Forum on Innovative Hazardous Waste Treatment Technologies: Domestic and International, Dallas Tx. Junio 1991.

ROS Jaime, "El auge petrolero: de la euforia al desencanto" Facultad de Economía, UNAM. 1987.

TESTA, Stephen M. y Winegardner, Duare L. "Restoration of petroleum contaminated aquifers", Michigan, 1991.

Diario Oficial de la Federación, Tomo CDLXXXI No. 16 México, D.F., 22 de octubre de 1993.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
AV. DELFIN MADRIGAL N° 665. COL. PEDREGAL DE STO. DOMINGO
C. P. 04360, DELEG. COYOACAN, MEXICO, D. F.
TELS. 424 61 00, 606 88 37, 606 95 20
FAX 606 16 08