

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"

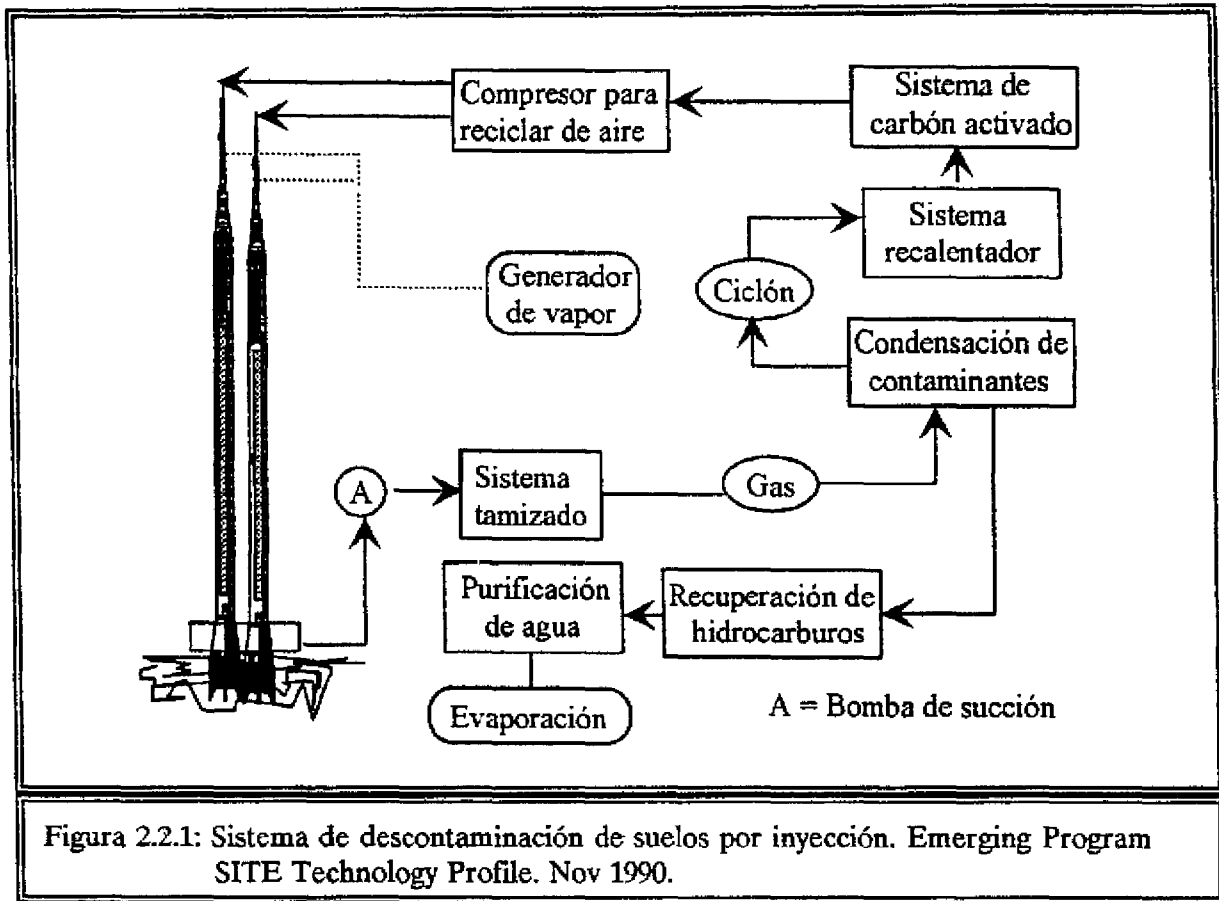
Uno de los equipos conocidos es el "detoxifier" de Toxic Treatments (USA) Inc., el cual, es una unidad transportable. El equipo está formado de dos componentes principales, la torre y el tren de proceso. La torre está constituida por dos barrenadores de tallo largo, cada uno modificado con cortadores 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. Un sistema típico de descontaminación de suelos por inyección de fluidos, se muestra en la figura 2.2.1.

Esta tecnología es aplicable a contaminantes orgánicos como hidrocarburos y solventes con suficiente presión de vapor presentes en el suelo. No constituye una limitación el tipo de suelo por tamaño de partícula, porosidad inicial, concentración química o viscosidad.



Este proceso se aplicó en la Terminal Annex, San Pedro, CA., en donde se trataron doce hectáreas contaminadas con compuestos orgánicos volátiles (Volatile Organic Compound, VOCs) y compuestos orgánicos semivolátiles (Semivolatile Organic Compound, SVOCs) en septiembre de 1989. Los resultados fueron satisfactorios y después de varias muestras del área tratada antes, durante y después del proceso se determinó que más del 85% de los VOCs, y 55% de los SVOCs se separaron del suelo. También se comprobó que las emisiones de contaminantes hacia la atmósfera fueron muy bajas.

2.2.2 Métodos combinados: Suelo y Agua Contaminados

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, las 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.

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.

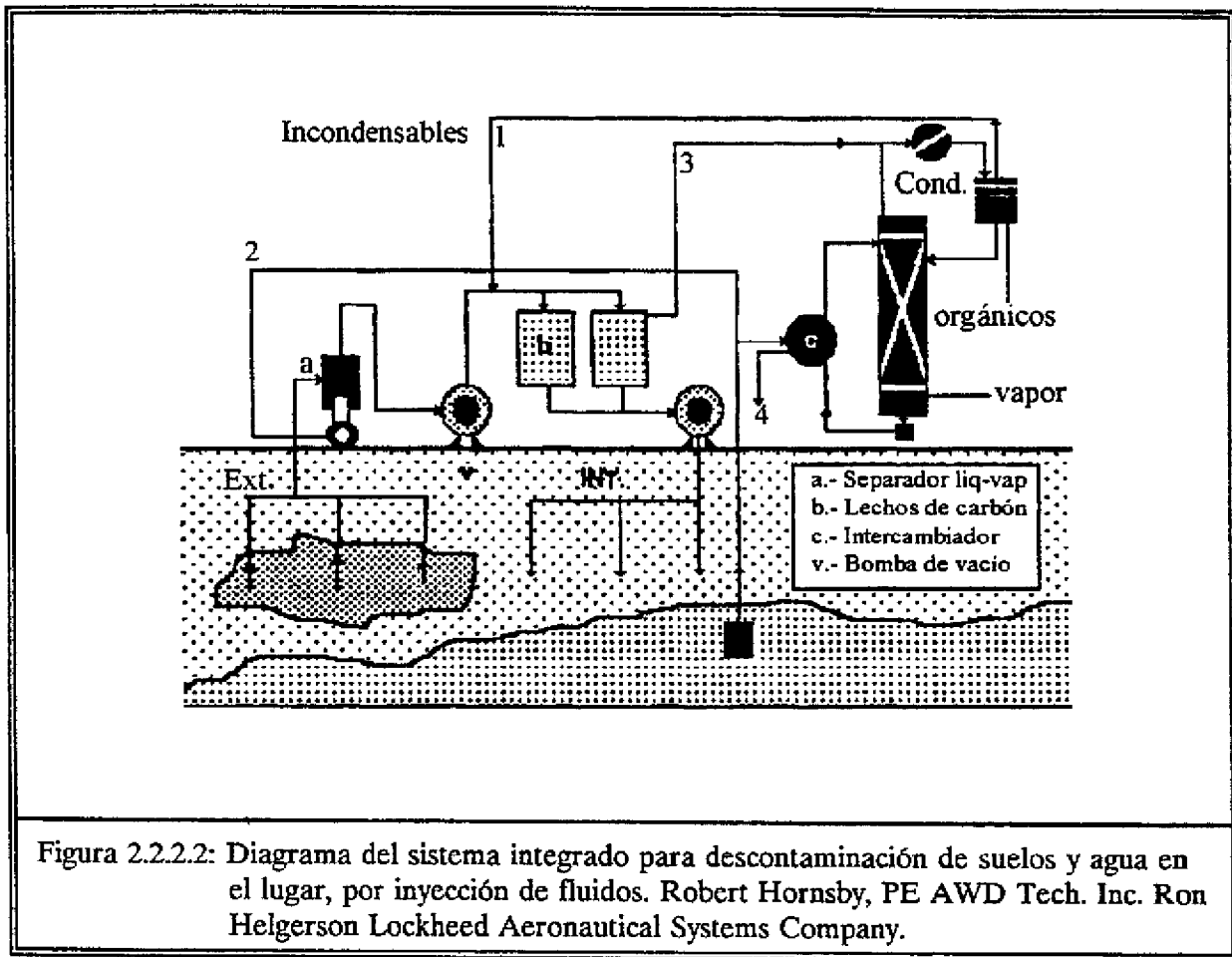
Los vapores que salen de la torre entran a un condensador de agua y posteriormente a un tanque separador, aquí se dividen las fases formadas. La fase acuosa regresa a la torre de intercambio para tratarse nuevamente. La fase orgánica se extrae para un tratamiento posterior en el que probablemente se 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.

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-butil 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.



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 cuadro 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 cuadro 2.2.2.4.

SVE

Contaminante	Gas de extracción conc. (ppb)	Gas de inyección conc. (ppb)
Hidrocarburos	450, 000	2000
Tetracloroetileno	420, 000	365
Tricloroetileno	8, 000	60

AQUADETOX

Contaminante	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	---	<1
1,1-dicloroetano	18	<100	5.5	<1
1,2-dicloroetano	4.5	<100	0.8	<1
Tetracloruro de carbono	7.5	<100	---	<1
Benceno	30	<100	0.65	<1
1,1,2-tricloroetano	34.5	<100	---	<1
Etilbenceno	225	<100	---	<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

		404,400	0.77

\$ Valor en dólares

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

Cuadro 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.

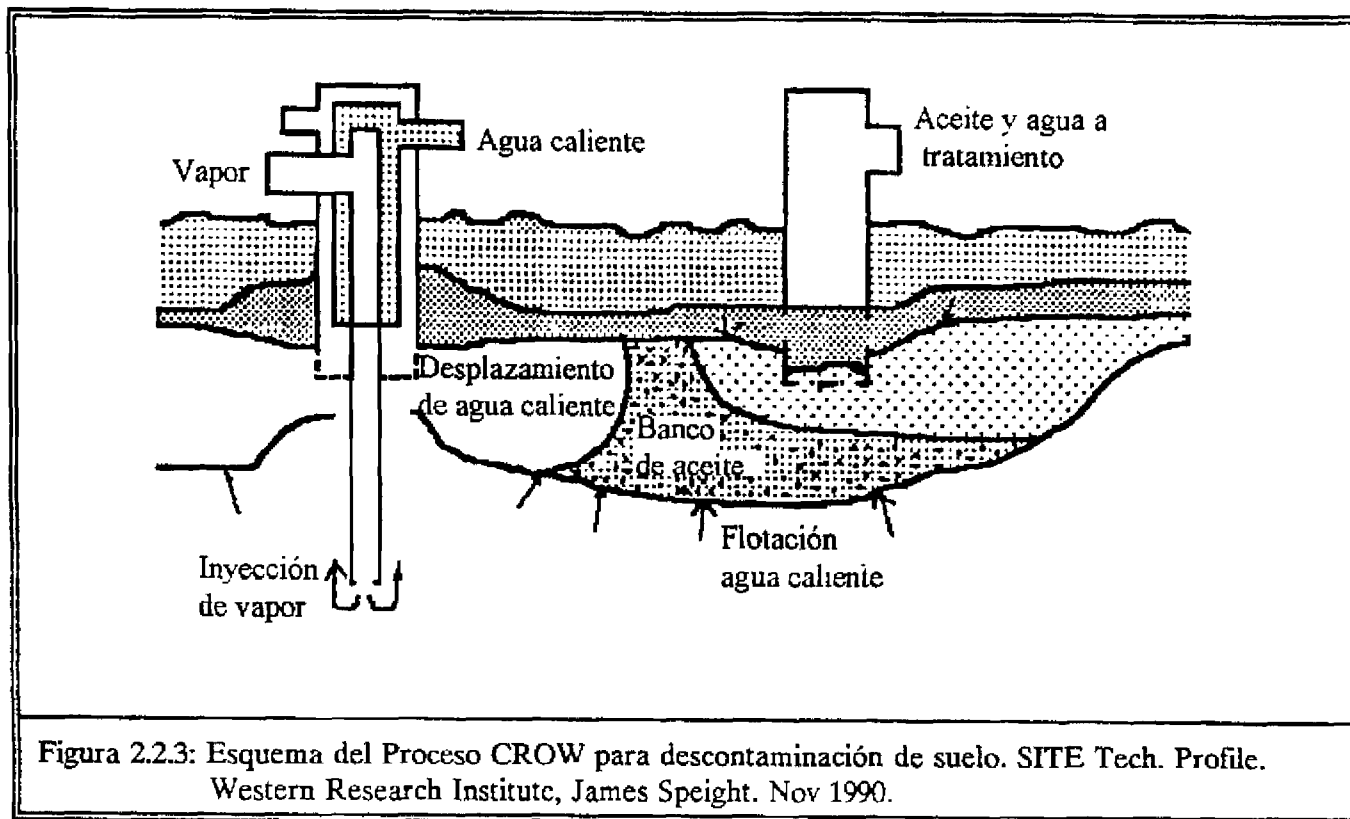


Figura 2.2.3: Esquema del Proceso CROW para descontaminación de suelo. SITE Tech. Profile. Western Research Institute, James Speight. Nov 1990.

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.

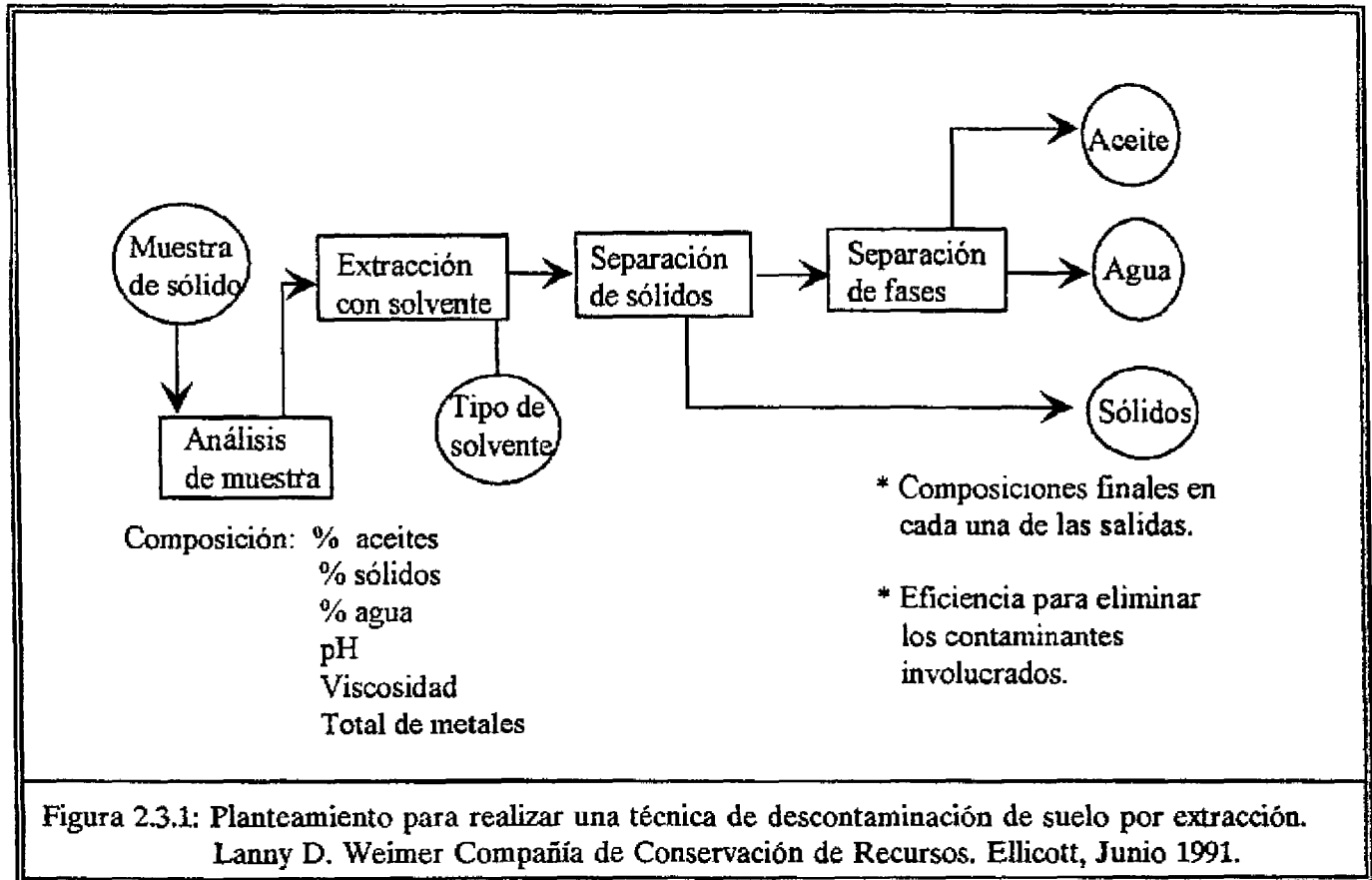
El procedimiento y los fundamentos de esta técnica son sencillos; se requiere inicialmente conocer los tipos de contaminantes que se encuentran presentes en el suelo, para poder determinar el solvente de extracción más adecuado para el tratamiento. Se separan las fases formadas; la fase sólida queda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

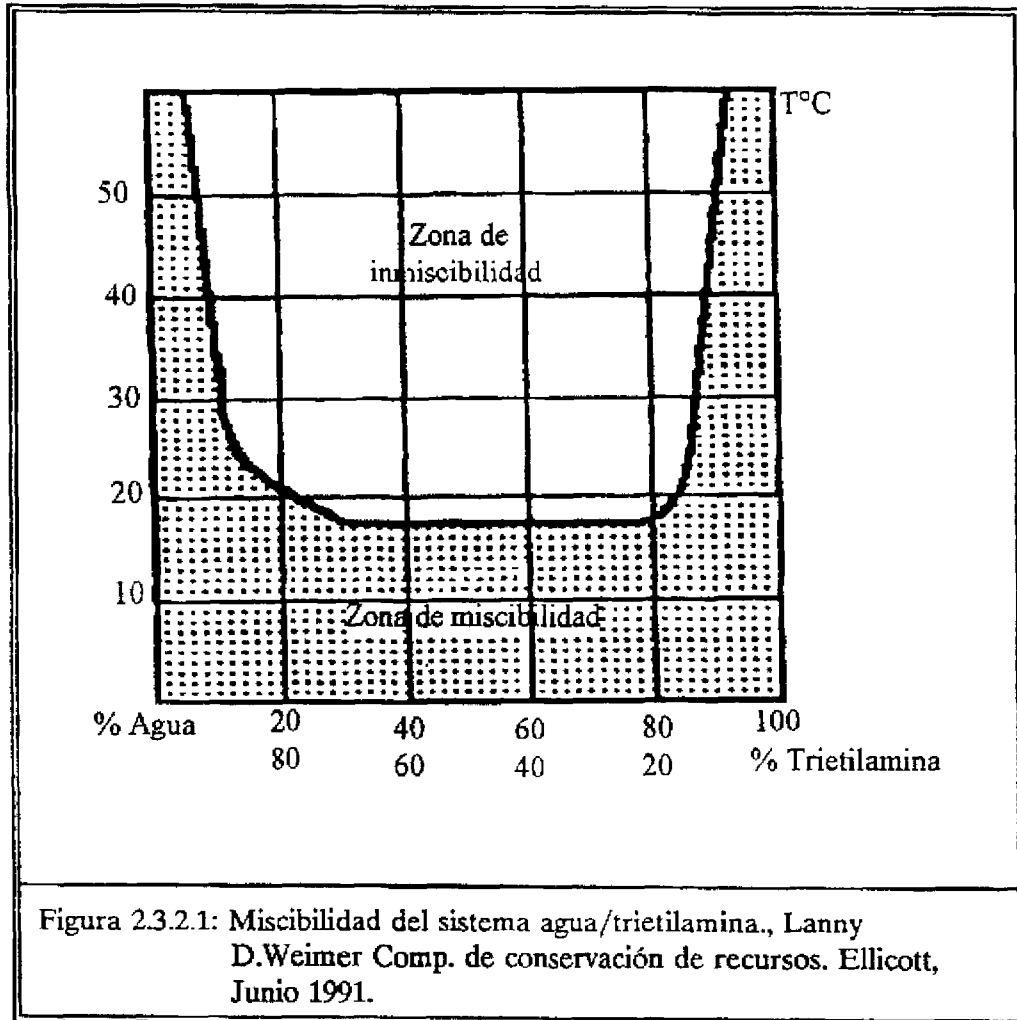


Figura 2.3.2.1: Miscibilidad del sistema agua/trietilamina., Lanny D.Weimer Comp. de conservación de recursos. Ellicott, Junio 1991.

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.

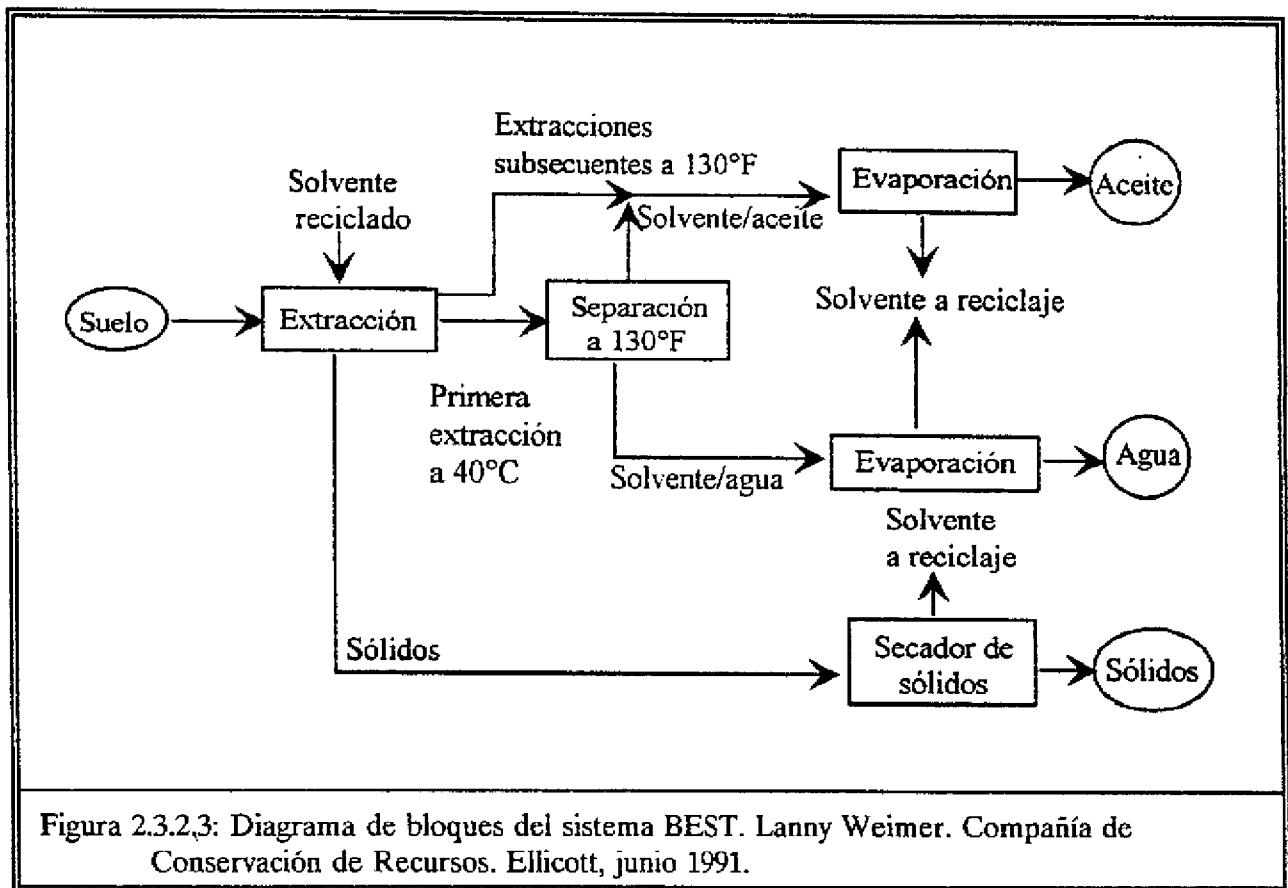
- * Forma un azeótropo con el agua de bajo punto de ebullición, esto facilita eliminar los residuos de trietilamina de los extractos finales.
- * Tiene un bajo calor de evaporación (1/7 del agua), lo que facilita separarlo de los sólidos tratados por simple calentamiento con poca administración de energía.
- * 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.

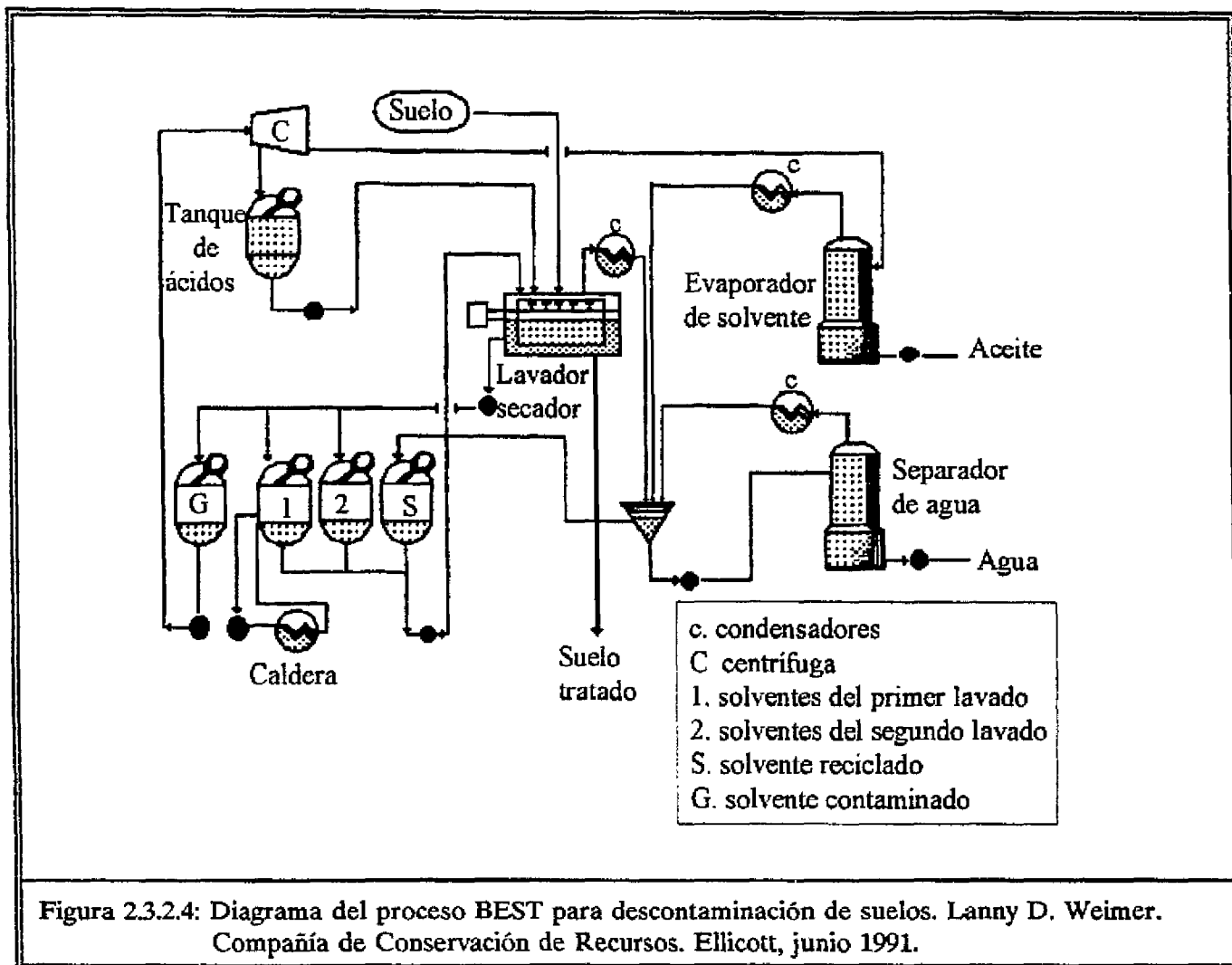
* Una planta de este tipo puede operar las 24 horas del día manejando diariamente alrededor de 70 toneladas.

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.

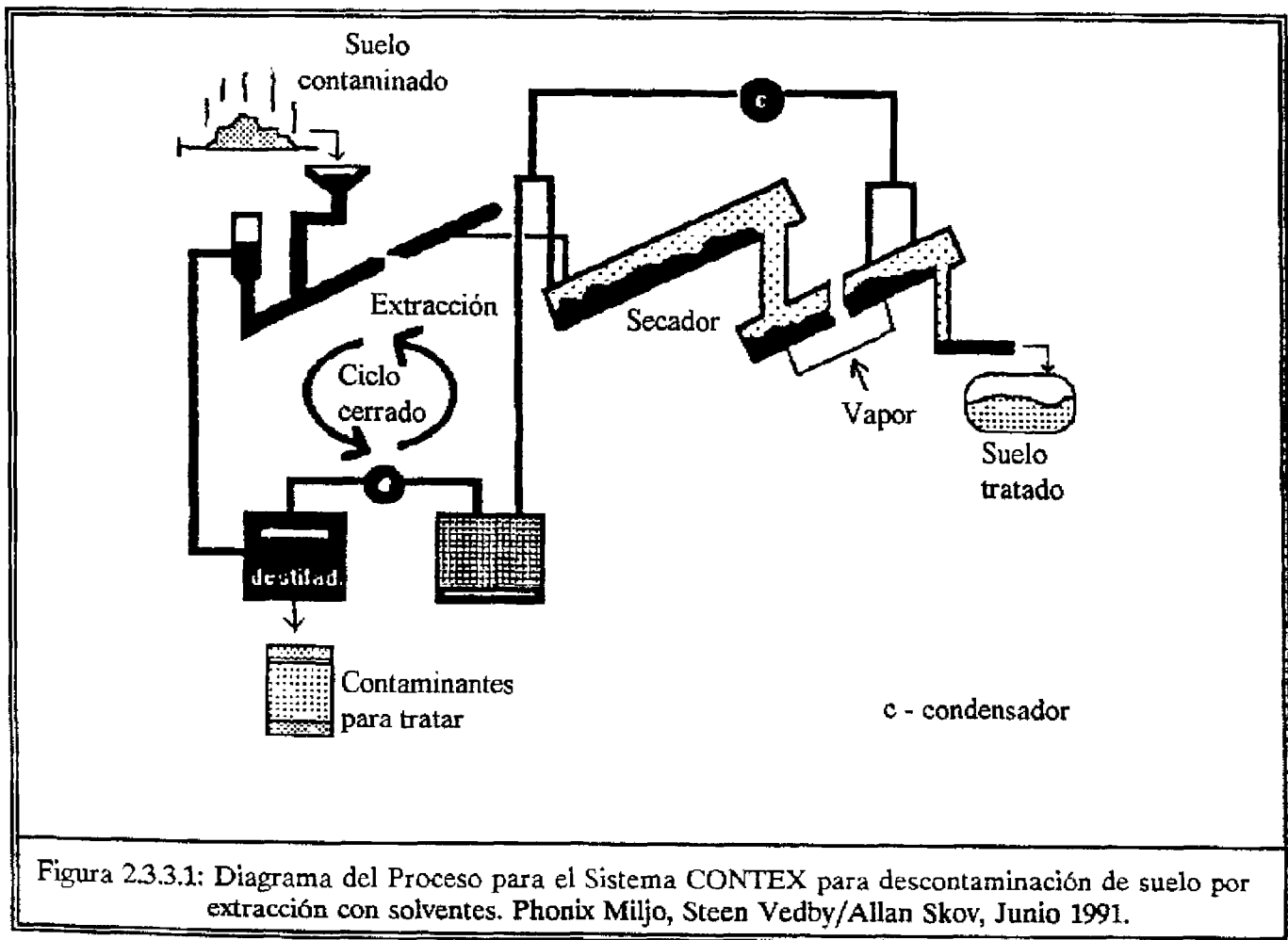


Figura 2.3.3.1: Diagrama del Proceso para el Sistema CONTEX para descontaminación de suelo por extracción con solventes. Phonix Miljo, Steen Vedby/Allan Skov, Junio 1991.