



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
CURSOS ABIERTOS**



CURSO: MODULO II CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUIFEROS CON CONTAMINANTES ORGANICOS
FECHA: Del 30 de septiembre al 04 de octubre del 2002
EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE CA 113

(ESCALA DE EVALUACION 1 A 10)

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACION CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD
ING. JUAN MANUEL LESSER I.				
M.C. ROCIO ALATORRE				
M. I. HECTOR ZEGARRA				
BIOL. HECTOR LESSER				
ING. JUAN MANUEL MUÑOZ M.				
ARQ. SERVANDO PEREZ				
ING. JUAN YOTECO				
ING. JUAN MANUEL NIETO				
ING. MELVIN HERNANDEZ				
ING. GUILBERTO JACOME				
DRA. SASANA SAVAL B.				

Promedio _____

EVALUACIÓN DE LA ENSEÑANZA

CONCEPTO	CALIF.
ORGANIZACIÓN Y DESARROLLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD DEL CURSO	
ACTUALIZACIÓN DEL CURSO	
APLICACIÓN PRACTICA DEL CURSO	

Promedio _____

EVALUACIÓN DEL CURSO

CONCEPTO	CALIF.
CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
CONTINUIDAD EN LOS TEMAS	
CANTIDAD DEL MATERIAL DIDACTICO UTILIZADO	

Promedio _____

Evaluacion total del curso _____

Continúa...2

1. ¿Le agradó su estancia en la División de Educación Continua?

SI

NO

Si indica que "NO" diga porqué.

2 Medio a través del cual se enteró del curso

Periódico <i>La Jornada</i>	<input type="checkbox"/>
Folleto anual	<input type="checkbox"/>
Folleto del curso	<input type="checkbox"/>
Gaceta UNAM	<input type="checkbox"/>
Revistas técnicas	<input type="checkbox"/>
Otro medio (Indique cuál)	<input type="checkbox"/>

3. ¿Qué cambios sugeriría al curso para mejorarlo?

4 ¿Recomendaría el curso a otra(s) persona(s) ?

SI

NO

5 ¿Qué cursos sugiere que imparta la División de Educación Continua?

6 Otras sugerencias:



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**PROSPECCIÓN DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS POR
HIDROCARBUROS**

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DEL 2002**

RESUMEN:

En nuestros días es común la presencia de hidrocarburos en el subsuelo. Las principales fuentes de contaminación son las fugas que se generan a partir de tanques de almacenamiento y de líneas de conducción, así como en el manejo y disposición inadecuados, principalmente en patios de mantenimiento de automóviles, autobuses, ferrocarriles (Calabrese, 1989) y aeropuertos. Los tanques y conducciones llegan a ser corroídos; acomodamientos del terreno producen tensiones y dislocaciones de tuberías; roturas accidentales también son frecuentes. En terminales de diferentes medios de transporte, se manejan hidrocarburos para el lavado de motores, los que después de su utilización eran descargados al sitio más próximo. Esta práctica no se realizaba por negligencia; era el método usual. Actualmente, ante el conocimiento del problema, en algunos países se ha tomado conciencia del problema y se trabaja en la limpieza del subsuelo.

El hidrocarburo ligero, como puede ser una gasolina, se infiltra al subsuelo y tiende a avanzar hasta el nivel estático, donde por presentar una menor densidad que el agua, flota sobre ella. Parte de este hidrocarburo se volatiliza ocupando espacios porosos o fracturas arriba del nivel estático. Cuando el hidrocarburo es más pesado, tiende a infiltrarse y sedimentarse hacia las partes inferiores del acuífero o permanece absorbido por retención molecular en las partículas del suelo. Una porción del hidrocarburo llega a ser diluida por el agua. La porción volátil es la que se aprovecha para su prospección, la cual se realiza a través de pozos de monitoreo someros. Práctica útil y común es la realización de análisis de cromatografía de gases, a partir de cuyos resultados se identifica el tipo de hidrocarburo y se cuantifican sus componentes.

En relación a la calidad del agua contaminada por hidrocarburos, recibe especial atención el benceno, debido al bajo límite permisible para el agua potable, el cual es de 1ppb; cancerígeno y el 35% de este compuesto es soluble en el agua. El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo está influenciado por el tipo y características del material a través del cual circula. En zonas cubiertas por arcillas, como es el caso de la Ciudad de



México, la circulación del contaminante es restringida, en contraste, suelos de alta permeabilidad como es el caso de la Ciudad de Guadalajara, la alta permeabilidad permite la libre circulación del contaminante en el subsuelo.

ABSTRACT

Nowadays is common to find underground hydrocarbons (HC) leakages. The main pollutant sources are: leakage from underground storage tanks and pipes, and inadequate management at the maintenance yards of cars, buses, trains and airplanes. After some time storage tanks are corroded; ground movements produce accidental ruptures and dislocations of pipes. At terminals of different kind of transports, HC are used in motors cleaning and were discharged to the closest area

PROSPECCIÓN DE CONTAMINACIÓN

DE ACUÍFEROS POR HIDROCARBUROS

after being used. This was not done by negligence, it was the usual method. Nowadays several countries have realized this problem and are working at underground remediation. A light HC like gasoline, infiltrates into the ground and tends to reach the static level. Due to its lower density, gasoline floats over the water. Part of this HC is volatilized and stored at the ground porous or fractures above the static level. When the HC is heavier, it tends to infiltrate and accumulate towards the base of the aquifer, or it is absorbed by molecular retention to ground particles. The volatile portion of a HC is used for detection through shallow monitoring wells. From chromatographic analysis are determined the type of HC and amount of its components. In relation to water quality polluted by HC, benzene is special importance due to its very low permissible limit in drinking water (1 ppb). Benzene is carcinogenic and 35% of it is soluble in water.

INTRODUCCIÓN

Una fuerte transformación en la tecnología y en la vida del hombre, se produjo a partir del cambio de energía de vapor por hidrocarburo, a partir de los años 40s. El manejo y disposición de los hidrocarburos no contemplaba la repercusión de los efectos que causaría al infiltrarse al subsuelo. No fue sino hasta que se empezó a manifestar la contaminación de suelo y el agua, que se inició la cultura de la prevención de la contaminación y saneamiento del subsuelo y los acuíferos.

Por ello es común encontrar zonas contaminadas por fugas de hidrocarburos. En esta década de los 90s, se inició en México la exploración y saneamiento del subsuelo por hidrocarburos, con las limitantes que la economía del país ha permitido.

MOVIMIENTO DEL HIDROCARBURO EN EL SUBSUELO

El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo está influenciado por el tipo y características del material a través del cual circula. A manera de ilustración de este punto, a continuación se mencionan las características de los subsuelos de las ciudades de México y Guadalajara, ya que en la primera de ellas, la existencia de arcillas superficiales restringen la contaminación, mientras que en la otra, la alta permeabilidad del subsuelo permite la libre circulación del contaminante.

La mayor parte del área metropolitana de la Ciudad de México se encuentra asentada sobre sedimentos arcillosos de origen lacustre, cuyo espesor varía de 20 a más de 80 metros. Estas arcillas presentan una permeabilidad reducida que las hace que funcionen como un acuitardo (material que permite la entrada de agua pero impide o limita su salida por retención molecular). El flujo de agua en el acuitardo de la Ciudad de México es muy reducido; tiene una permeabilidad del orden de 10^{-7} a 10^{-9} m/seg. La presencia de estas arcillas en el subsuelo limita el movimiento del agua y de sus contaminantes, los que circulan en forma muy lenta, retardando la contaminación. Sin embargo, el contacto de zonas impregnadas de hidrocarburos con espacios abiertos en el subsuelo, tales como el drenaje, ductos telefónicos e infraestructura subterránea en general, pueden constituir zonas a través de las cuales pueda circular libremente el hidrocarburo en el subsuelo. También la existen-

cia de agrietamientos llega a permitir el flujo rápido de agua con hidrocarburos.

En contraste, el subsuelo de la Ciudad de Guadalajara esta constituido, en sus aproximadamente 20 metros superiores, por arenas pumíticas (llamadas localmente «jales»), las cuales presentan una alta permeabilidad que permite la libre y rápida infiltración de contaminantes al subsuelo. A profundidades de entre 5 y 15 metros se encuentra el nivel freático, sobre el cual se llegan a acumular fugas de hidrocarburos líquidos. La zona no saturada entre la superficie y el nivel freático, permite la libre circulación de volátiles, haciendo de ésta, una zona de alta vulnerabilidad.

CARACTERÍSTICAS DE LOS HIDROCARBUROS

Con el objeto de entender el comportamiento de los hidrocarburos en el subsuelo, se presentan algunas de sus características físicas y químicas.

Las gasolinas son una compleja mezcla de hidrocarburos. Pueden ser identificados más de 150 compuestos en una gasolina típica. Estudios efectuados por Fleischer et al (1986), enfocados a los 13 compuestos más comunes de las gasolinas, los dividió en los 4 grupos siguientes: (1) Compuestos que preferentemente son absorbidos por la estructura del suelo, (2) los que se volatilizan rápidamente; (3) los que pueden causar mayor peligro; (4) los que no tienen un comportamiento de migración definido. En la tabla No. 1 se muestra la capacidad de adsorción, volatilización y solubilidad de los componentes más comunes de las gasolinas.

Los hidrocarburos ligeros tienden a volatilizarse, mientras que los pesados permanecen entre las partículas del suelo (Lyman et al., 1992). Los hidrocarburos ligeros son conocidos como LNAPLS (Ligh-Nonaqueous Phase Liquids) (Nielsen, 1991).

Las gasolinas son utilizadas como combustible para máquinas. Los principales componentes químicos incluyen las cadenas de alcanos, cicloalcanos y los aromáticos. La primera cadena corresponde también a parafinas. El porcentaje en volumen de las cadenas mencionadas son de aproximadamente 51% para los alcanos, 36% para los cicloalcanos y 14% de aromáticos, En la tabla No. 2, se presentan algunos de estos compuestos en ciertas gasolinas.

El diesel es una mezcla de parafinas de cadena rota. Los diferentes tipos de hidro-

carburos comerciales, entre ellos la gasolina y el diesel, corresponden a cortes de destilación. La gasolina contiene relativamente grandes concentraciones de aromáticos como benceno y tolueno. En contraste, en el diesel estos aromáticos prácticamente no se encuentran presentes.

Dentro de los productos del petróleo, los aromáticos corresponden al grupo más importante desde el punto de vista ambiental. El benceno, el tolueno y los xilenos, presenta densidades menores a uno. El benceno es el más soluble con hasta 1780 ppm a la temperatura ambiente. El tolueno

tiene una solubilidad de 5 15 ppm a 20° C. Los componentes aromáticos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) se consideran los de más alta movilidad.

La identificación de los componentes de los hidrocarburos se realiza mediante un análisis de cromatografía (Kostecki, 1992), por medio del cual se llegan a identificar y cuantificar. En la figura 1 se muestra el cromatograma de una mezcla de hidrocarburos (Nyer, 1993), así como los rangos de destilación de ciertos compuestos y en la figura 2, los cromatogramas de algunos productos...

Tabla 1.
Capacidad de absorción, volatilización y solubilidad de los componentes más comunes de las gasolinas.

COMPUESTOS DE LAS GASOLINAS	CAPACIDAD DE		
	ABSORCIÓN POR EL SUELO (%)	VOLATILIZACIÓN (%)	SOLUBILIDAD (%)
Benceno	3	62	35
Etilbenceno	21	59	20
(n) Heptano	0.1	99.8	0.1
(n) Hexano	0.1	99.8	0.1
(n) Pentano	0.1	99.8	0.1
Benc (a) Antreceno	100	0	0
Benc (a) Pireno	100	0	0
Naftaleno	81	8	31
Fenantreno	88	2	10
1-pentano	0.1	99.8	0.1
Fenol	9	0.01	91
Tolueno	3	77	20
Xileno	15	54	31

Tabla 2.
Algunos de los principales constituyentes de las gasolinas (Adaptada por Perry y Modificada por Nyer 1993)

CONSTITUYENTES	VOLUMEN %		
	GASOLINA 1	GASOLINA 2	GASOLINA 3
ALCANOS			
n-PENTANO	0.33	0.44	1.12
n-HEXANO	6.44	7.75	8.15
n-HEPTANO	6.9	5.94	8.42
2-METILPENTANO	2.89	2.56	3.47
2,3-DIMETILHEXANO	0.22	1.3	2.39
CICLOALCANOS			
CICLOPENTANO	0.96	1.76	0.67
METILCICLOPENTANO	6.51	10.29	5.01
CICLOHEXANO	10.4	7.63	7.13
METILCICLOHEXANO	22	14.55	18.07
ETILCICLOPENTANO	2.03	4.38	2.34
TRIMENTILCICLOPENTANO	3.64	8.12	4.18
AROMATICOS			
BENCENO	3.27	2.22	3.81
TOLUENO	16.19	7.94	12.02

Algunos constituyentes de los hidrocarburos puede ser cancerígenos, en especial el benceno. La norma de calidad para el benceno en agua es de 1 ppb. (parte por billón).

Los hidrocarburos se pueden encontrar en diferentes formas en el subsuelo como son: fase líquida; fase disuelta en el agua y fase absorbida por el suelo. Estudios recientes han adoptado el BTEX como una forma de expresar a los hidrocarburos.

EXPLORACIÓN Y DELIMITACIÓN DE PLUMAS DE HIDROCARBUROS

En el Subsuelo

Parte de los hidrocarburos más comunes se volatiliza, propiedad que se aprovecha para, mediante perforaciones someras, realizar mediciones de los hidrocarburos volátiles existentes y delimitar la zona afectada.

El proceso de exploración se inicia con la perforación de pozos someros, mediante los cuales se realizan mediciones *in situ* y se obtienen muestras de gas y líquido para el análisis de cromatografía. Los resultados de las mediciones permiten delimitar la zona afectada y cuantificar el volátil y el líquido.

Pozos de Medición o Monitoreo

La perforación de los pozos someros de medición, se puede realizar mediante muestreadores manuales o perforadoras sencillas (Devitt, 1987). Son comunes los rotomartillos accionados por energía eléctrica. El rotomartillo «inca» barras de acero inoxidable generalmente de 3/4" de diámetro (Kva, 1990; Kerfoot, 1988). La perforación de este tipo de pozos generalmente alcanza de 2 a 6 metros de profundidad.

Mayores profundidades requieren máquinas perforadoras especiales que incluyen tuberías para perforación y muestreo de suelo, denominadas «augers» (Abdud, 1989).

Mediciones IN SITU

Una vez perforados los pozos someros, se pueden realizar mediciones *in situ* de hidrocarburos volátiles (HCV), oxígeno, explosividad y bióxido de carbono. Un plano con la distribución de HCV puede mostrar claramente la presencia y extensión de la zona contaminada. Los valores de explosividad, además de poder indicar la magnitud de la pluma, dan una «idea» del grado de contaminación, aunque su medición puede estar afectada por la ausencia de oxígeno.

En todos los suelos existen bacterias que biodegradan a los hidrocarburos provocando: (1) ausencia de oxígeno que es consumido por la acción bacteriana y (2) abundancia de bióxido de carbono, como producto de la biodegradación, por ello, la medición y mapeo de los parámetros mencionados constituyen otras formas de delimitar las áreas impregnadas por hidrocarburos.

Cuando en las perforaciones de monitoreo se alcanza el nivel freático, se puede medir el espesor de los hidrocarburos líquidos (HCL) que se encuentran flotando sobre el nivel freático.

Muestreo de Hidrocarburos

El muestreo se puede llevar a cabo sobre muestras de suelo, gas, agua y producto líquido.

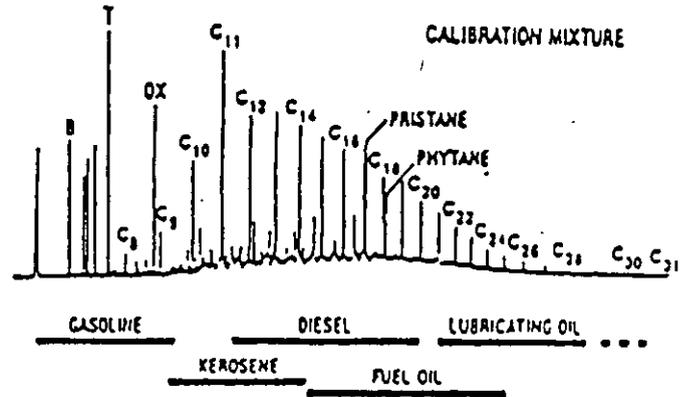


Figura 2. Cromatogramas de mezcla de Hidrocarburos (Nyerges, 1993)

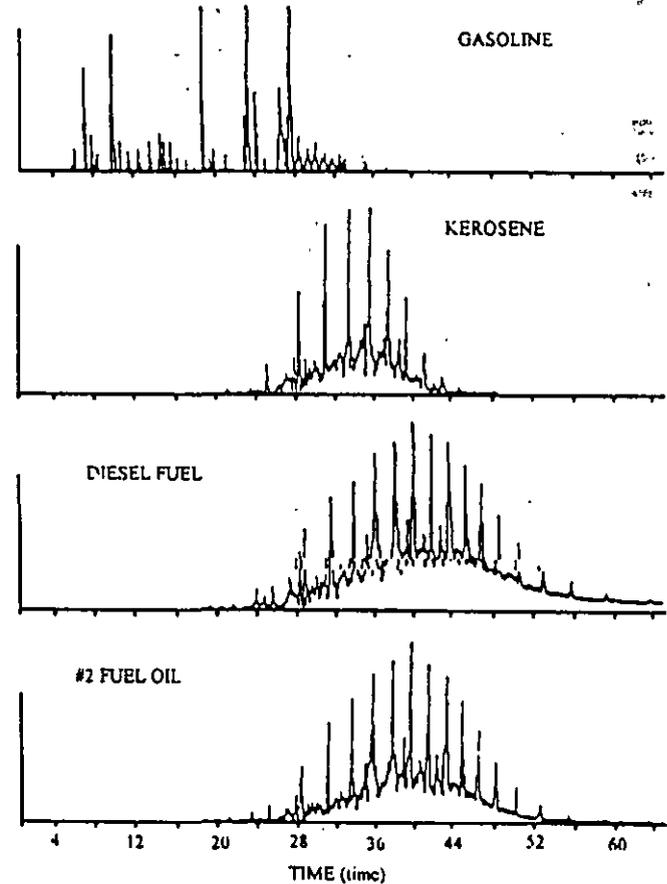
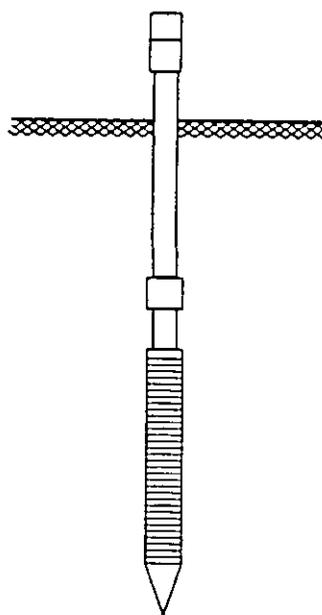


Figura 2. Cromatogramas de diferentes Hidrocarburos (De Calabrese y Kostek, 1989)

MUESTRAS DE SUELOS

Con el objeto de definir la litología del subsuelo y extraer muestras de suelo e hidrocarburos, se perforan pozos con obtención de núcleos de suelo inalterado, a partir de la superficie y hasta la profundidad total del pozo. Los núcleos son enviados al laboratorio para efectuarles un análisis de cromatografía. Existen varias formas de realizar el muestreo de núcleos de suelo. Generalmente para profundidades someras (1-10 m), el muestreo se realiza mediante un tubo de acero inoxidable, el cual incluye una punta cónica truncada; a través de ésta, entra el material arcilloso del suelo al tubo, al ser impulsado el muestreador hacia abajo. El tubo muestreador se encuentra revestido en su interior por un empaque de acetato, dentro del cual se aloja la muestra de material. Al sacar el tubo muestreador, se extrae el empaque de acetato y muestra de suelo, al que se le colocan tapas en las partes superior e inferior. Las tapas pueden ser de diferente color con el objeto de marcar la orientación de la muestra.

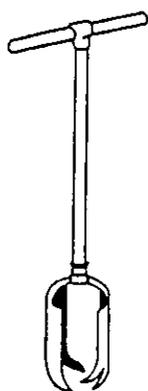
Para el muestreo a profundidades mayores de 10 metros, generalmente se utilizan máquinas perforadoras rotatorias, equipadas con tuberías de perforación especiales para muestreo, denominadas «augers». En la figura 3 se muestran diferentes tipos de equipos de muestreo.



MUESTRADOR
MEDIANTE INCADO
DE TUBERIA



MUESTRADOR
DE MAQUINARIA
ROTATORIA



MUESTRADOR
MANUAL

Muestras de Gas

La obtención de muestras de gas en los pozos someros se realiza colocando un tubo plástico flexible dentro del pozo. Se extrae el gas por medio de una pequeña bomba o una hipodérmica y se almacena en bolsas especiales, fabricadas con materiales que no reaccionan con el hidrocarburo o bien en recipientes de vidrio. Las muestras obtenidas son enviadas al laboratorio para su análisis cromatográfico. Son comunes los cromatógrafos portátiles que pueden realizar el análisis en el sitio.

Muestras de Producto Líquido

Cuando la perforación alcanza el nivel freático, puede obtenerse una muestra de agua y del producto (hidrocarburo) líquido. Existen diferentes aparatos para su extracción. El producto líquido debe envasarse y sellarse en recipientes especiales.

Análisis de Laboratorio

En la prospección de hidrocarburos, las muestras de gas, agua o suelo, son analizadas por el método de cromatografía de gases (GC/FID = Gas chromatography with flame ionization detection). Los resultados pueden interpretarse cualitativa y cuantitativamente. En la gráfica (cromatograma) resultante de un análisis, los picos relacionan a los diferentes compuestos presentes en la muestra. (figuras 1 y 2).

CONCLUSIONES

Las fugas de hidrocarburos y su consecuente contaminación de suelos y agua subterránea, son comunes en sitios donde se manejan estos productos, principalmente gasolineras y patios de ferrocarriles, autobuses y aeropuertos. El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo depende del tipo y características del material que constituye el medio. Los hidrocarburos comerciales corresponden a cortes de destilación, que van de ligeros y alto grado de volatilización, a pesados o densos. La exploración y delimitación de hidrocarburos en el subsuelo se realiza mediante determinaciones de HCV, O_2 , CO_2 y BTEX, entre otros, medidos en pozos someros. Generalmente se obtienen muestras de gas, líquido y/o sólido para su análisis, cualitativo y cuantitativo; la técnica usual es la cromatografía de gases.

REFERENCIAS

- ABDUL, S.A. 1989. *Limitations of Monitoring Wells for the Detection and Quantification of Petroleum Products in Soil and Aquifers In: GWMR.*
- ALLER, L. et al., 1989, *Handbook or Suggested Practices for the Design and Inst' of Ground-Water Monitoring Wells.*
- CALABRESE, E. J. and P.T. Kostecki, 1992. *Petroleum Contaminated Soils. Vol. 2 Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assessment Analytical Methodologies. Lewis Publishers. Inc.*
- DEVITT, D. A. et al., 1987. *Soil Gas Sensing for Detection and Mapping of Volatile Organics. National Water Well Association.*
- KVA, ANALYTICAL SYSTEMAS. 1990. *Soil Gas Equipment and Brief Field Techniques. Publisher K-V Associates, INC.*
- KERFOOT, H. B. 1988. *Is Soil-Gas Analysis, an Effective Means of Tracking Contaminant Plumes in Groundwater? What are the limitations of the Technology Currently Employed, In: GWMR.*
- KOSTECKI, P.T. ANDE J. CALABRESE. 1992. *Contaminated Soils, Diesel Fuel Contamination. Lewis Publishers.*
- LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. *Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments. C. K. Sholey, Inc.*
- NIELSEN, D. M. 1991. *Practical Handbook of Ground-Water Monitoring. National Water Well Association .*
- NYER, E. K. 1993. *Practical 'Tec' for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers.*

Figura 3.

Diferentes tipos de muestreadores.

RESUMEN

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en 4 formas: líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático ó estático; volátil en la zona no saturada; disuelto en agua y; líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por el material del medio o sedimentado en la base del acuífero (Lyman et al., 1992). Los métodos apropiados para el saneamiento del subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo. El saneamiento del subsuelo puede iniciarse con la extracción del HC líquido y el volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo.

Como segundo paso se puede considerar la limpieza del suelo y acuífero contaminados, los cuales tienen una mayor complejidad.

Para la extracción inicial de los productos líquido y volátil, el diseño y operación es «relativamente» sencillo. La remediación o saneamiento total del suelo y acuífero incluye técnicas sofisticadas, de alto costo y largo tiempo de ejecución. Existen diversos métodos, destacando entre ellos la extracción del contaminante y la biodegradación. La extracción por bombeo del producto líquido, es común, la cual se extrae junto con el agua del acuífero; una vez en la superficie el producto es almacenado en tanques y el agua extraída es tratada a fin de eliminar los volátiles que contenga. El volátil puede extraerse a través de pozos y, una vez en la superficie, puede ser incorporado a la atmósfera, incinerado o capturado mediante filtros de carbón activado.

ABSTRACT

Infiltrated hydrocarbons (HC) underground are found in 4 phases: (1) Liquid of lower density than water, floating over the water level; (2) volatile in the vadose zone; (3) dissolved in water; (4) liquid of higher density than water, found absorbed by the environment or accumulated at the base of the aquifer.



The appropriate methods to clean underground polluted by HC depends of various factors. Some of them are: the phase in which the HC is found, its distribution and soil characteristics. Remediation usually begin with liquid and volatile extraction to reduce the risk. As a second step soil and aquifer cleaning is performed. To start extraction of HC, both liquid and volatile phases, is relatively simple. Total remediation of soil and aquifer includes sophisticated and expensive techniques performed for a long period of time. A common remediation method consists in extraction of liquid product and water by pumping. Once at the surface the product (liquid HC) is stored in tanks and water is treated to eliminate possible volatiles. The volatile phase can

SANEAMIENTO DE ACUÍFEROS

CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS

be extracted through wells. Once in surface those volatiles can be incorporated to the atmosphere, incinerated or captured by activated carbon filters.

INTRODUCCIÓN

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en varias formas tales como: (1) líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático ó estático; (2) volátil en la zona no saturada; (3) disuelto en agua y; (4) líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por las partículas del suelo o sedimentado en la base del acuífero (Nielsen, 1991). Una vez conocida su presencia en el subsuelo, (en extensión, concentración, tipo de hidrocarburos y fase en que se encuentra), junto con el conocimiento de la geología y geohidrología del lugar, se pueden establecer las políticas de saneamiento.

El o los métodos más apropiados para el saneamiento de un subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo.

En México, se puede dividir el saneamiento en 2 partes. La primera considera la extracción inicial del HC líquido y volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo. La segunda parte se puede denominar la «limpieza total», del suelo y acuífero, la cual incluye técnicas sofisticadas de alto costo y largo tiempo de ejecución.

MÉTODOS DE SANEAMIENTO

Los principales métodos para el saneamiento del subsuelo y acuífero por hidrocarburos son: (1) extracción del HC líquido y volátil; (2) biodegradación *in situ* (Nyer, 1993).

Extracción de HC Líquido Y Volátil

Una vez delimitada la zona invadida por HC y cuantificada su concentración, se procede a extraerlo. El producto líquido es bombeado a través de pozos. Este, puede ser extraído junto con el agua del acuífero y una vez en la superficie, es separado (Fetter, 1993). En otros casos, el HC líquido que se encuentra en una capa flotando sobre el agua, de donde puede ser extraído mediante bombas especiales. Para acelerar la acumulación del HC en el entorno del pozo, puede bombearse agua y formarse un cono de abatimiento, cuya pendiente facilita el movimiento de la capa de HC que flota sobre el nivel estático, hacia el pozo. El HC y agua extraídos son procesados en la superficie. (Figura 1)

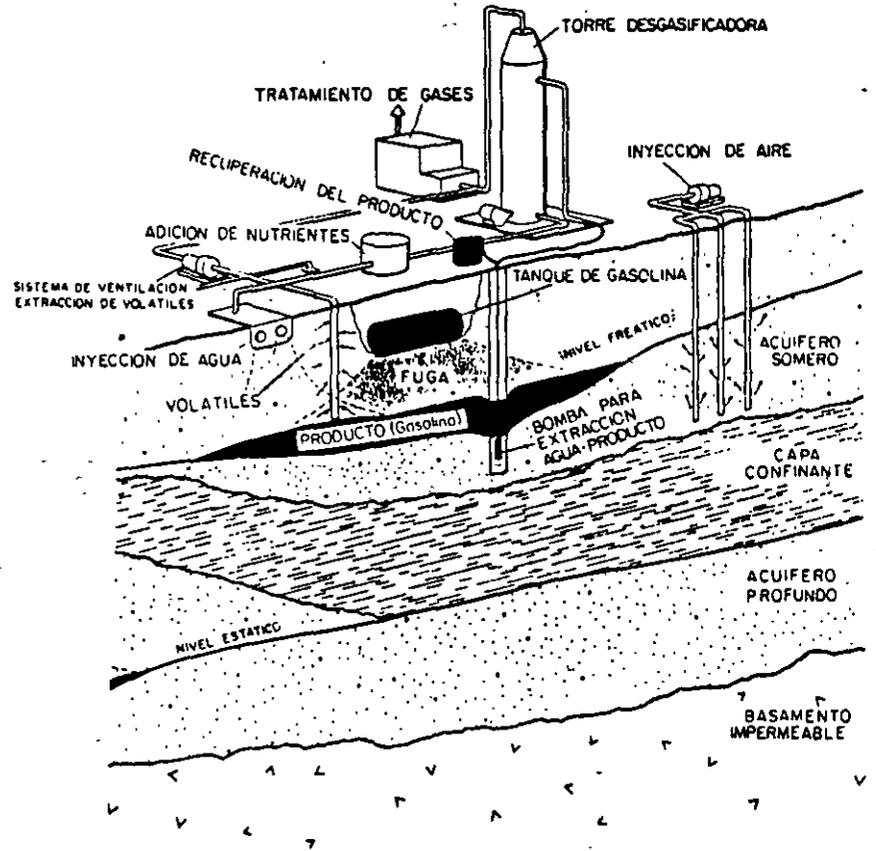
La extracción de volátiles se puede realizar a través de pozos ubicados en la zona vadosa, donde se colocan extractores de aire (Kostecki, 1991, 1992). Pueden perforarse pozos para inyección de aire, que «empujen al volátil hacia su salida». La remoción de volátiles al inicio de la extracción es alta y va disminuyendo con el tiempo.

Biodegradación *IN SITU*

Un método para el saneamiento de zonas afectadas por hidrocarburos es la biodegradación (Riser-Roberts, 1992; Calabrese, 1989; Hinchey, et al., 1992). Consiste en utilizar las bacterias que existen en todo

recuperado, un tanque de aereación, un compresor, un soplador acoplado a una torre desgasificadora y un panel de control.

En la figura No. 3 se incluye el sistema de ORS Environmental Equipment, para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátiles. En esta figura, se observa la presencia de un acuífero somero que es contaminado por fugas de un tanque de gasolina. El producto líquido se encuentra flotando sobre el nivel freático. También existen volátiles entre la superficie del terreno y el nivel freático. La extracción del hidrocarburo líquido se realiza mediante un sistema de bombas para la extracción, tanto del producto (HC líquido) como del agua. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada por una torre desgasificadora. El gas obtenido es tratado por oxidación catalítica o incinerado. En la misma figura, se ilustra la inyección de agua y nutrientes al subsuelo, lo que provoca biodegradación, además de lo que provoca «empujar» al producto hacia el pozo. Cuenta también con un sistema de extracción de volátiles, los que son conducidos a la planta de tratamiento de gases.



DE: ORS ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CATALOG

Figura 3. Sistema ORS/ENVIRONMENTAL EQUIPMENT para extracción y tratamiento de producto líquido y volátil.

En la figura No. 4 se muestra la perforación de pozos direccionales para el saneamiento del subsuelo bajo infraestructura como edificios y tanques de almacenamiento.

En la figura No. 5 se incluye el sistema Environmental Instruments para la extracción y tratamiento del producto líquido y del volátil. Los volátiles son extraídos a través de un pozo y pueden ser conducidos a un filtro de carbón activado o bien a un oxidador catalítico. Un sistema de inyección de aire al subsuelo separa el volátil del agua, para posteriormente ser captado por un pozo. Mediante otro pozo, se extrae agua y producto (HC) líquido. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada a través de un separador de agua/producto. Posteriormente el agua pasa a un proceso de aereación, donde el volátil es separado y conducido hacia un filtro de carbón activado o bien a un oxidador catalítico.

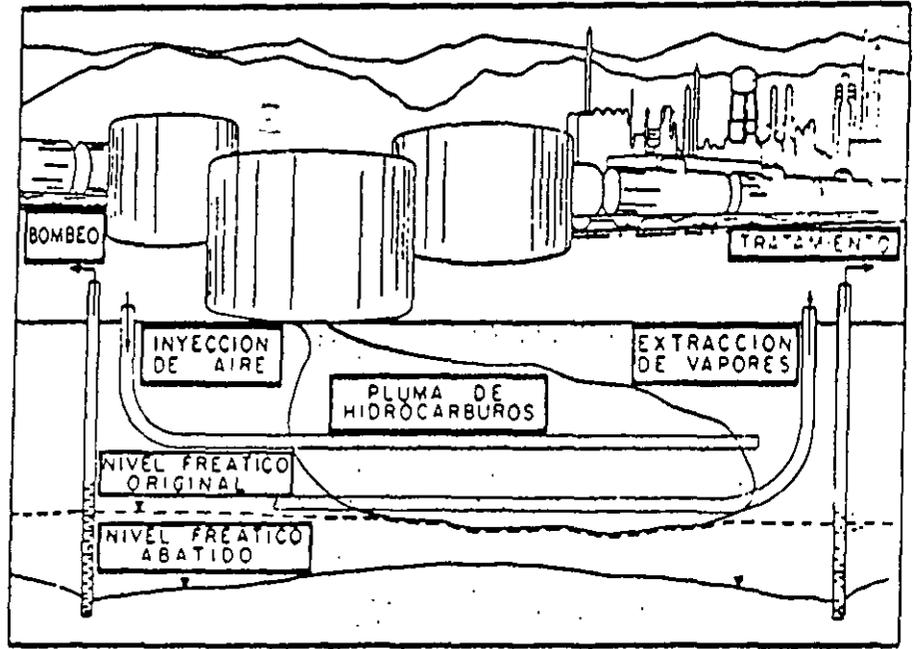


Figura 4. Saneamiento de hidrocarburos del suelo mediante pozos direccionales (De Engineering-Science, Inc.)

En la figura No. 6 se muestra un esquema del sistema SENECA para la extracción y tratamiento del producto líquido y volátil del subsuelo. En dicha figura se ilustran pozos de extracción, tanto de volátiles como de producto líquido. Por lo que respecta al

producto líquido, éste es extraído por un sistema múltiple de pozos y conducido a un tanque. Posteriormente pasa por un tanque de separación agua/producto. El agua obtenida es conducida a través de un desgasificador, en el que, por medio de un soplador, se produce un burbujeo que permite la separación del volátil del agua.

CONCLUSIONES

El HC en el subsuelo y acuífero puede encontrarse en forma líquida, volátil o disuelta en agua. El saneamiento puede consistir en la extracción del HC (líquido o volátil), la cual puede realizarse a través de pozos. La biodegradación *in situ* es un método eficaz para la remoción de HC hasta niveles bajos, tanto en suelo como en el acuífero. Los principios en que se basa el saneamiento es aplicado en forma comercial por un gran número de compañías productoras de equipo.

REFERENCIAS

CHAPELLE, F. 1993. *Ground-Water Microbiology and Geochemistry*. John Wiley and Sons, Inc.

FETTER, W. C., 1993. *Contaminant Hidrology*. Macmillan Publishing Company.

HINCHEE, R. E. et al., 1981. *Enhanced Bioreclamation, Soil Venting and Ground Water Extraction*. NWWA/API

Conference on Petroleum Hydrocarbons
KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1991. *Hydrocarbon Contaminated Soils and Ground-water*, Lewis Publishers.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1992. *Contaminated Soils, Diesel Fuel Contamination*. Lewis Publishers.

LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. *Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments*. C. K. Sholey, Inc.

NYER, E. K. 1993. *Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation* Lewis Publishers.

NIELSEN, D. M. 1991. *Practical Handbook of Ground-Water Monitoring* Water Well Association.

RISER-ROBERTS, E. 1992. *Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites*, C. K. Smoley, Inc.

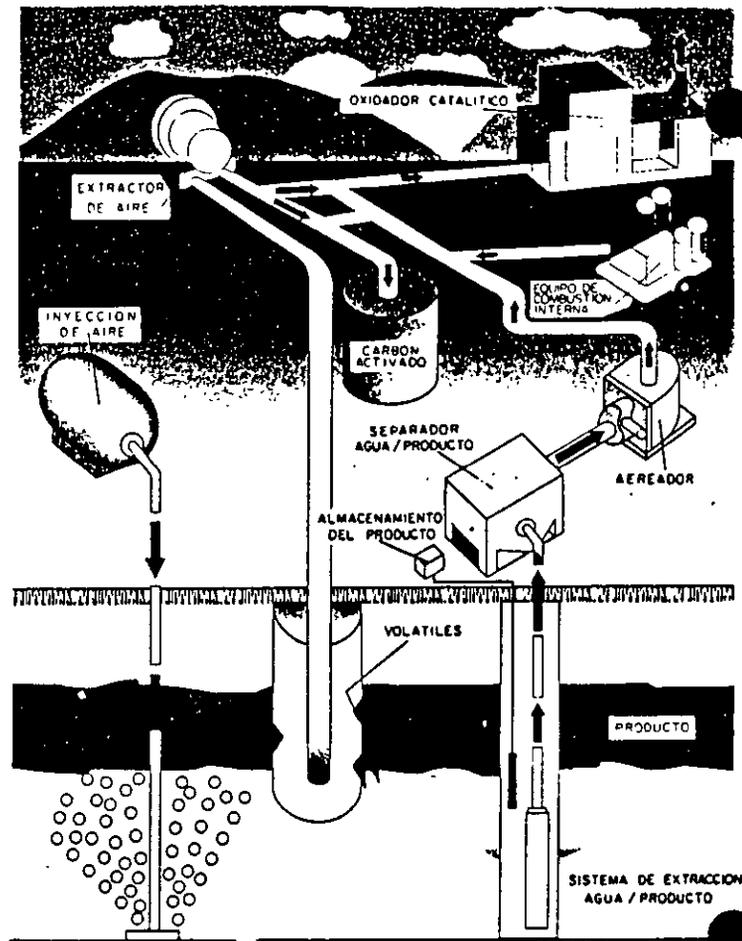


Figura 5.
Sistema Enviromental Instruments para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátil.

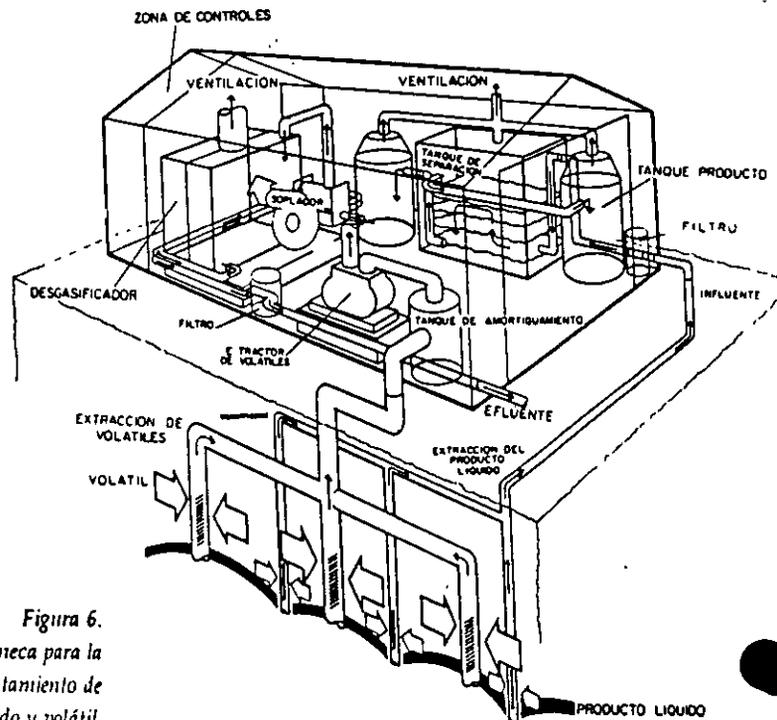


Figura 6.
Sistema Seneca para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátil.

FUENTE: EMPRESA AMBIENTAL, SERVICIOS CATALO

Saneamiento de Acuíferos Contaminados por Hidrocarburos

Por: Juan Manuel Lesser Illades
Administrador
Leeser y Asociados, S.A. de C.V

Resumen

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en 4 formas: líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático o estático; volátil en la zona no saturada; disuelto en agua y, líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por el material del medio o sedimentado en la base del acuífero. Los métodos apropiados para el saneamiento del subsuelo contaminado por HC, dependen de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo. El saneamiento del subsuelo puede iniciarse con la extracción del HC líquido y el volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo por explosividad. Como segundo paso se puede considerar la limpieza del suelo y acuífero contaminados, los cuales tienen una mayor complejidad.

Para la extracción inicial de los productos líquido y volátil, el diseño y operación es "relativamente" sencillo. La remediación o saneamiento total del suelo y acuífero incluye técnicas complejas, de alto costo y largo tiempo de ejecución. Existen diversos métodos, destacando entre ellos la extracción del contaminante y la biodegradación. La extracción por bombeo del producto líquido es común, el cual se extrae junto con agua del acuífero; una vez en la superficie el producto es almacenado en tanques y el agua extraída es tratada a fin de eliminar los compuestos volátiles que contenga.

Los componentes volátiles pueden extraerse a través de pozos y, una vez en la superficie, pueden ser incorporados a la atmósfera, incinerados o capturados mediante filtros de carbón activado.

Introducción

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en varias formas tales como: (1) líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático o estático; (2) volátiles en la zona no saturada; (3) disuelto en agua y, (4) líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por las partículas del suelo o sedimentado en la base del acuífero. Una vez conocida su presencia en el subsuelo, (en extensión, concentración, tipo de hidrocarburos y forma en que se encuentra), junto con el conocimiento de la geología y geohidrología del lugar, se pueden establecer las políticas de saneamiento.

El o los métodos más apropiados para el saneamiento de un subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la forma en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo.

Se puede dividir el saneamiento en 2 partes. La primera considera la extracción inicial del HC líquido y volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo. La segunda parte se puede denominar la "limpieza total", del suelo y acuífero, la cual incluye técnicas completas de alto costo y largo tiempo de ejecución.

Métodos de Saneamiento

Los principales métodos para el saneamiento del subsuelo y acuífero por hidrocarburos son: (1) extracción del HC líquido y volátil; (2) biodegradación in situ.

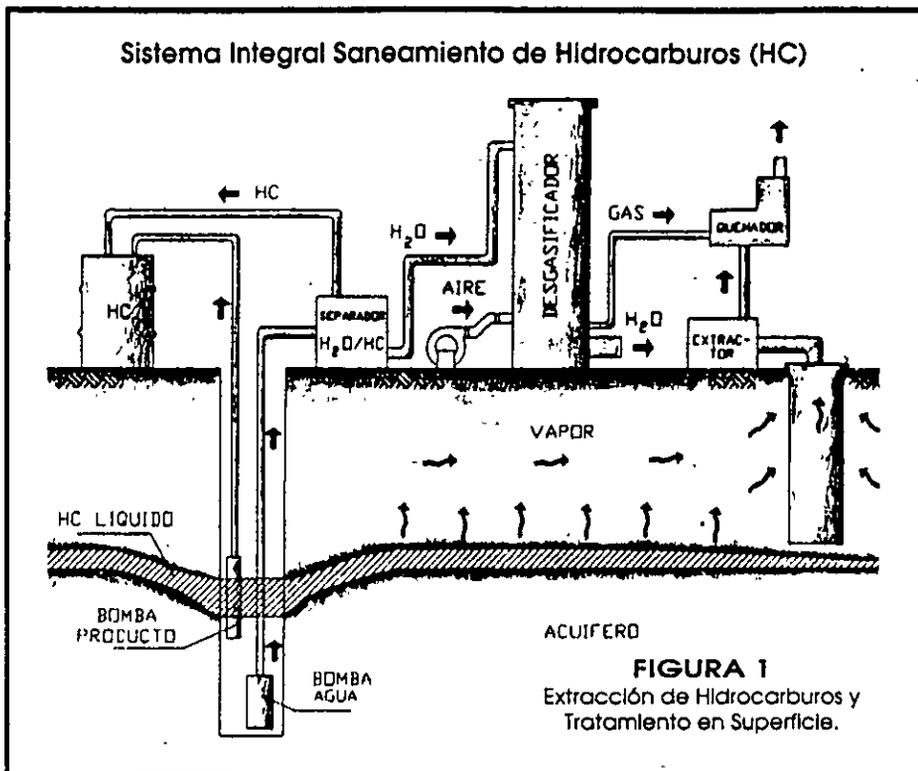
Extracción de HC líquido y volátil

Una vez delimitada la zona invadida por HC y cuantificada su concentración, se procede a extraerlo. El producto líquido es bombeado a través de pozos. Este, puede ser extraído junto con el agua del acuífero y una vez en la superficie, es separado. En otros casos, el HC líquido que se encuentra en una capa flotando sobre el agua, de donde puede ser extraído mediante bombas especiales. Para formarse un cono de abatimiento, cuya pendiente facilita el movimiento de la capa de HC que flota sobre el nivel estático, hacia el pozo. El HC y agua extraídos son procesados en la superficie. (Figura 1)

La extracción de volátiles se puede realizar a través de pozos ubicados en la zona no saturada, donde se colocan extractores de aire. Pueden perforarse pozos para inyección de aire, que "empujen al volátil hacia su salida. La remoción de volátiles al inicio de la extracción es alta y va disminuyendo con el tiempo.

Biodegradación INSITU

Un método para el saneamiento de zonas afectadas por hidrocarburos es la biodegradación. Consiste en utilizar las bacterias que existen en todo suelo y que se alimentan de HC y oxígeno, formando bióxido de carbono y agua. Para acelerar este proceso, se pueden añadir nutrientes que aceleren la acción bacteriana, principalmente oxígeno, el cual se inyecta como gas o mediante agua. Debido al proceso de biodegradación mencionado, una zona invadida por hidrocarburos se caracteriza también por ausencia de oxígeno y abundancia de bióxido de carbono, parámetros que pueden medirse durante el saneamiento para determinar el grado de limpieza alcanzado.



Equipos usuales para el saneamiento

Con el objeto de ilustrar tanto la forma en que se encuentra el HC en el subsuelo, así como las técnicas más comunes para su extracción o saneamiento, a continuación se describen varios productos comunes en el mercado:

En la figura No. 2 se incluye el sistema de ORS Environmental Equipment, para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátiles. En esta figura, se observa la presencia de un acuífero somero que es contaminado por fugas de un tanque de gasolina. El producto líquido se encuentra flotando sobre el nivel freático. También existen volátiles entre la superficie del terreno y el nivel freático. La extracción del hidrocarburo líquido se realiza mediante un sistema de bombas para la extracción, tanto del producto (HC líquido) como del agua. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada por una torre desgasificadora. El gas obtenido es tratado por oxidación catalítica o incinerado. En la misma figura, se ilustra la inyección de agua y nutrientes al subsuelo, lo que provoca biodegradación, además de "empujar" al producto hacia el pozo.

Cuenta también con un sistema de extracción de volátiles, los que son conducidos a la planta de tratamiento de gases.

En la figura No. 3 se muestra un esquema del sistema SENECA para la extracción y tratamiento del producto líquido y volátil del subsuelo. En dicha figura se ilustran pozos de extracción, tanto de volátiles como de producto líquido. Por lo que respecta al producto líquido, este es extraído por un sistema múltiple de pozos y conducido a un tanque. Posteriormente pasa por un tanque de separación agua/producto. El agua obtenida es conducida a través de un desgasificador, en el que, por medio de un soplador, se produce un burbujeo que permite la separación del volátil del agua.

Conclusiones

El HC en el subsuelo y acuífero puede encontrarse en forma líquida, volátil o disuelta en agua. El saneamiento puede consistir en la extracción del HC (líquido o volátil), la cual puede realizarse a través de pozos.

actualidades ambientales

Continúa el debate de la gasolina que se quema limpiamente

Los críticos de una gasolina que se queme más limpiamente utilizada para reducir la contaminación del aire sostuvieron una conferencia, acerca de si un aditivo en la gasolina está provocando que la gente se enferme. Un toxicólogo italiano, Cesare Maltoni, discutió un estudio que utilizó ratones, y dijo que mostraba que el MTBE era un carcinógeno importante. Maltoni reconoció que las pruebas involucraron la inyección de dosis extremadamente altas durante períodos prolongados de tiempo. Robert Tardiff, un consultor de ciencias de la salud para la industria de los combustibles oxigenados, dijo que el estudio no era relevante para la gente que llenaba sus tanques de gasolina donde la exposición es de 250,000 a 8 millones de veces menor, que lo de las pruebas con animales. La EPA emitió un comunicado diciendo que el MTBE ha sido probado ampliamente, y como reduce muchos contaminantes del aire de las emisiones de los escapes que ponen en peligro la salud, contiene beneficios ambientales considerables. Contacte a la EPA, (202) 260-4378.

Actualidades Ambientales: Tomado de Environmental News Briefing Fuente: Environmental News Network Inc.



La biodegradación in situ es un método eficaz para la remoción de HC hasta niveles bajos, tanto en suelo como en el acuífero. Los principios en que se basa el saneamiento es aplicado en forma comercial por un gran número de compañías productoras de equipo.

Referencias

CALABRESE, E. J. AND P.T. KOSTECKI. 1989. Petroleum Contaminated Soils Volume 2. Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assessment Analytical Methodologies. Lewis Publishers, Inc. 515 p

CANTER L.W. AND R.C. KNOX. 1985. Ground Water Pollution Control. Lewis Publishers Inc 526

HAYES, D., E. C. HERNRY AND S. M. TESTA. 1989. A Practical Approach to Shallow Petroleum Hydrocarbon Recovery.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1989. Petroleum Contaminated Soils Volume 1. Lewis Publishers 357 p.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1991. Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater. Lewis Publishers. 354p

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1992. Contaminated Soils Diesel Fuel Contamination. Lewis Publishers 227 p

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1990. Proyecto Experimental para Detección de Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas DDF-DGCOH

LESSER, J. M. 1991. Contaminación de Acuíferos por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. Curso sobre Tecnología de Punta en Contaminación de Acuíferos. Intera Lesser CFE

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1992. Detección de Zonas Contaminadas por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas DDF-DGCOH

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1993. Evaluación de Riesgos y Diagnóstico para el Saneamiento de la Colonia Moderna Oriente de Guadalajara. Jal CNA

LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments. C. K. Smoley, Inc. 395 p

NYER, E.K. 1993. Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers 214 p

RISER-ROBERTS, E. 1992. Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites. C. K. Smoley, Inc. 264 p

NWWA. 1991. Volatiles Organic Compound Cleanups. An Anthology

NWWA. 1991. Ground Water and Soil Venting

ROY F. WASTON, INC. 1988. Remedial Technologies for Leaking Underground Storage Tanks. Lewis Publishers 21a p

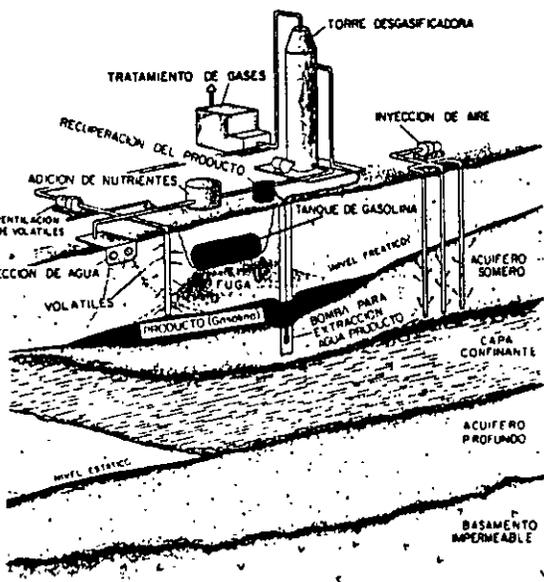


FIGURA 2

Sistema ORS/Environmental Equipment para extracción y tratamiento de producto líquido y volátil

DE ORS ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CATALOG

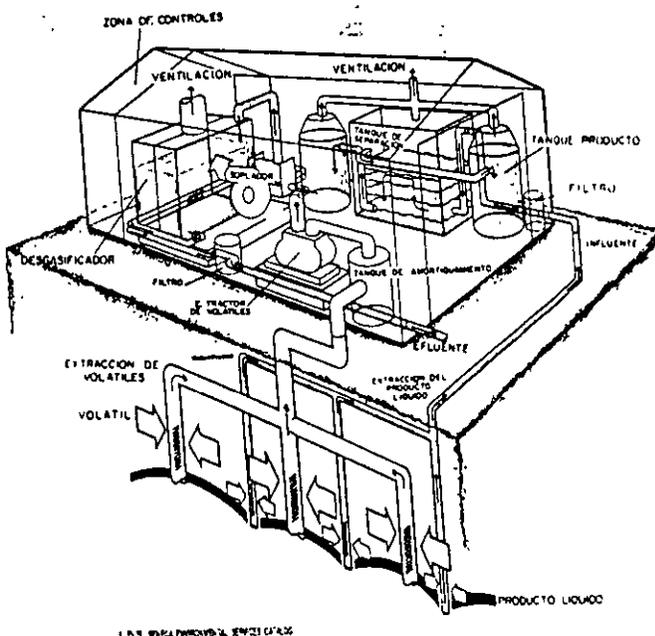
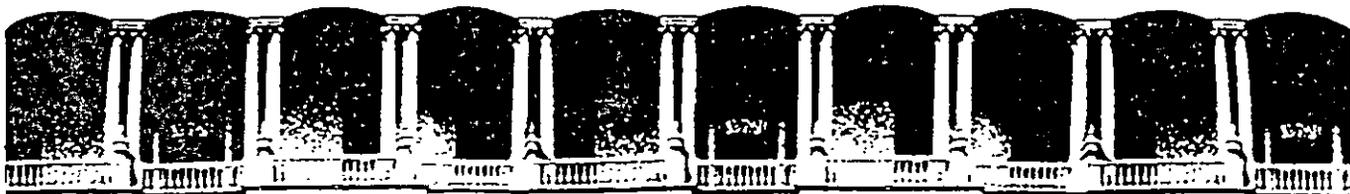


FIGURA 3

Sistema Serenca para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátil

DE SERENCA ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CATALOG



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

LA CONTAMINACIÓN

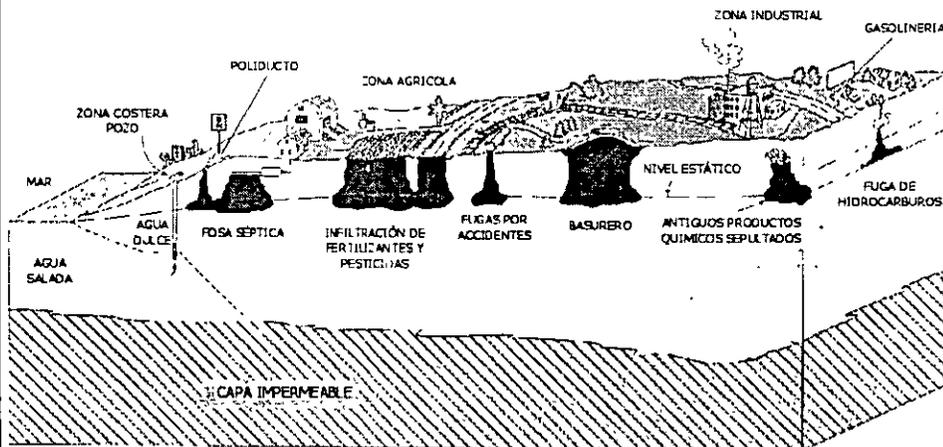
**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DEL 2002**

Segunda parte

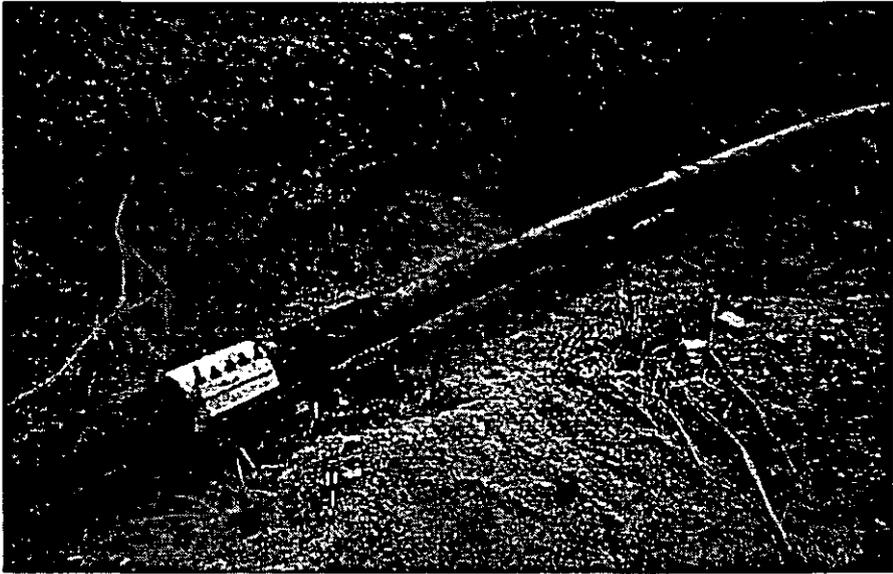
La contaminación

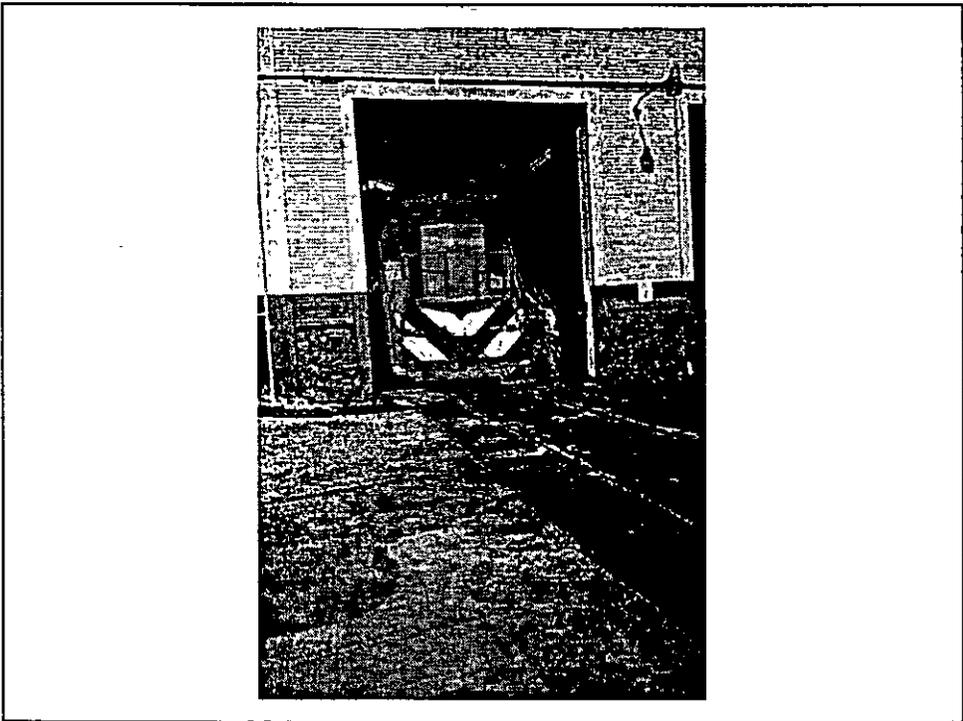
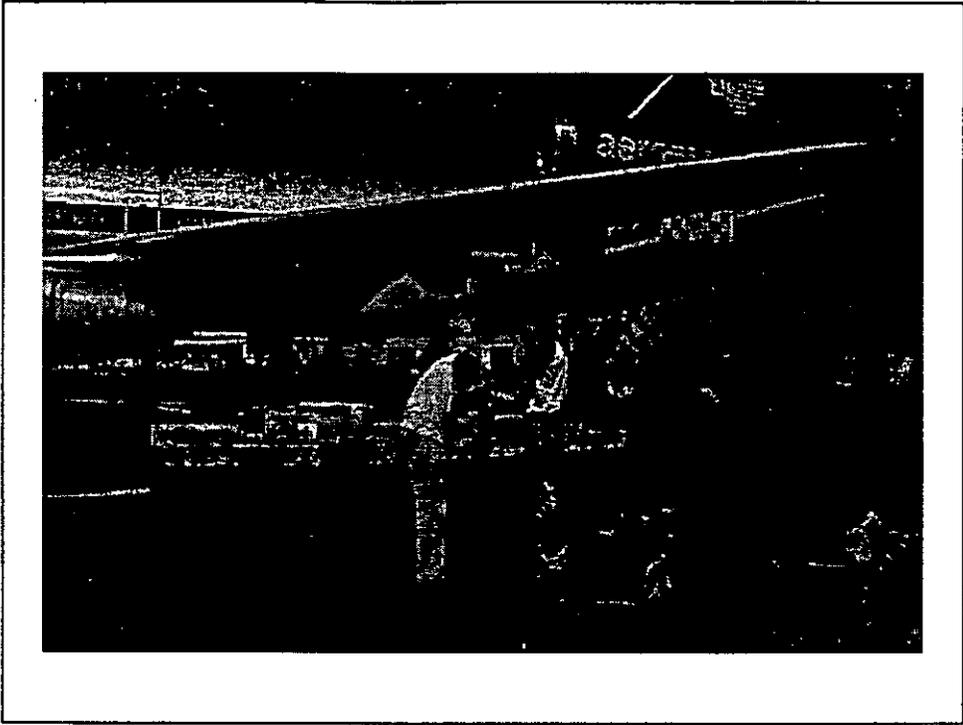
■ Por: Ing. Juan Manuel Lesser

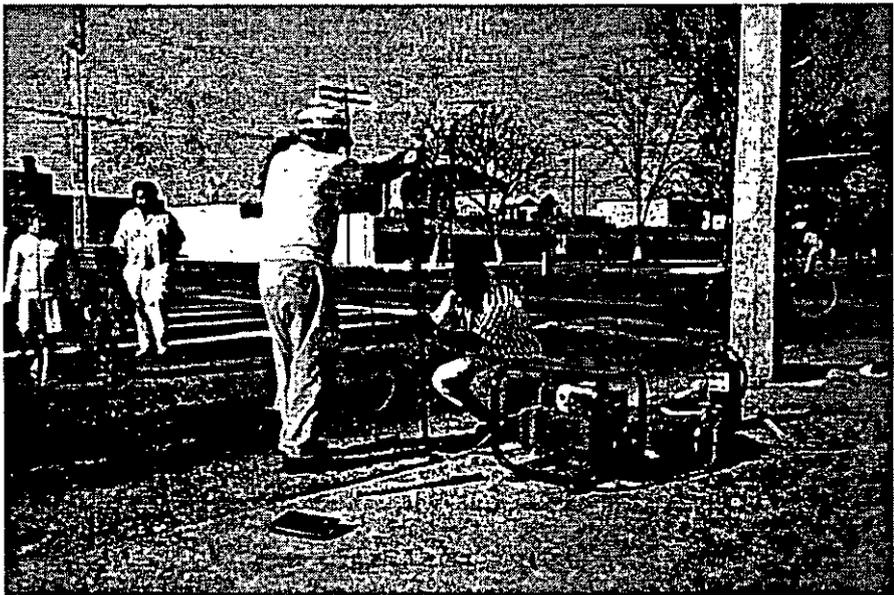
Fuentes comunes de contaminación

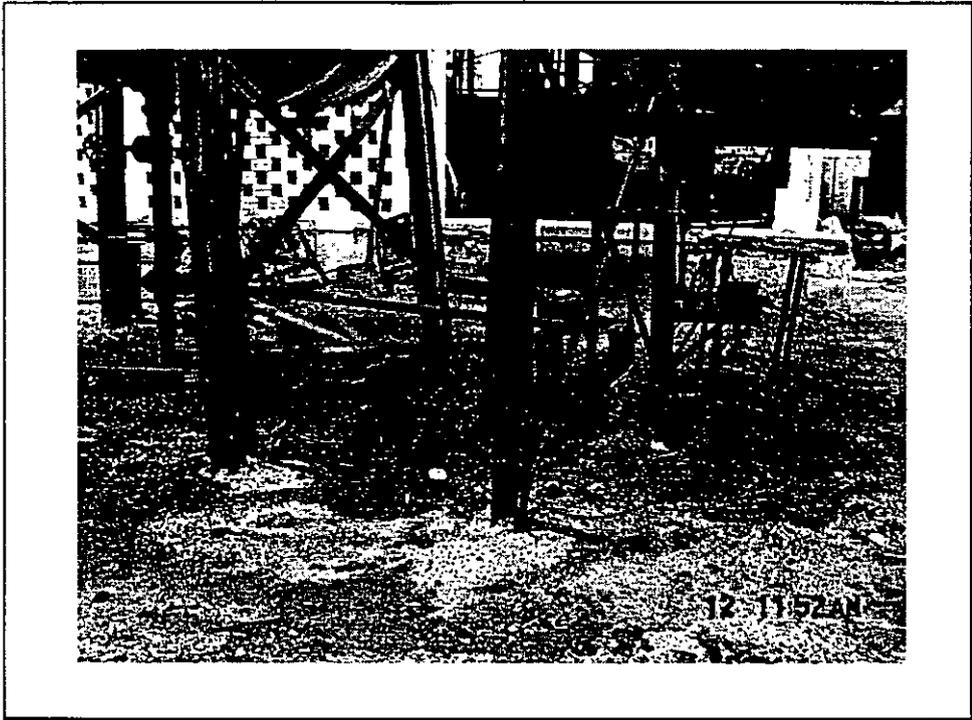


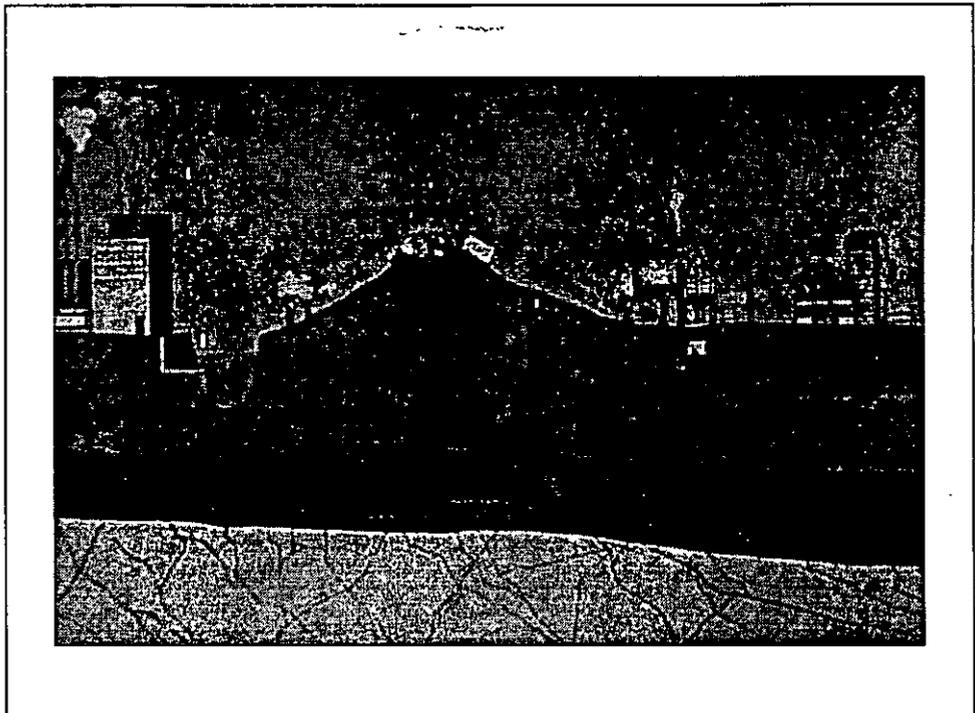
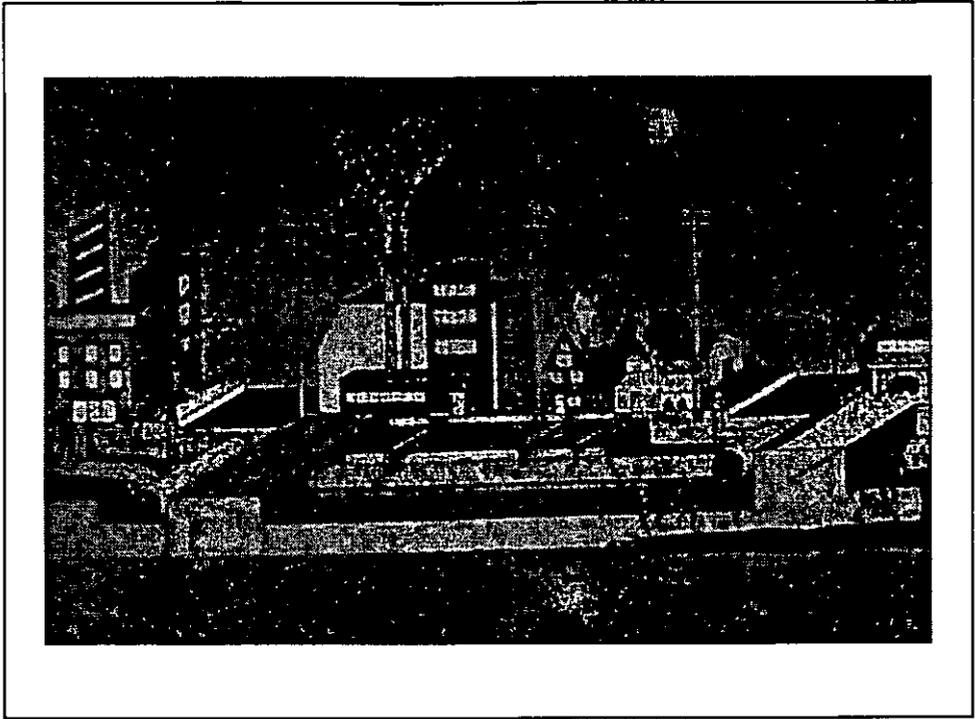
MODIFICADA DE: Fetter, 1993











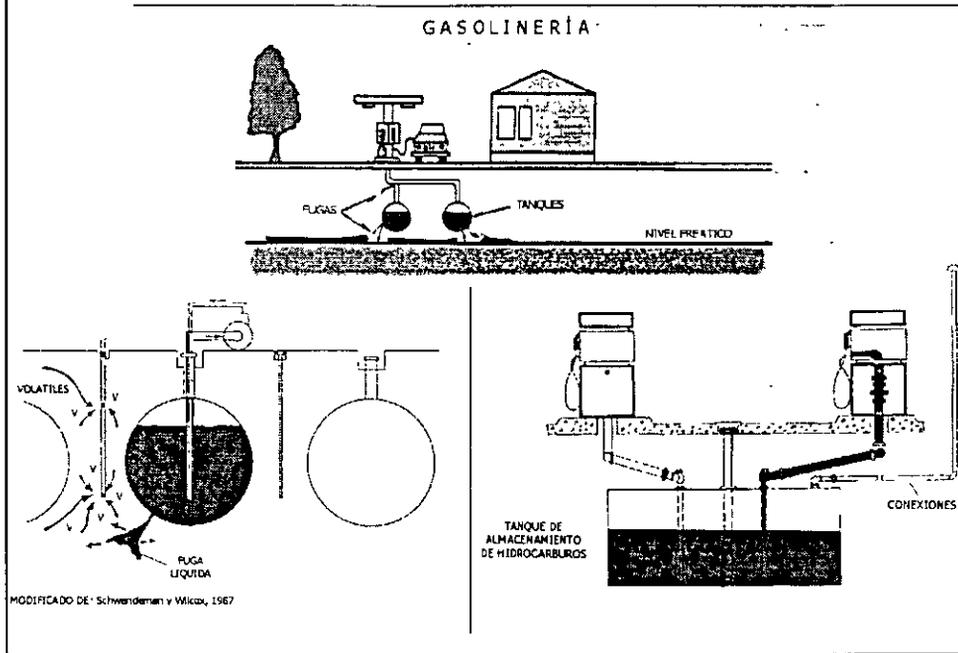


Hidrocarburos

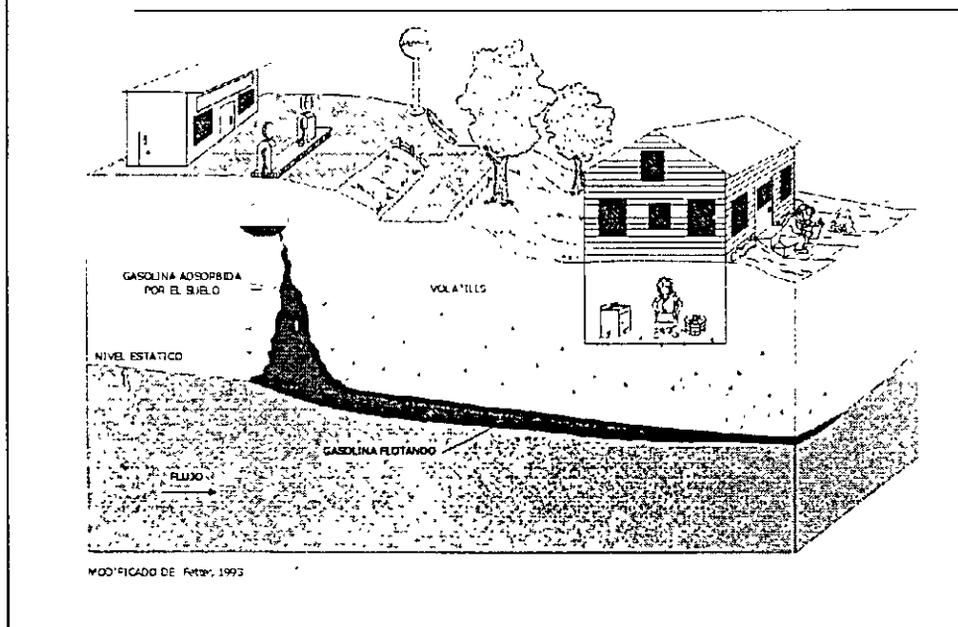
- Contaminación de acuíferos por hidrocarburos
- Detección de zonas contaminadas por hidrocarburos
- Análisis para identificación de hidrocarburos en agua y suelo
- Saneamiento de acuíferos contaminados por hidrocarburos
 - Remediación física
 - Remediación química
 - Biodegradación

• Por Ing. Juan Manuel Lesser

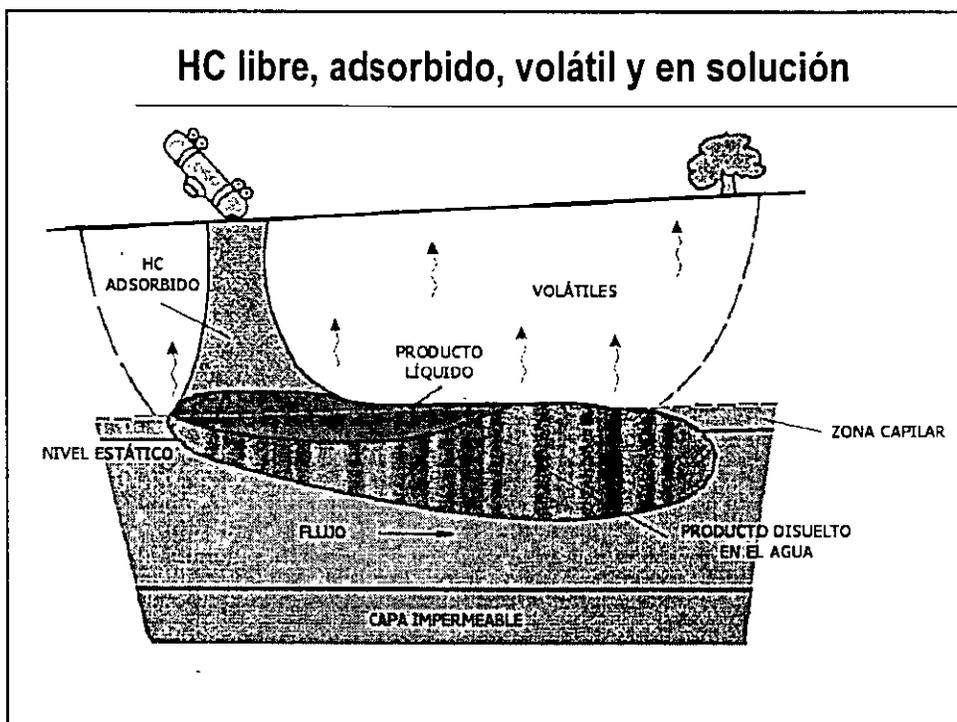
Fugas de tanques en gasolineras



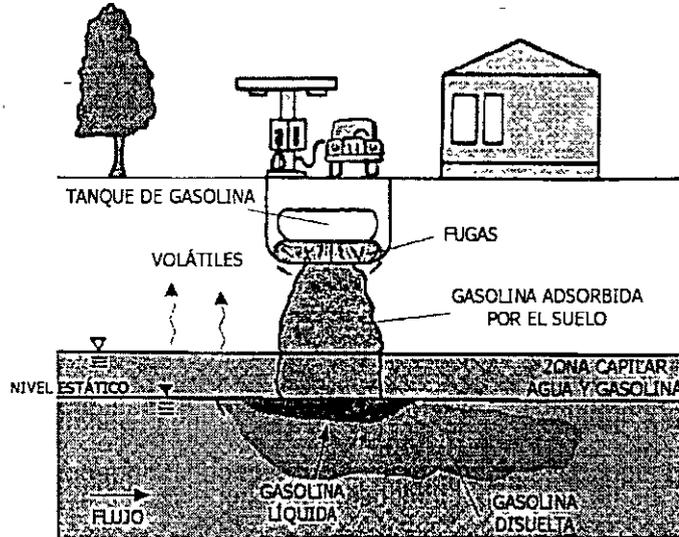
Fugas, fase libre y volátiles



- HIDROCARBUROS EN:
- fase libre
- volatil
- disuelto en agua
- adsorbido por el suelo



Contaminación de suelo y agua



Capacidad de adsorción, volatilización y solubilidad de los componentes más comunes de las gasolinas

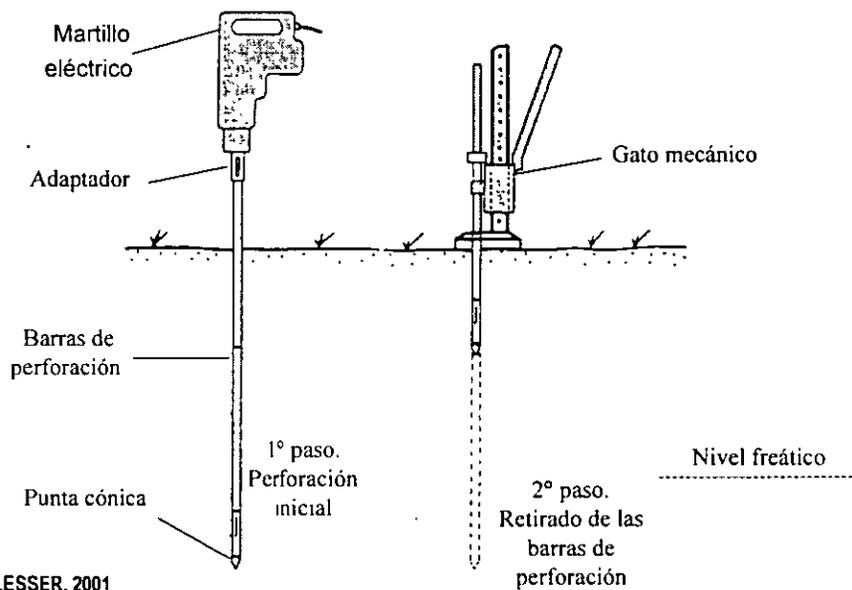
	CAPACIDAD DE		
	ADSORCIÓN POR EL SUELO (%)	VOLATILIZACIÓN (%)	SOLUBILIDAD (%)
Benceno	3	62	35
Etilbenceno	21	59	20
(n) Heptano	0.1	99.8	0.1
(n) Hexano	0.1	99.8	0.1
(n) Pentano	0.1	99.8	0.1
Benc (a)	100	0	0
Antraceno	100	0	0
Benc (a) Pireno	61	8	31
Naftaleno	88	2	10
Fenantreno	0.1	99.8	0.1
1 - pentano	9	0.01	91
Fenol	3	77	20
Tolueno	15	54	31
Xileno			

De Fleischer et al. 1966

■ Caracterización de suelo y agua subterránea

 LESSER, 2001

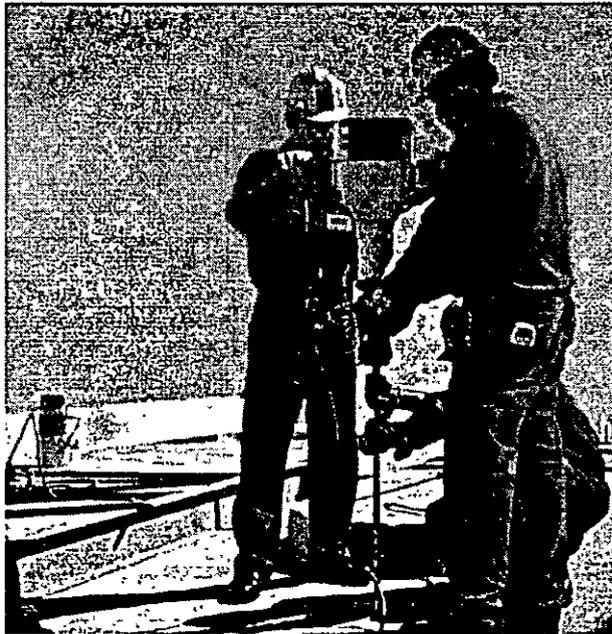
Perforación de pozos de medición



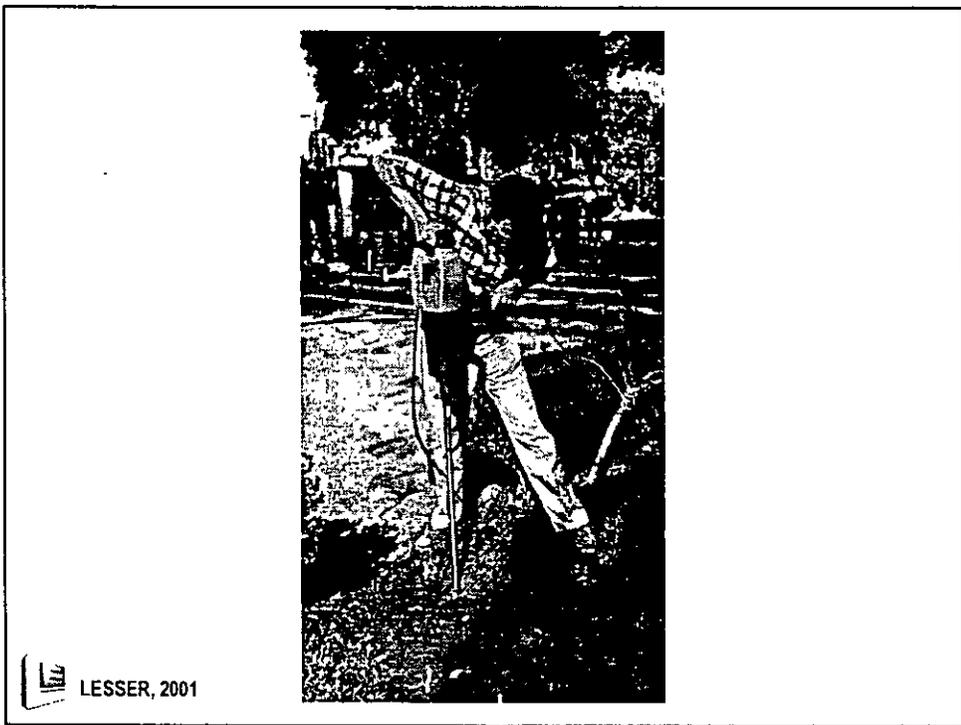
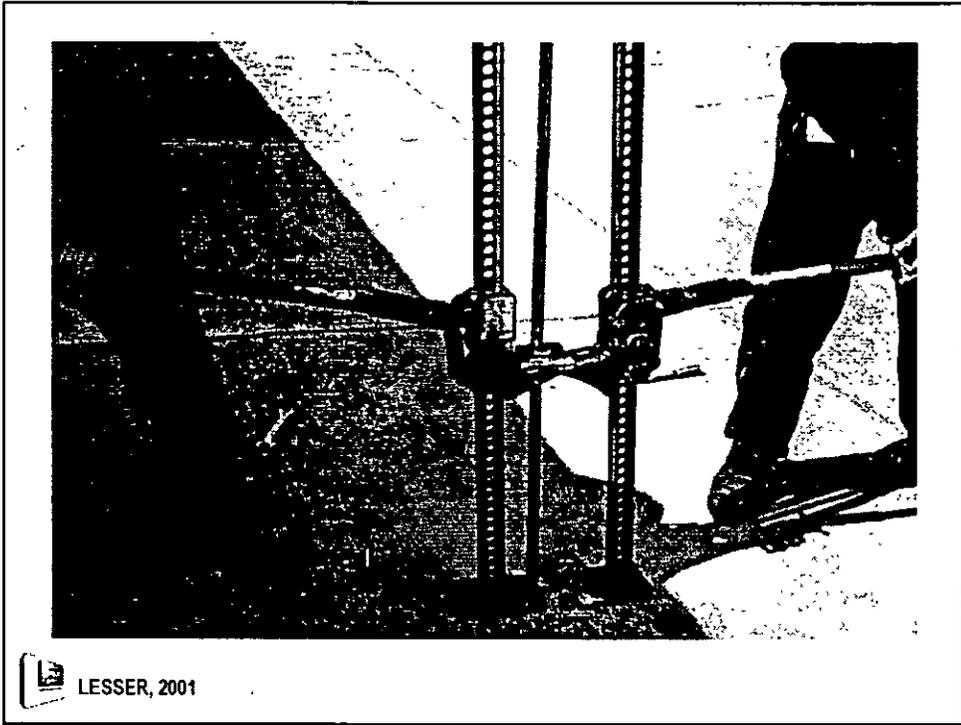
■ PERFORACION DE POZOS DE MEDICION



LESSER, 2001



LESSER, 2001

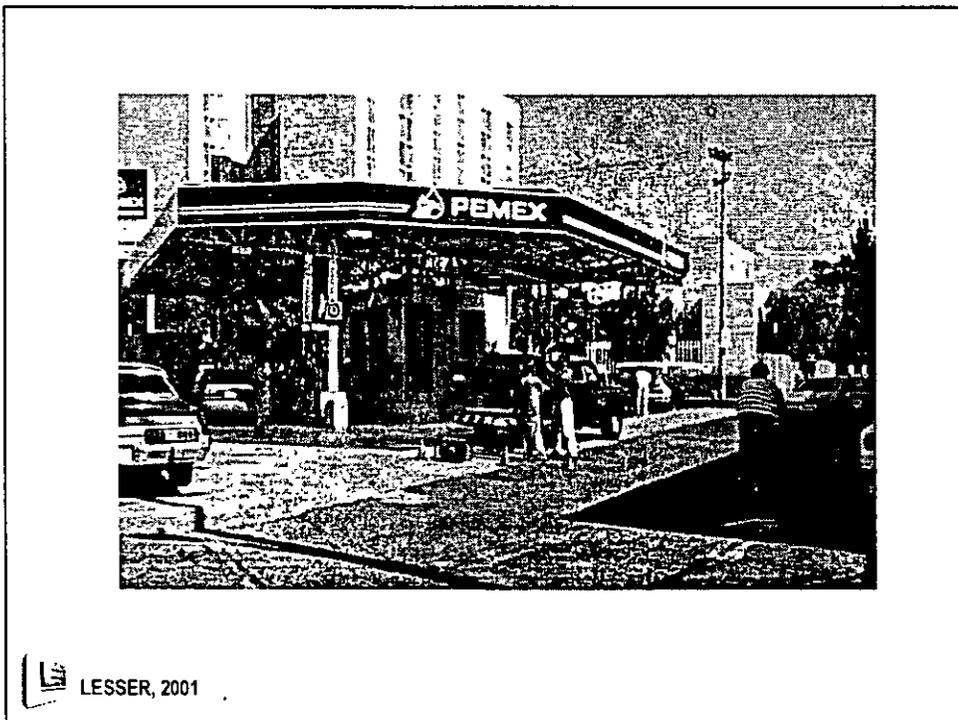
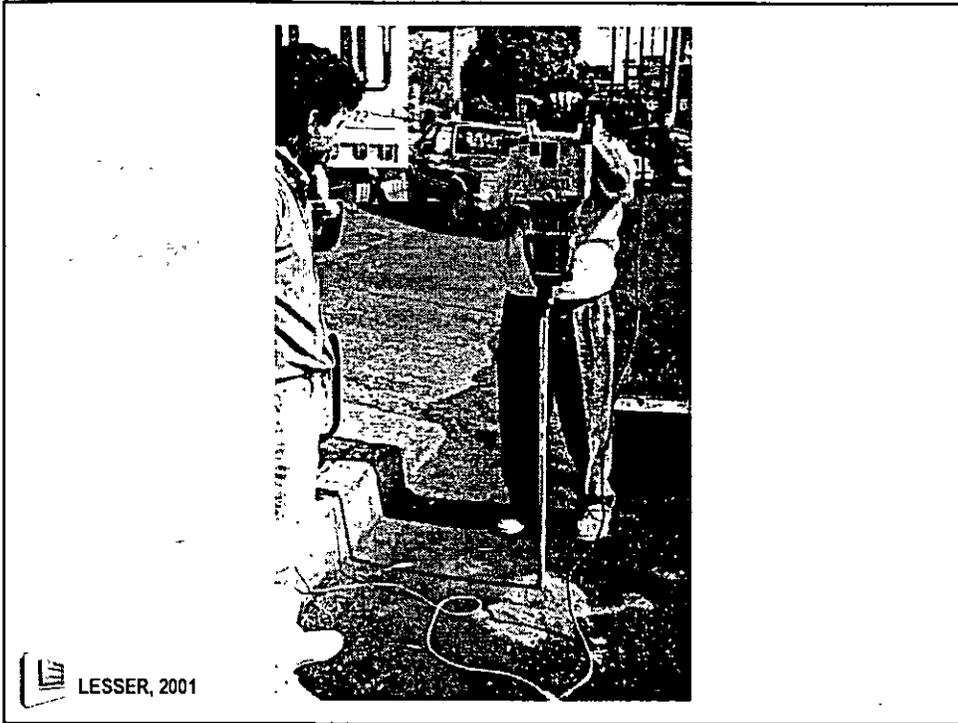




 LESSER, 2001



 LESSER, 2001





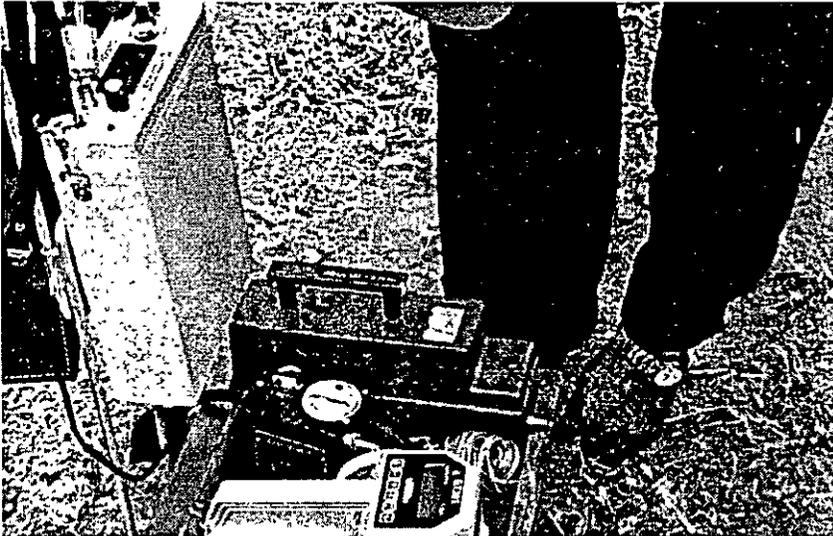
LESSER, 2001



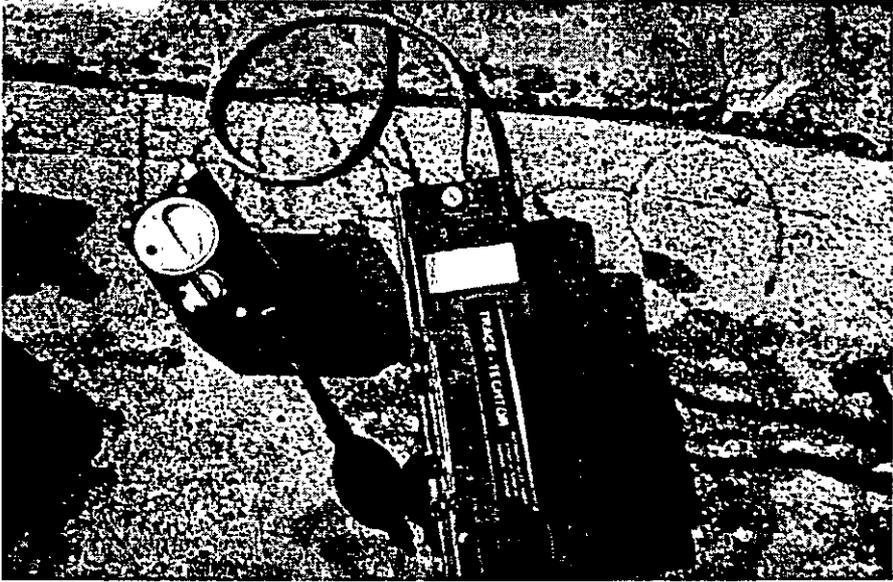
LESSER, 2001

■ MEDICION DE VOLATILES,
EXPLOSIVIDAD, NIVEL
ESTATICO Y ESPESOR DE
PRODUCTO LIBRE

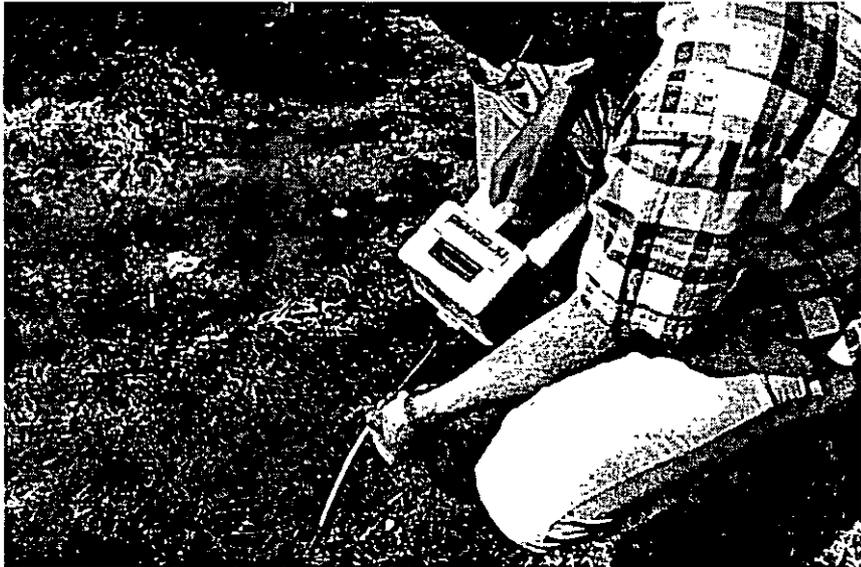
 LESSER, 2001



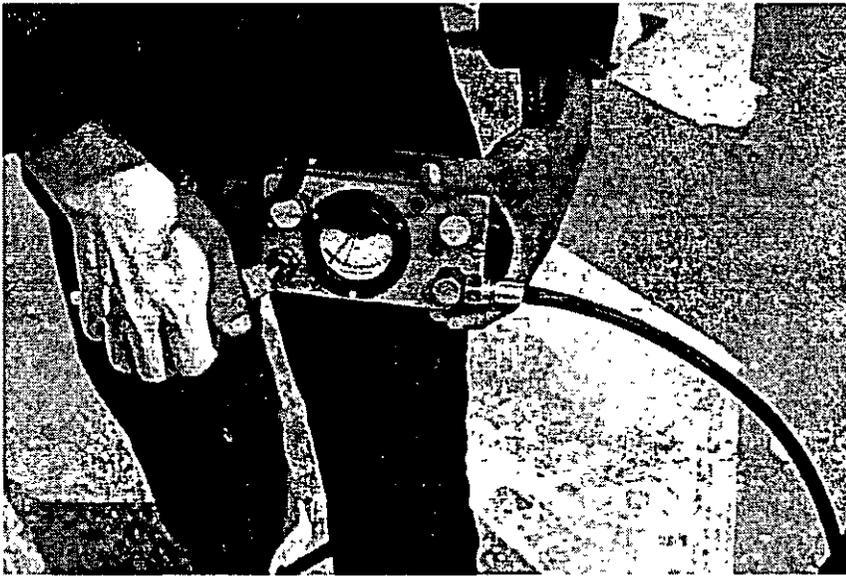
 LESSER, 2001



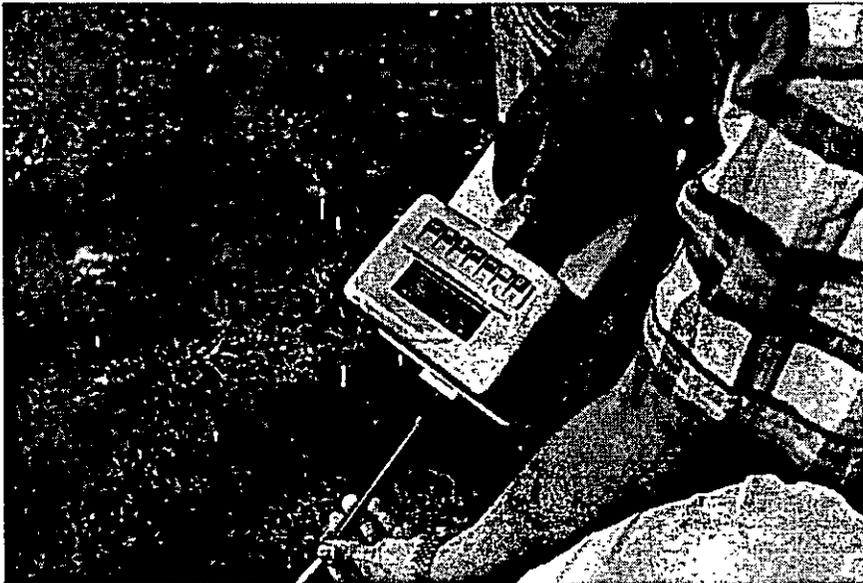
 LESSER, 2001



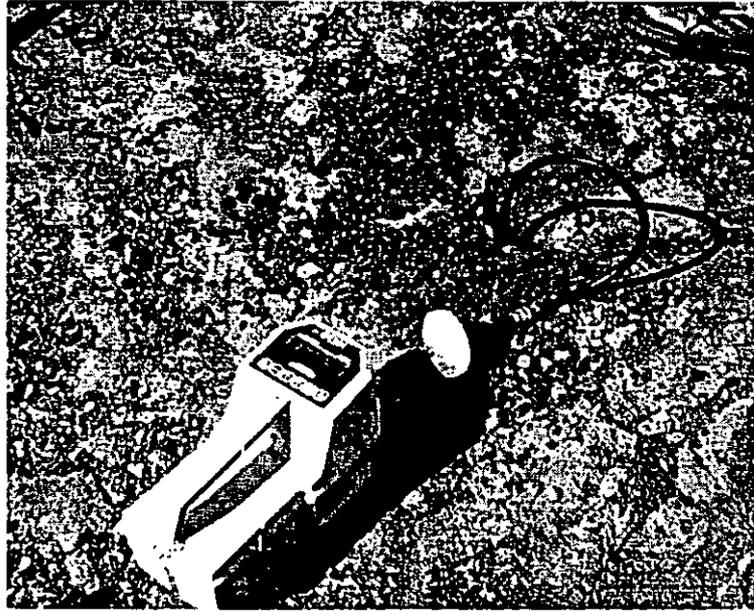
 LESSER, 2001



LESSER, 2001



LESSER, 2001



LESSER, 2001

RESPUESTA DE LOS MEDIDORES DE VOLÁTILES

EN GASOLINA

RESPUESTA FRANCA,
CLARA

EN DIESEL

RESPUESTA LENTA,
SE MUEVE EL
MARCADOR

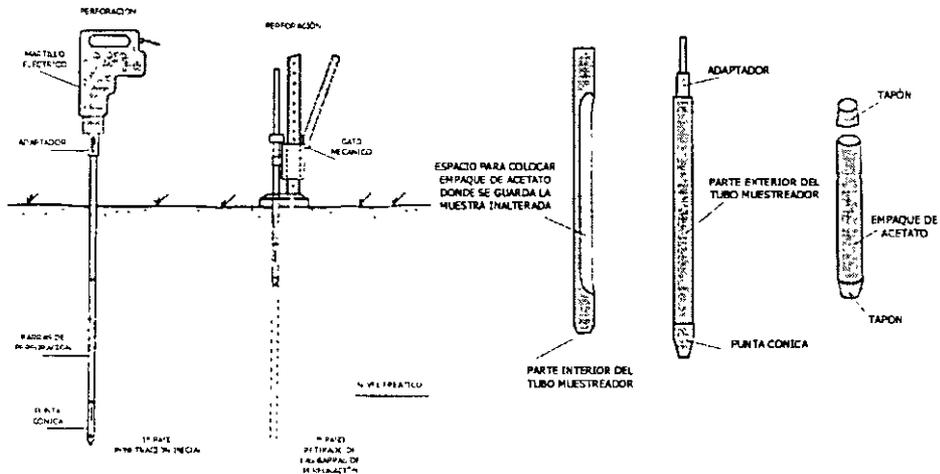


LESSER, 2001

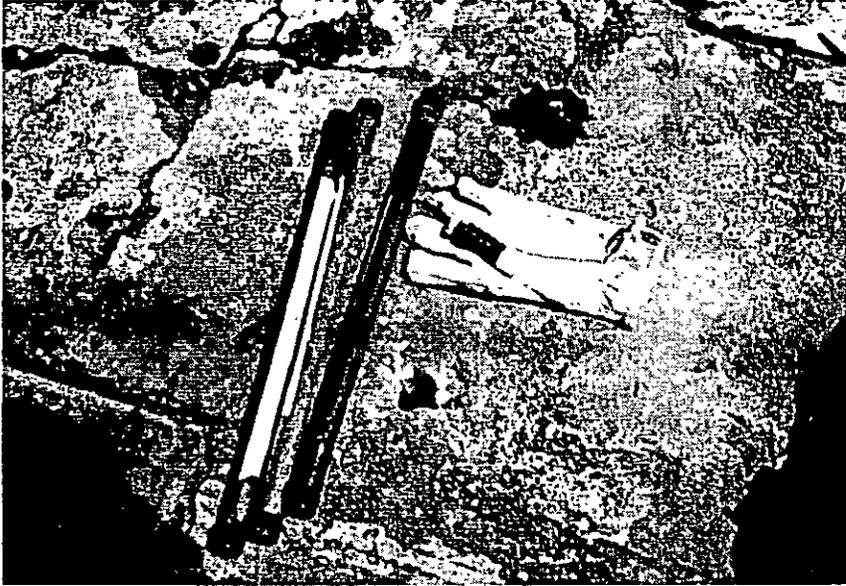
■ Muestreo de suelo inalterado

 LESSER, 2001

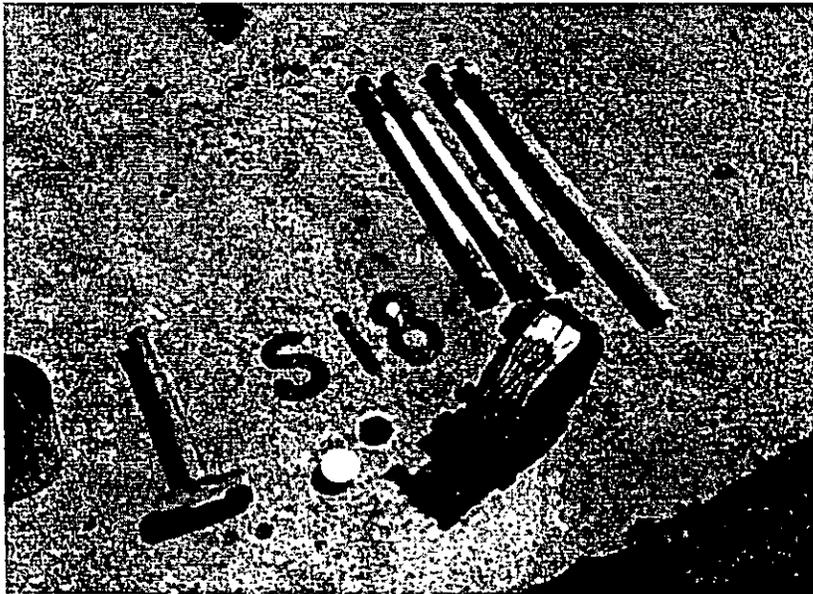
Muestreo de suelos



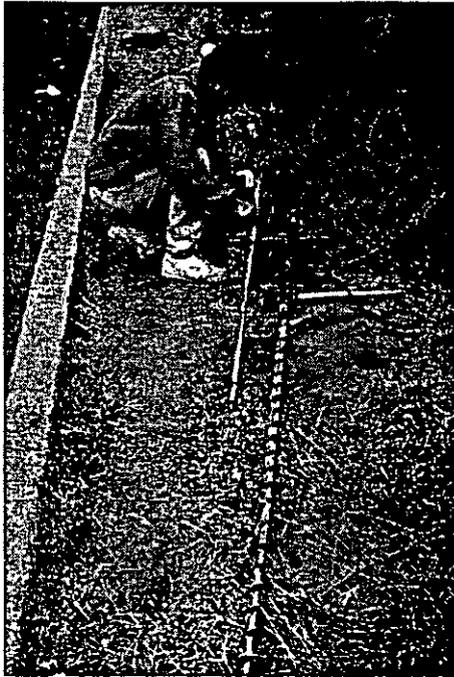
 LESSER, 2001



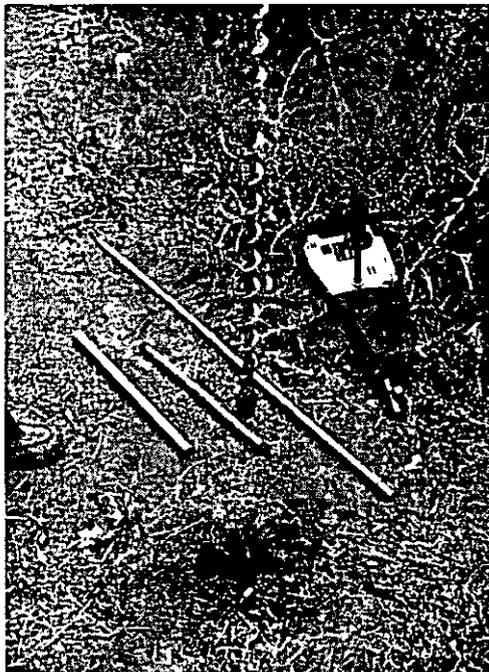
 LESSER, 2001



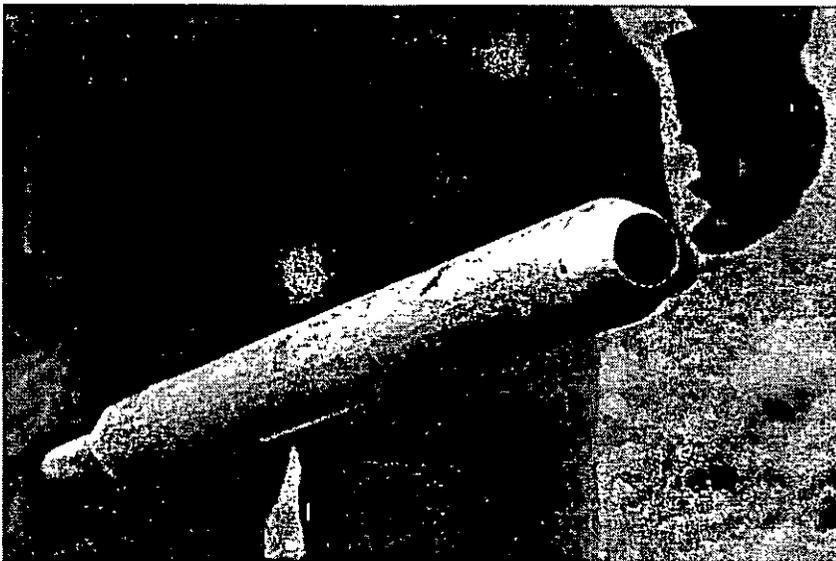
 LESSER, 2001



 LESSER, 2001



 LESSER, 2001



 LESSER, 2001

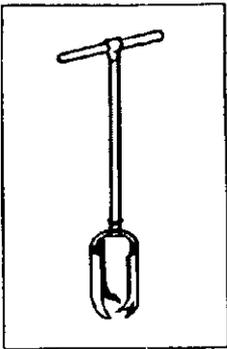


 LESSER, 2001

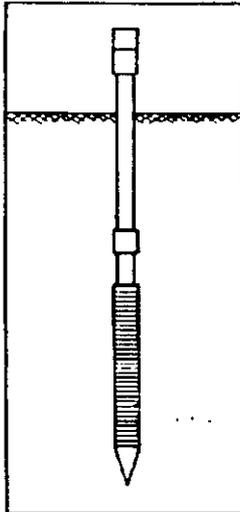


LESSER, 2001

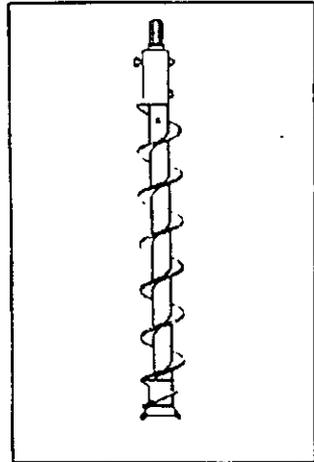
Muestreador manual



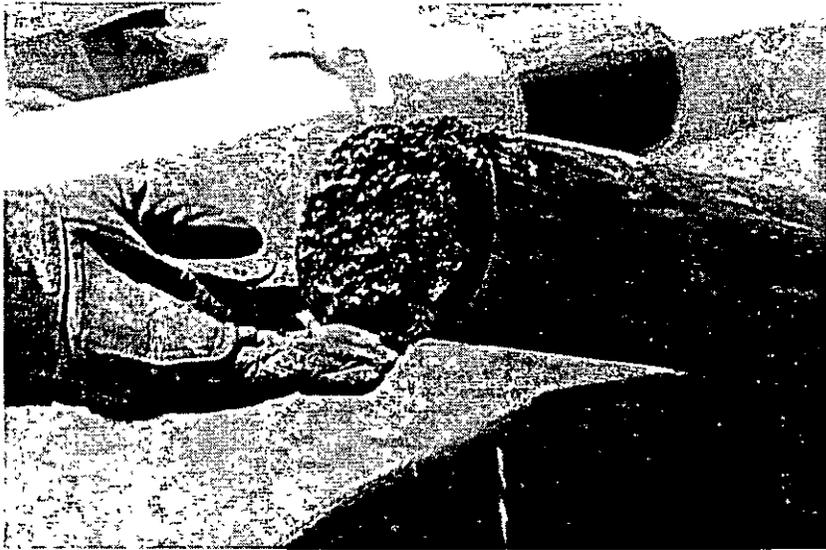
Muestreador mediante
incado de tubería



Muestreador de
máquina rotaria



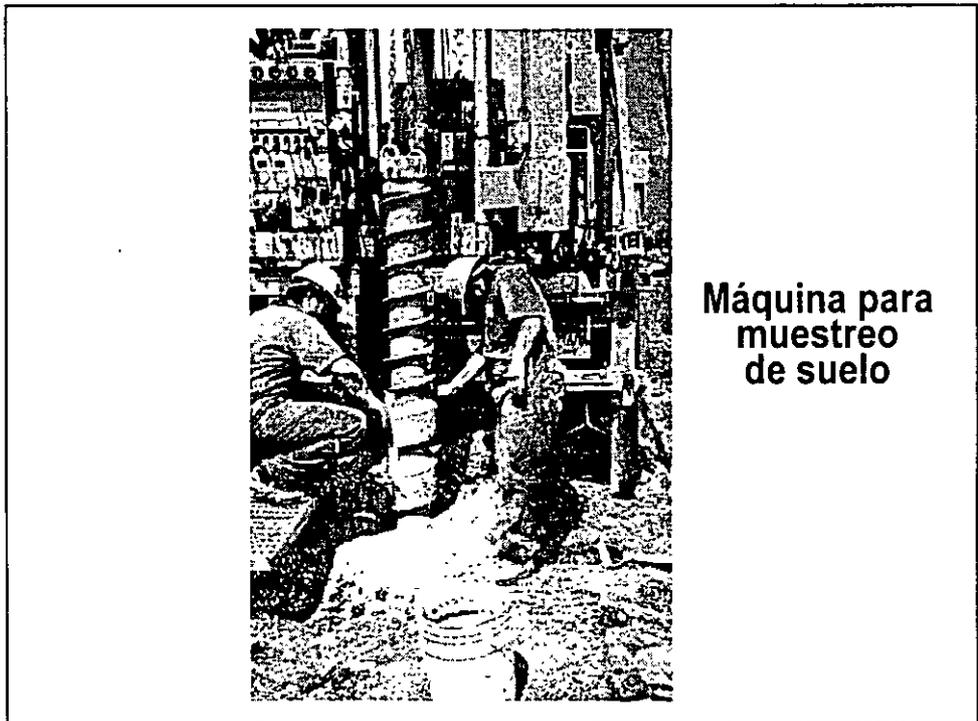
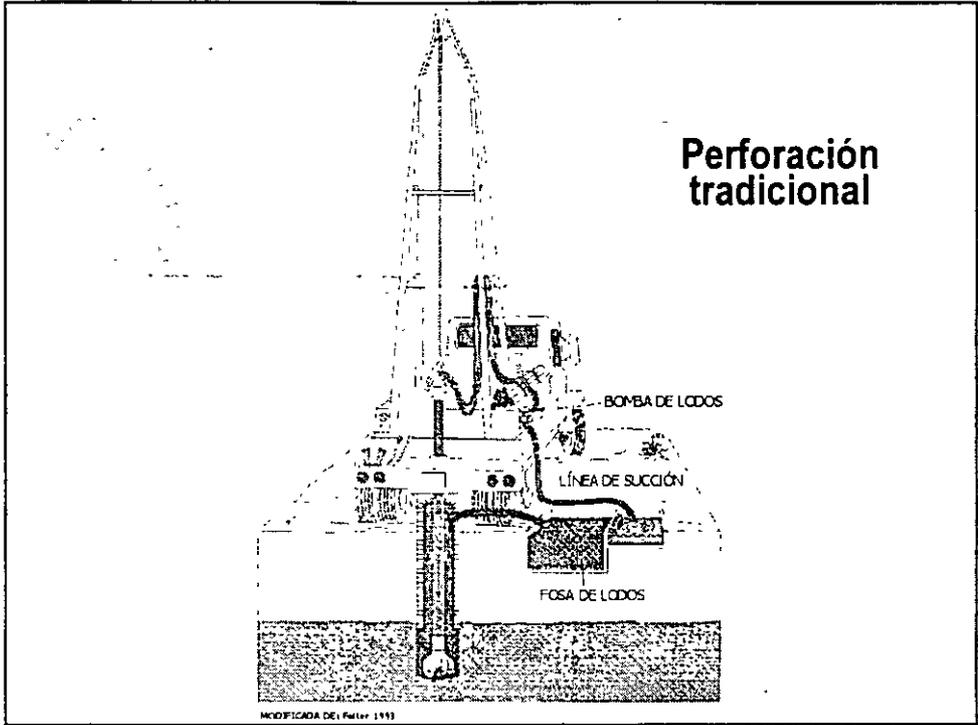
LESSER, 2001



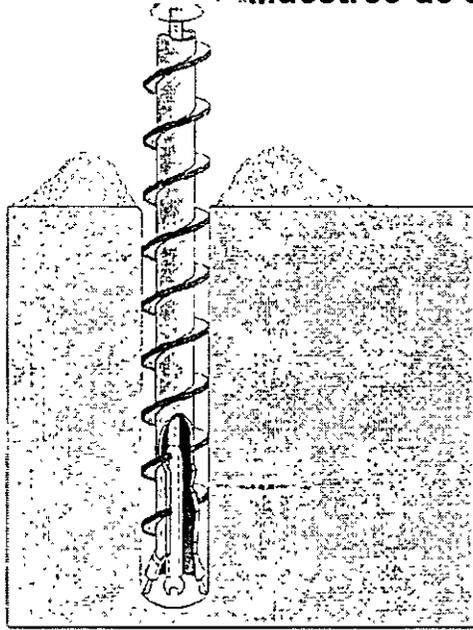
LESSER, 2001



LESSER, 2001

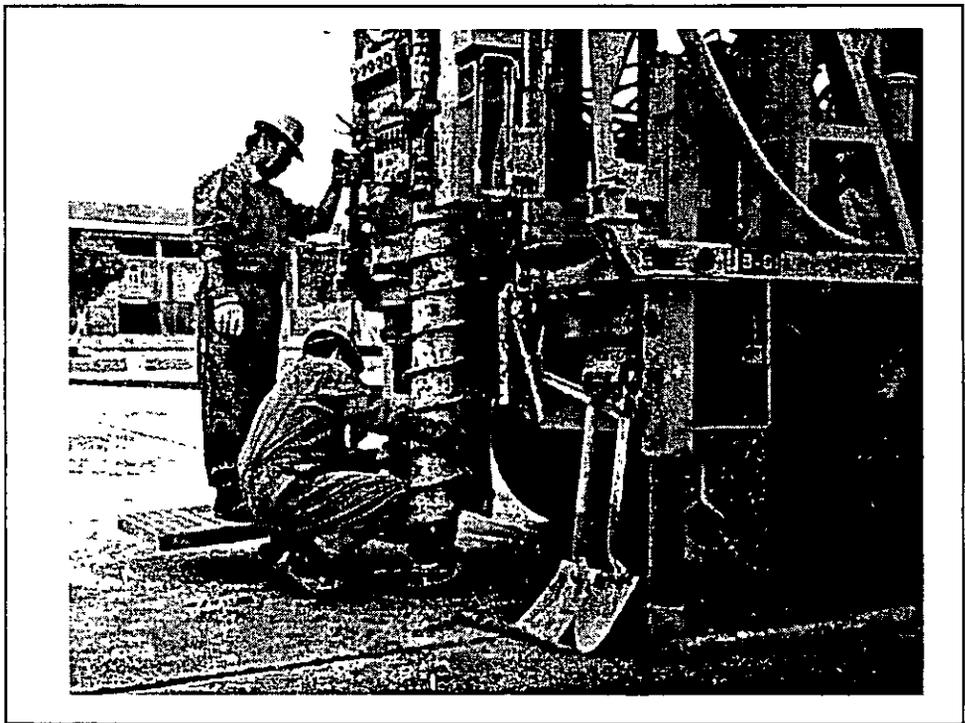
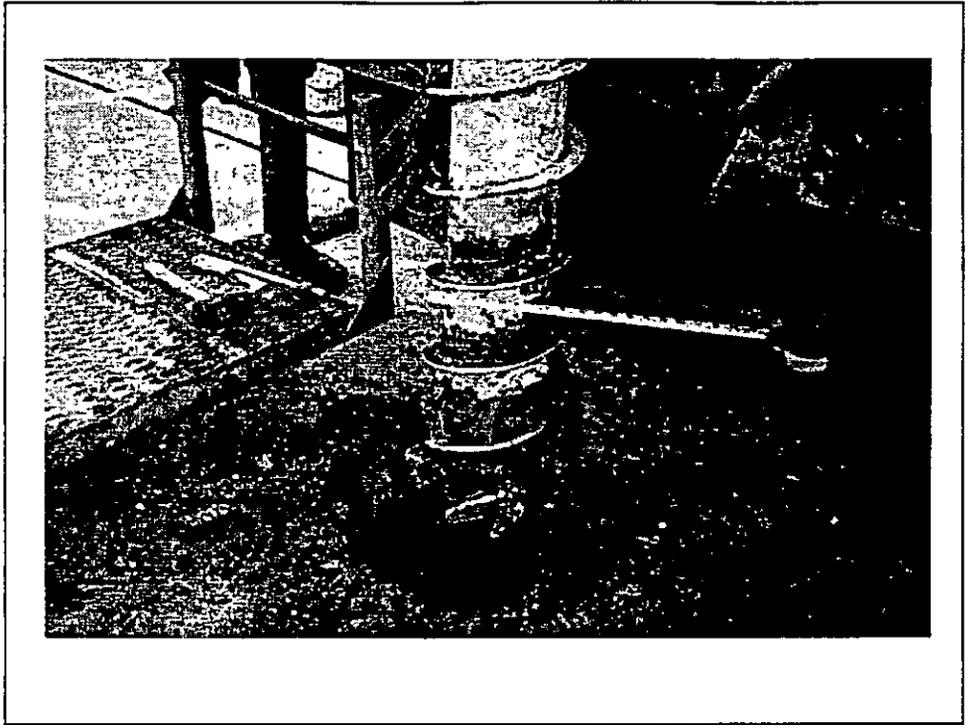


Muestreo de suelo con auger



MODIFICADA DE Fette, 1993

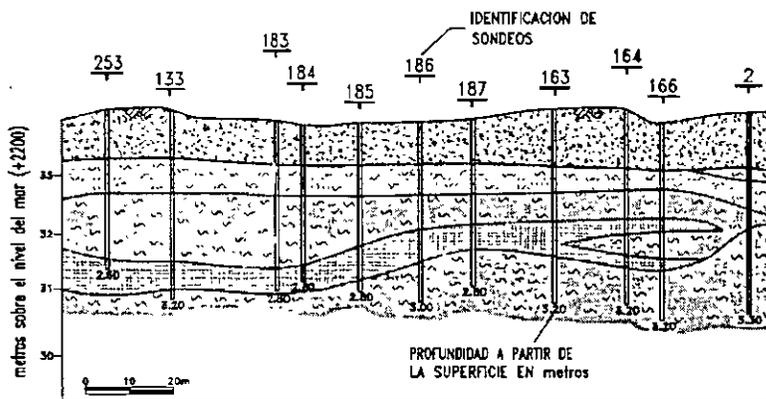




■ Construcción de secciones litológicas

LESSER, 2001

Sección litológica



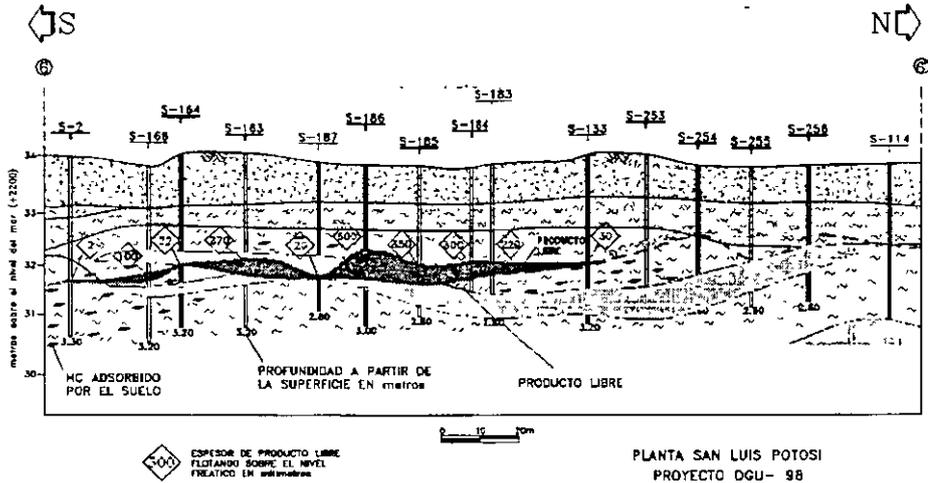
SIMBOLOGIA

	LOSA SUPERFICIAL DE CONCRETO Y/O ASFALTO		ARENA
	ARENA Y ARCILLA		ARCILLA

UBICACION: SECCION ESTE-OESTE AL CENTRO DEL PREDIO

LESSER Y SAVAL, 2000

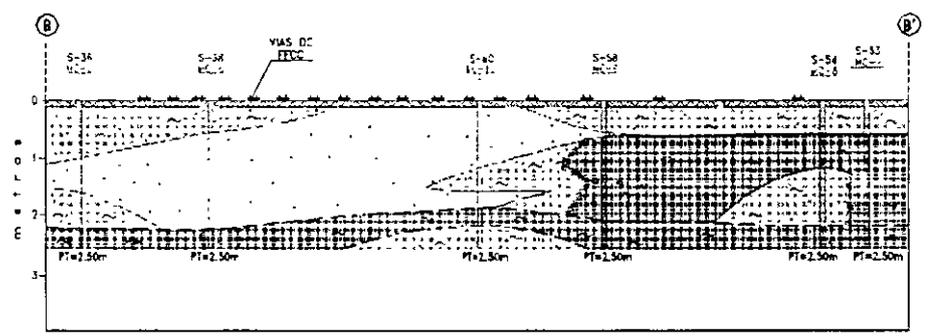
Producto libre flotando sobre el nivel freático



PLANTA SAN LUIS POTOSI
PROYECTO DGU- 98

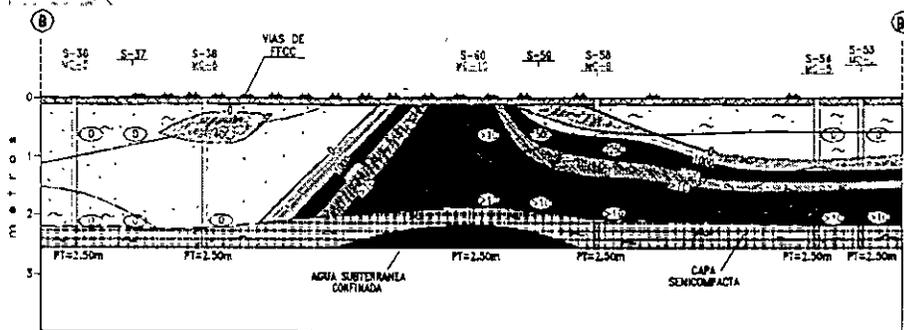
LESSER, 2001

Sección litológica



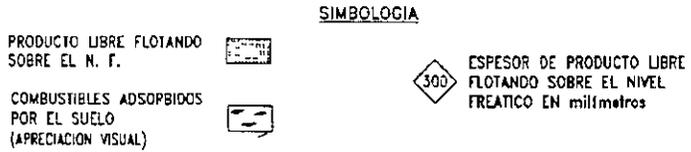
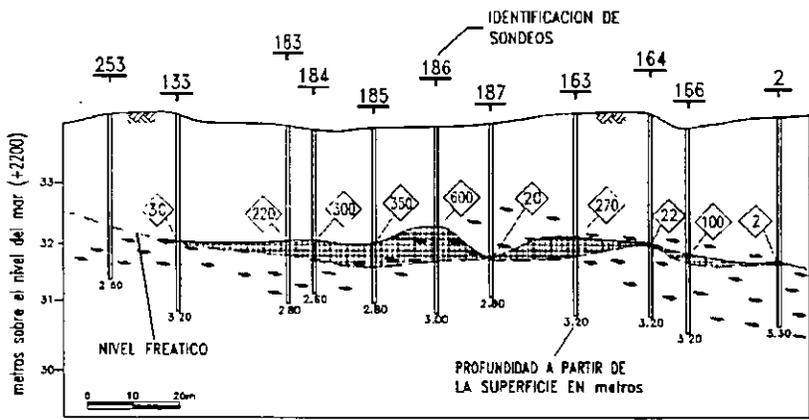
LESSER, 2001

HCs volátiles en el subsuelo



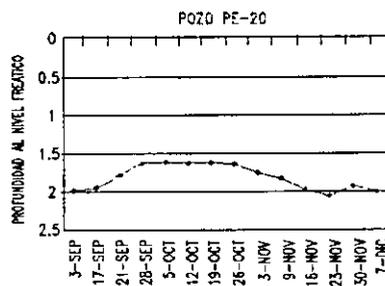
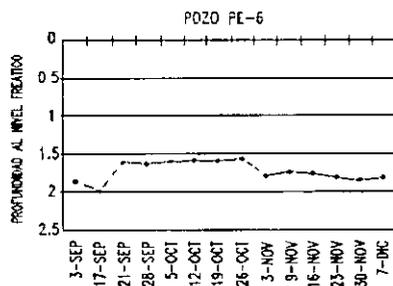
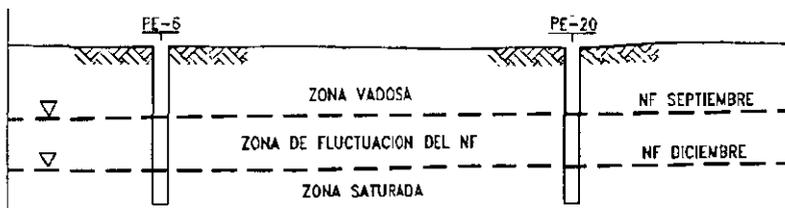
LESSER, 2001

Sección mostrando el espesor de producto libre flotando sobre el nivel freático y horizonte con hidrocarburos adsorbidos en el suelo

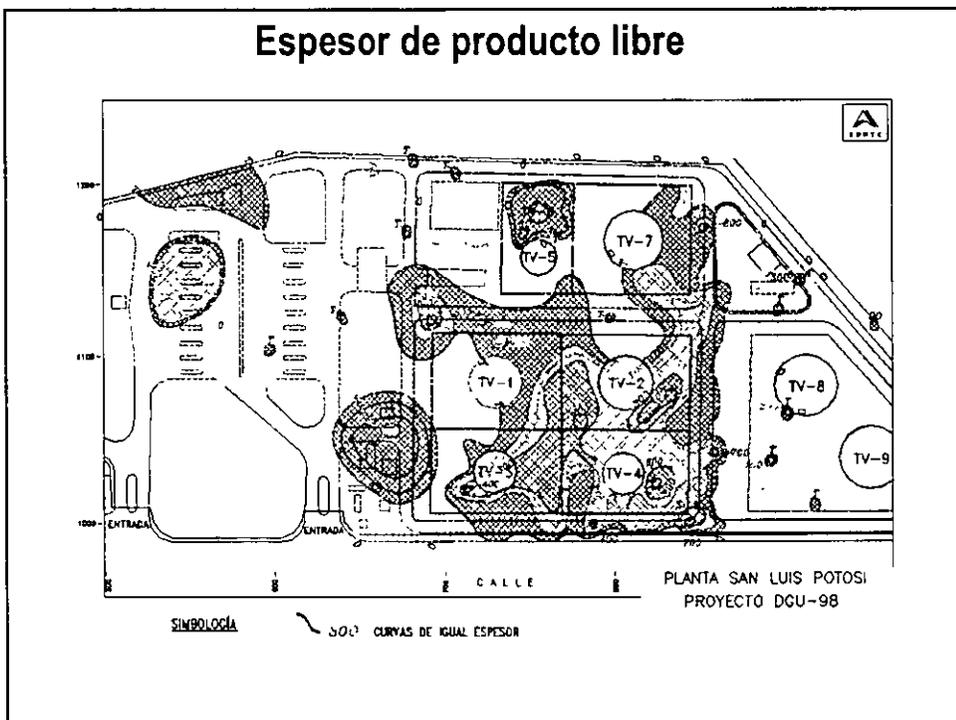
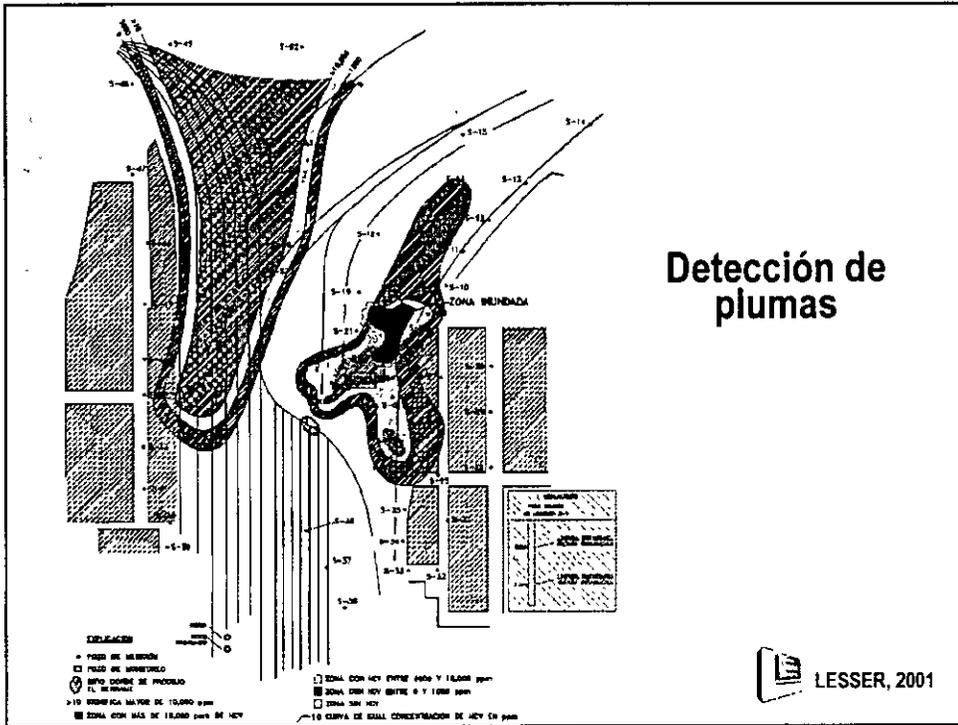


LESSER Y SAVAL, 2000

Variación de la profundidad al nivel freático (NF) en pozos de extracción



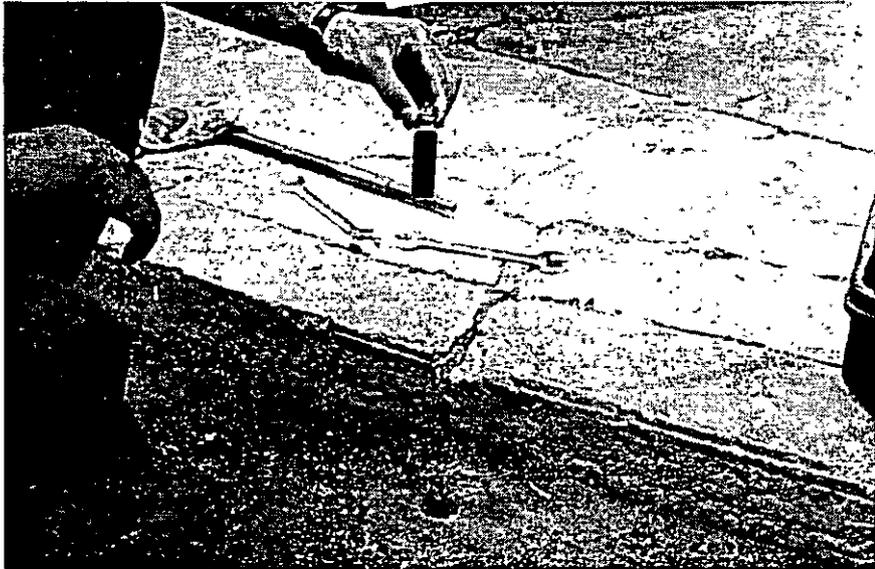
- Ejemplos de plumas de contaminación



■ Muestreo de producto libre



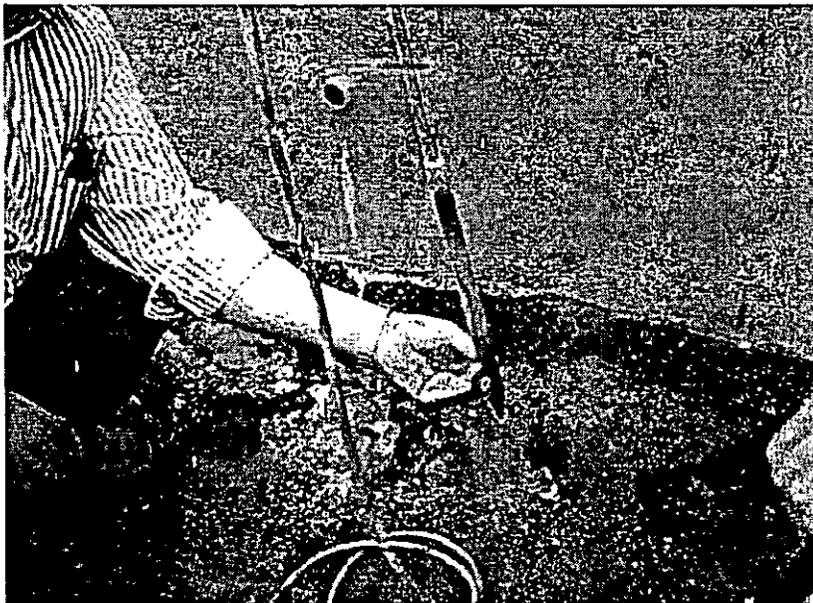
LESSER, 2001



LESSER, 2001



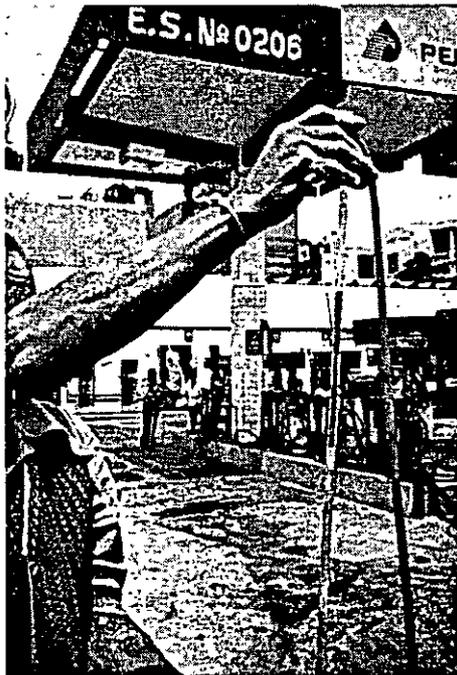
 LESSER, 2001



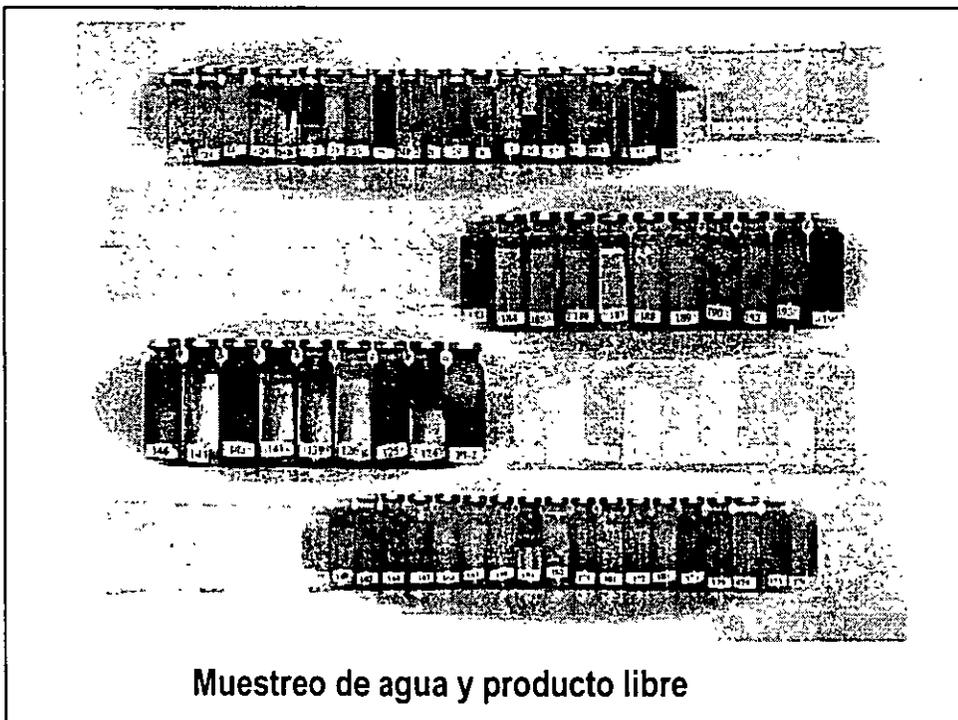
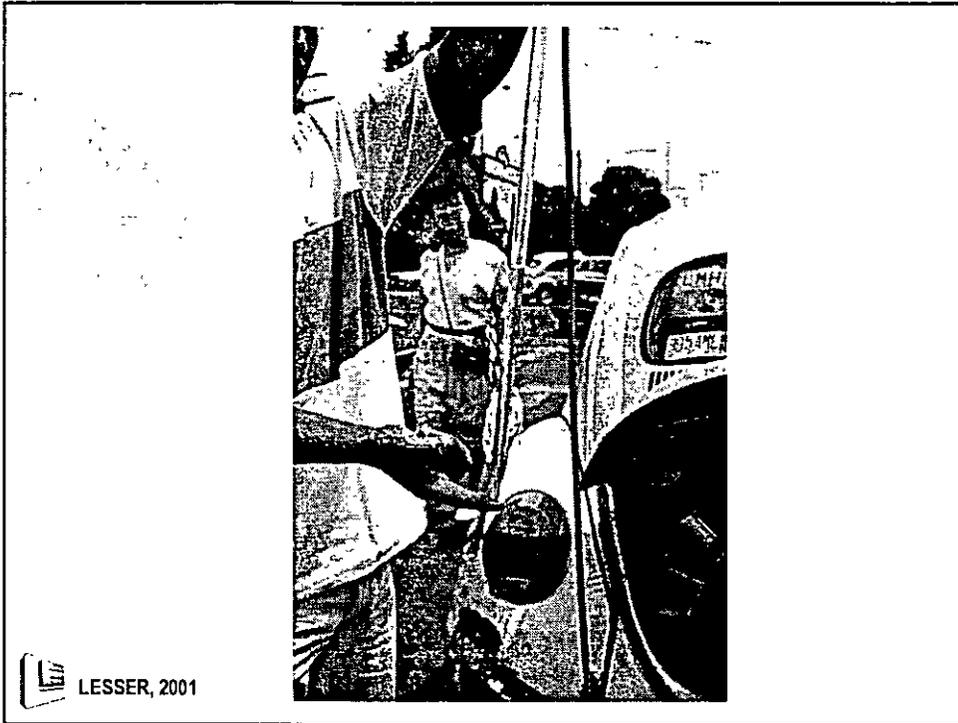
 LESSER, 2001



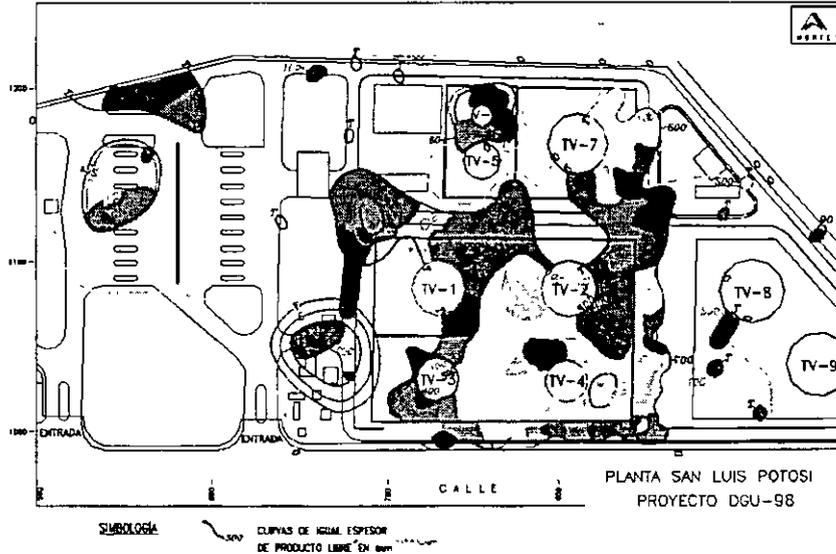
 LESSER, 2001



 LESSER, 2001



Color del producto libre





 LESSER, 2001



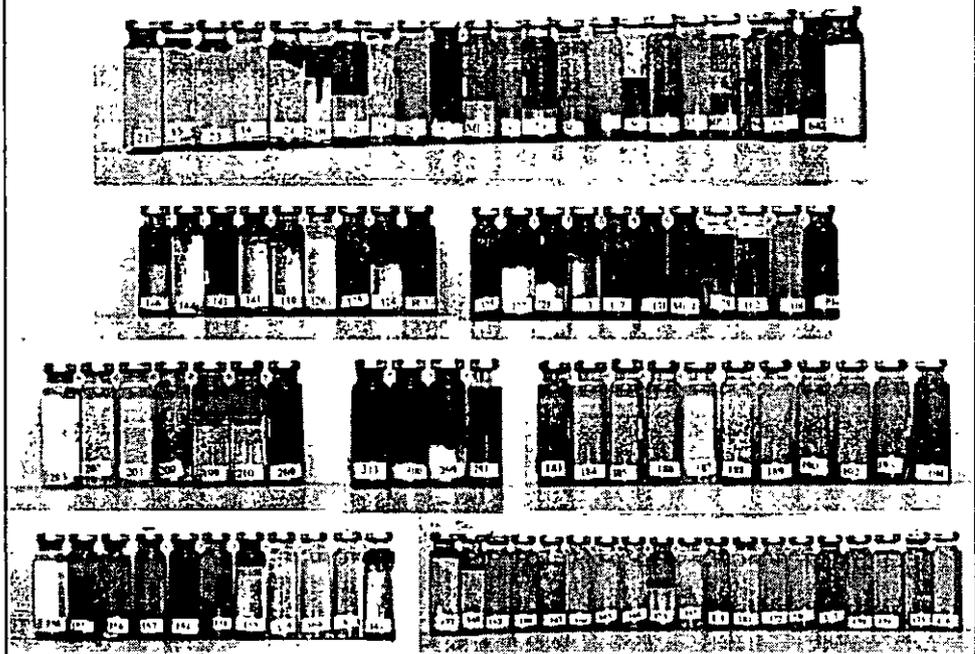
 LESSER, 2001

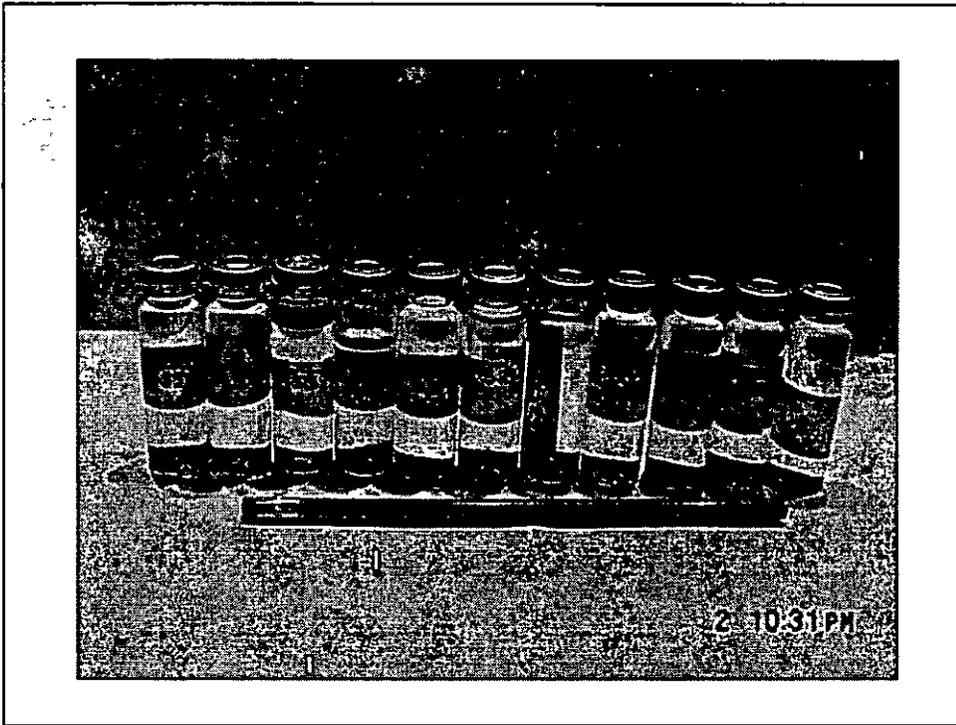
- Análisis para determinación de hidrocarburos en agua y suelo



LESSER, 2001

Muestras de agua y producto libre



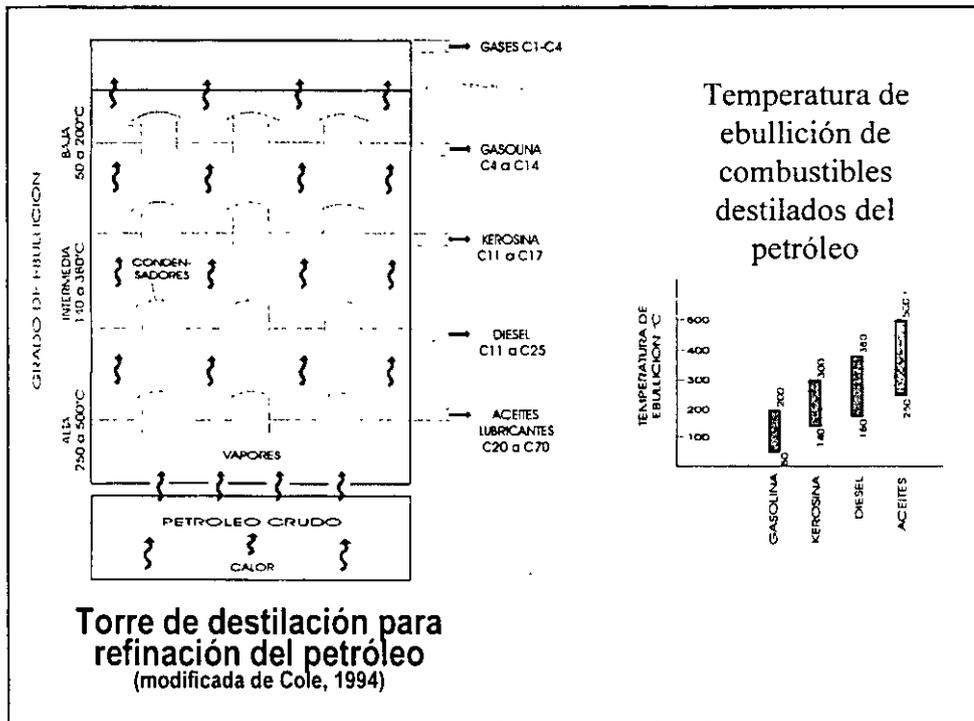


 LESSER, 2001

■ Destilación del petróleo

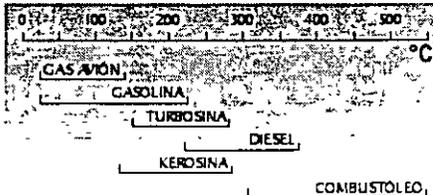


LESSER, 2001



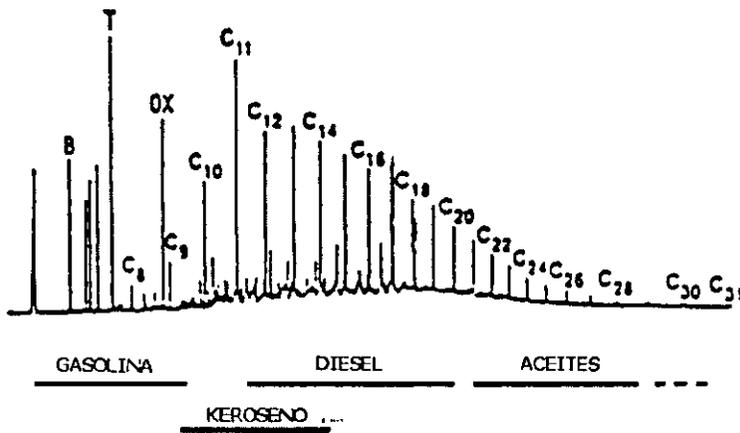
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN
DE LOS HIDROCARBUROS
COMERCIALES MÁS COMUNES

GAS AVIÓN	27-135°C
GASOLINA	27-225°C
TURBOSINA	149-288°C
DIESEL	216-370°C
DIAPANO O KEROSINA	130-288°C
COMBUSTÓLEO Y ASFALTO	315-545°C



LESSER, 2001

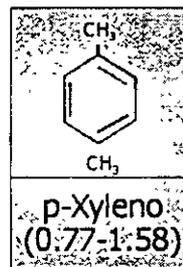
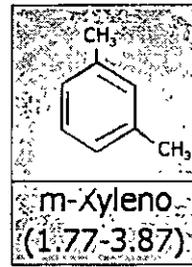
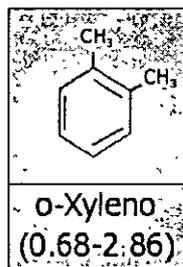
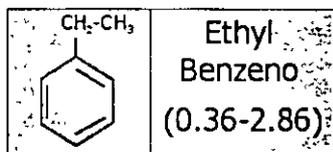
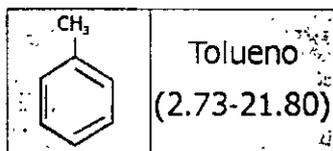
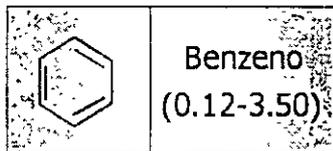
Cromatograma de mezcla de hidrocarburos

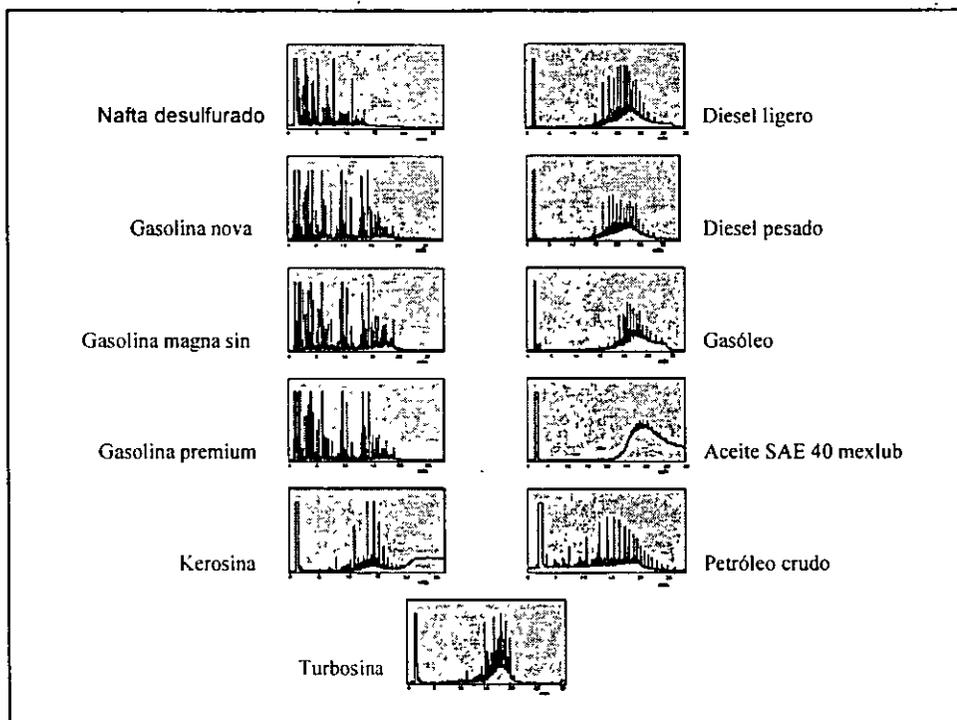
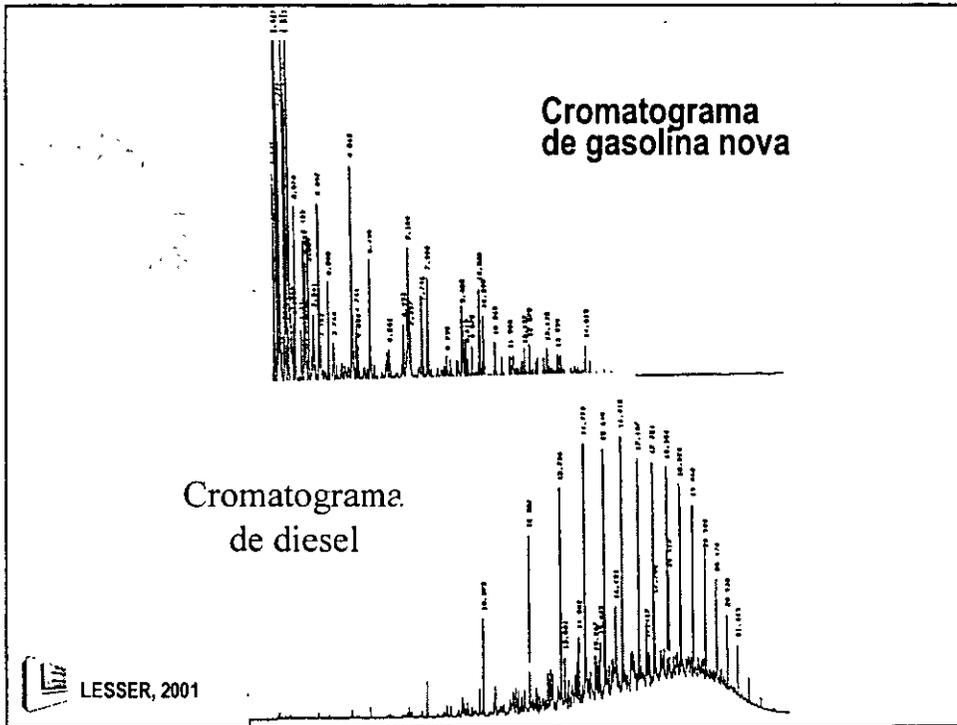


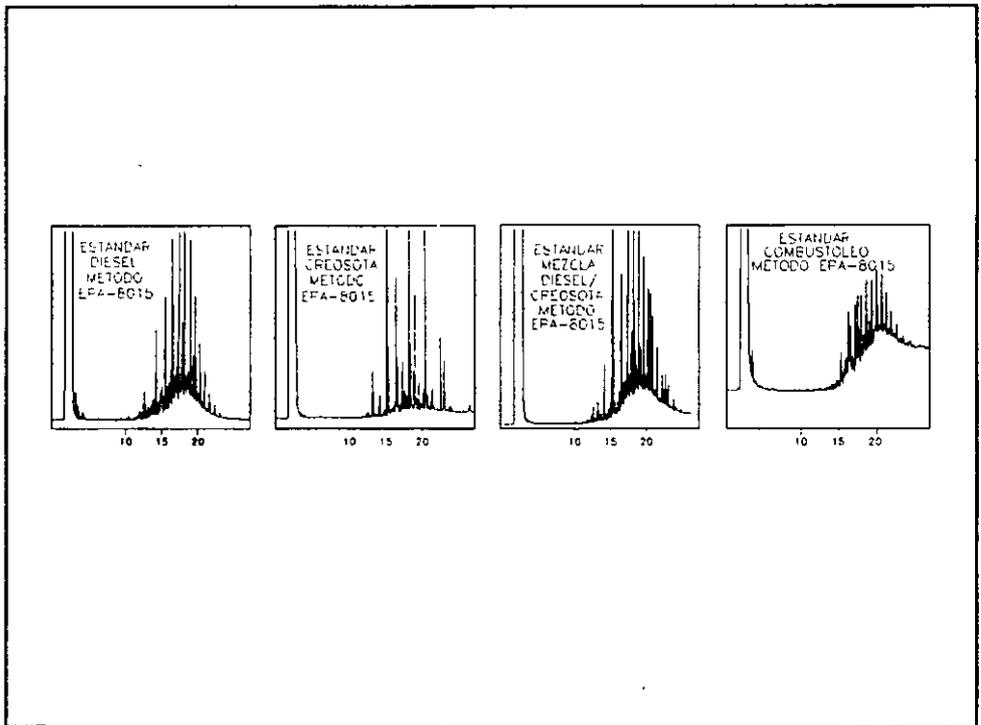
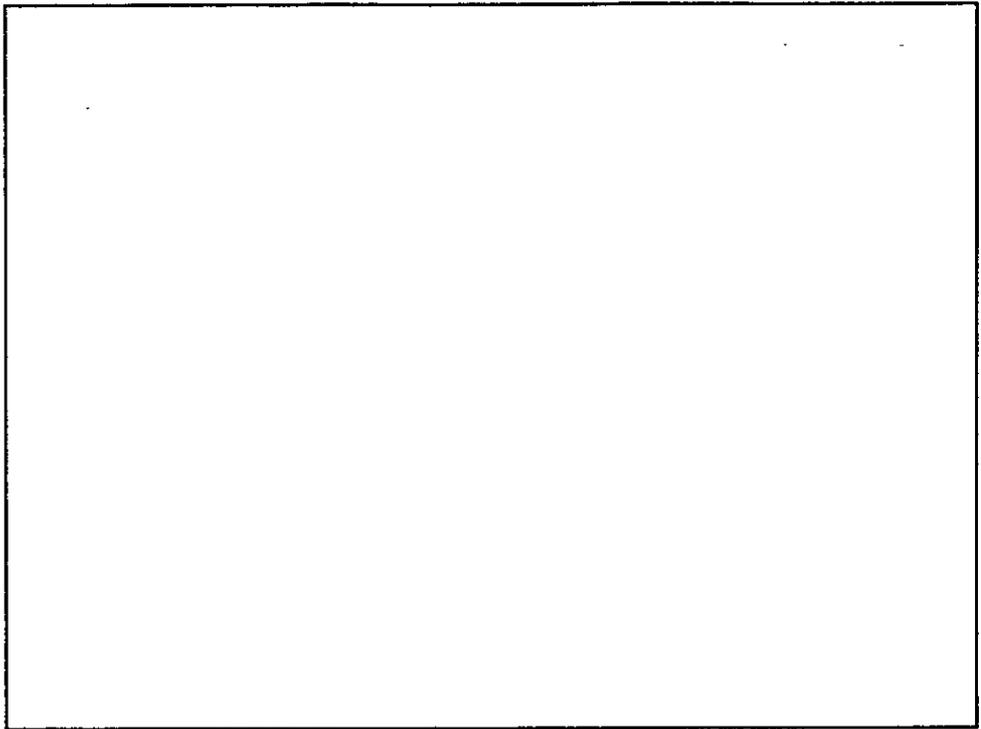
CRONATOGRAMA DE MEZCLA DE
HIDROCARBUROS (MODIFICADA
DE SENN AND JOHNSON, 1995)

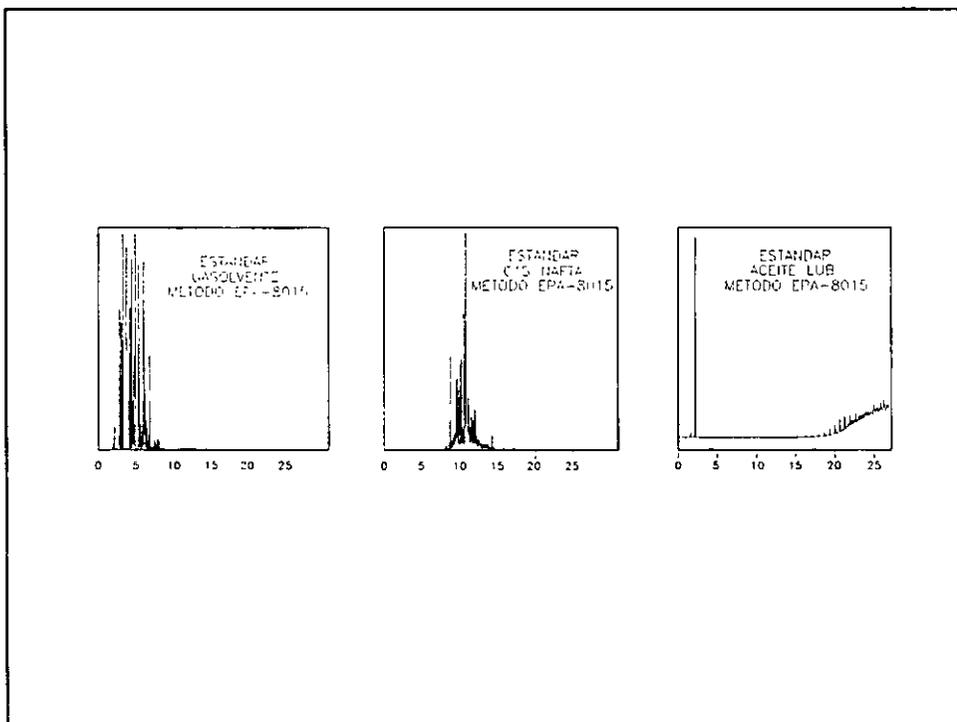
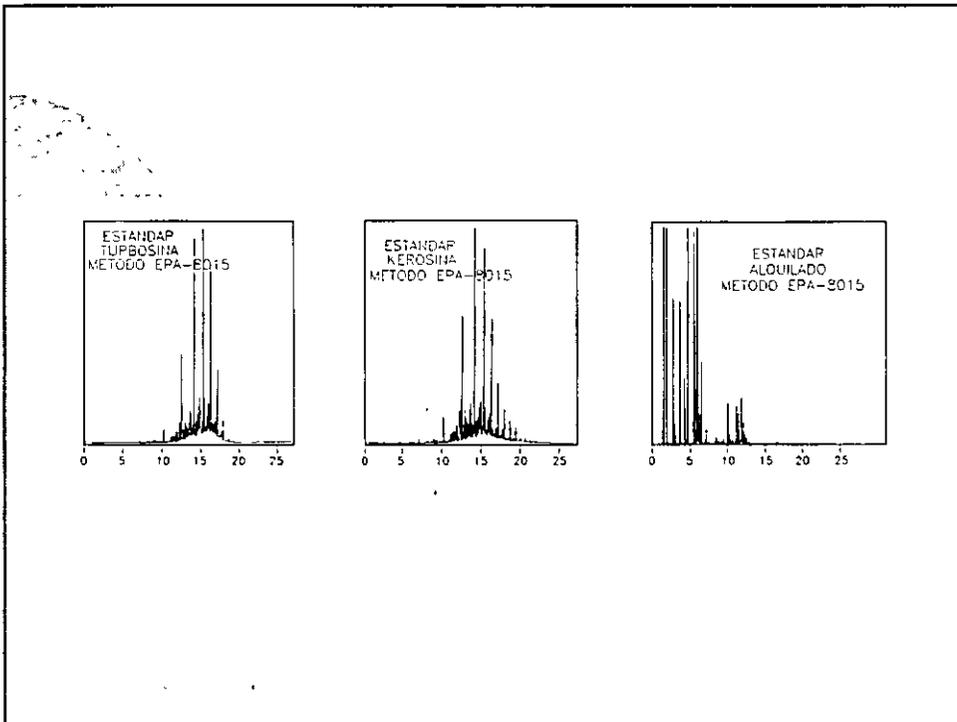
■ Hidrocarburos Aromaticos

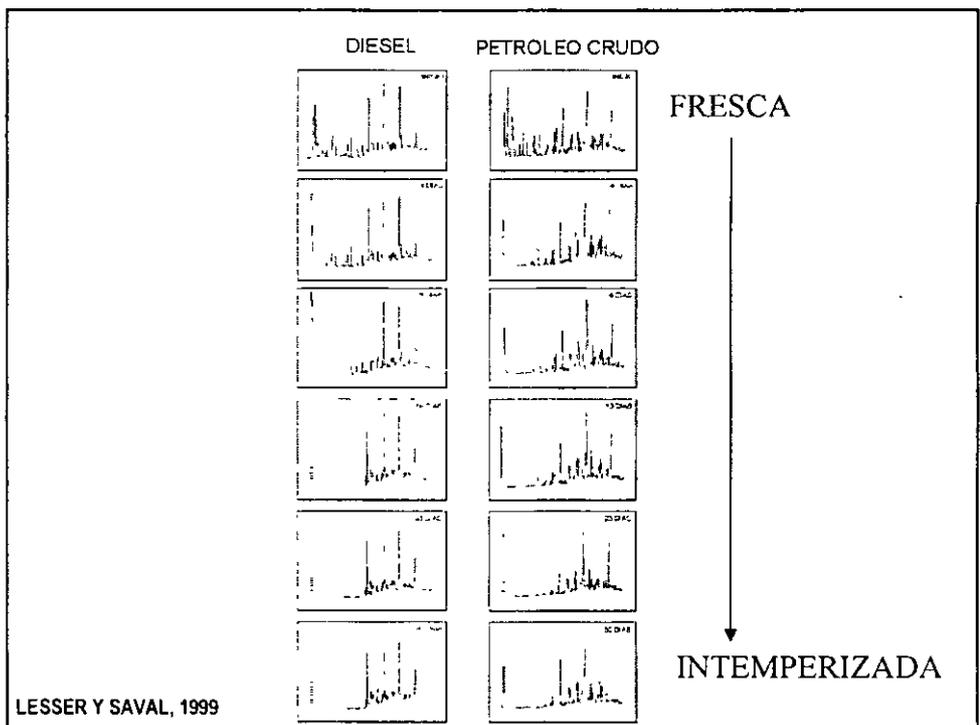
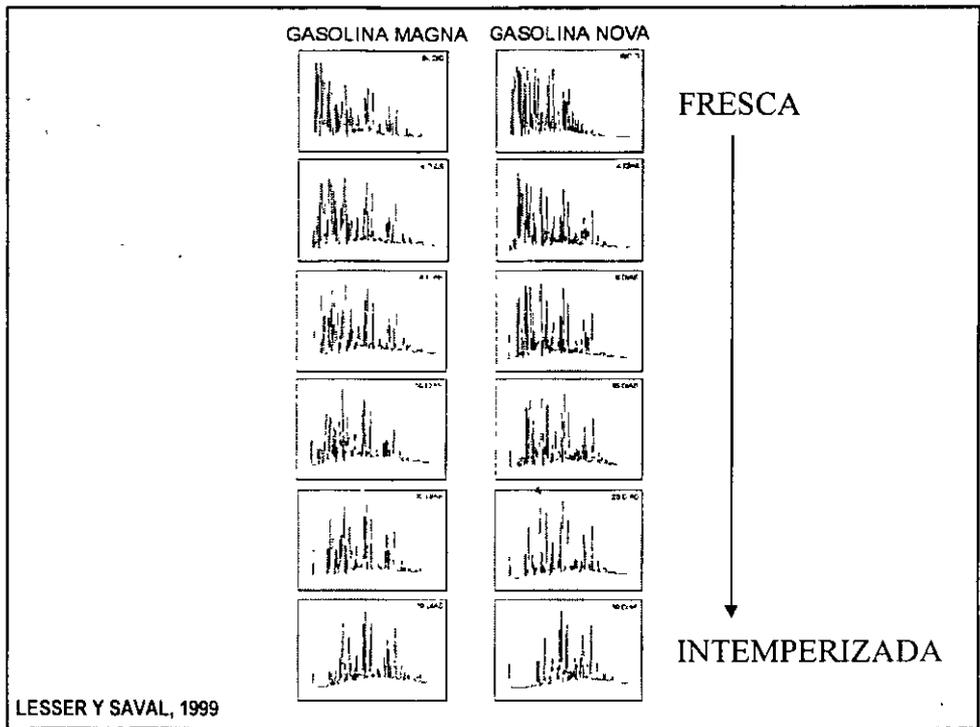
BTEX

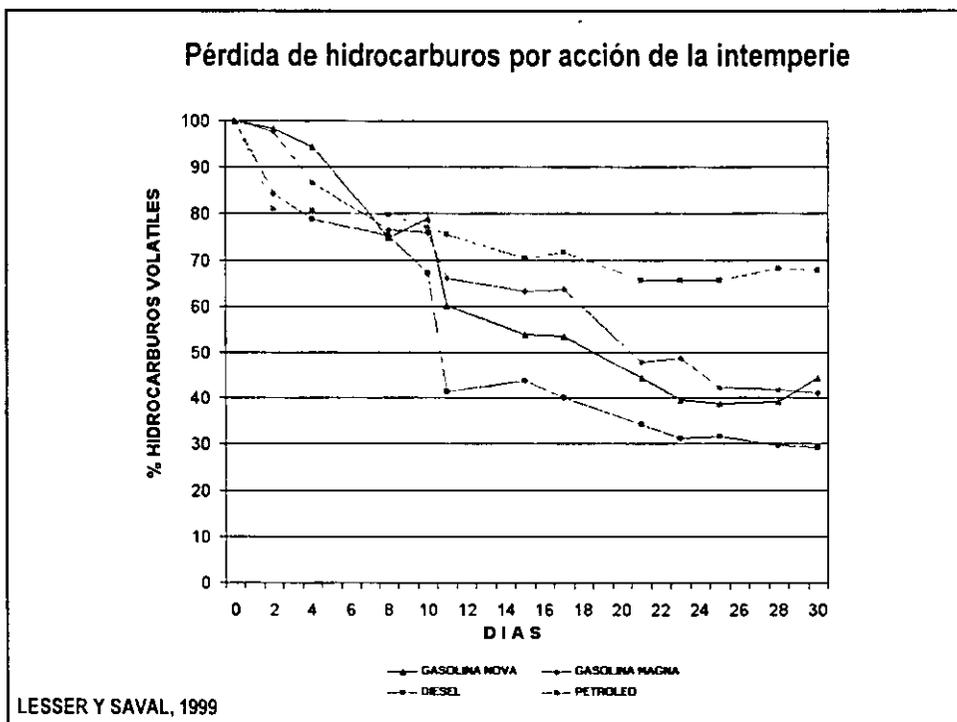
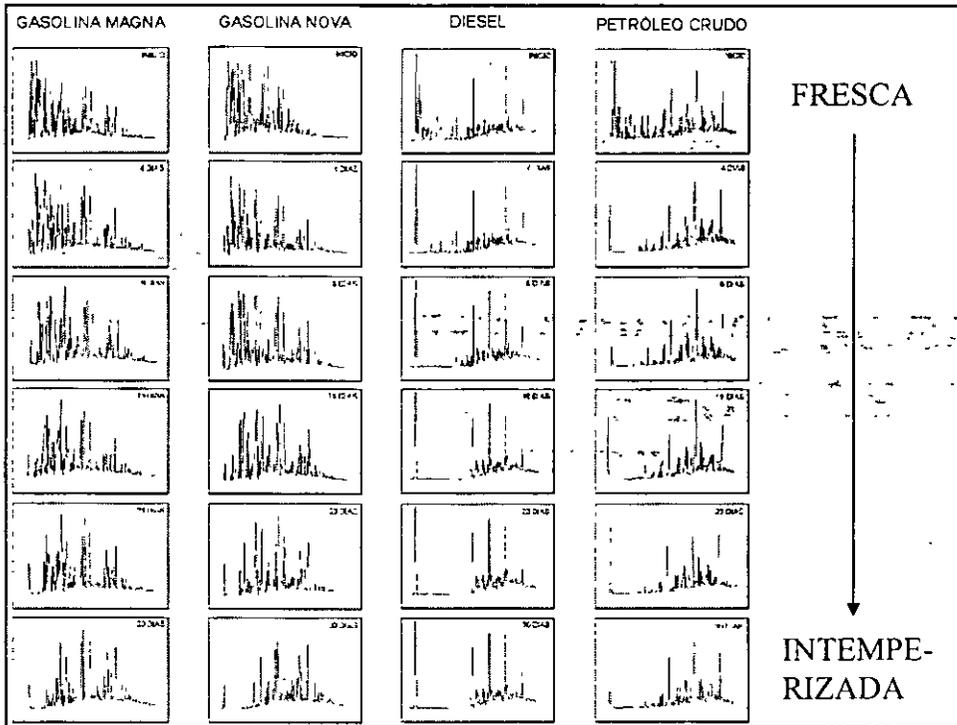












■ Estandares
(Huellas digitales)

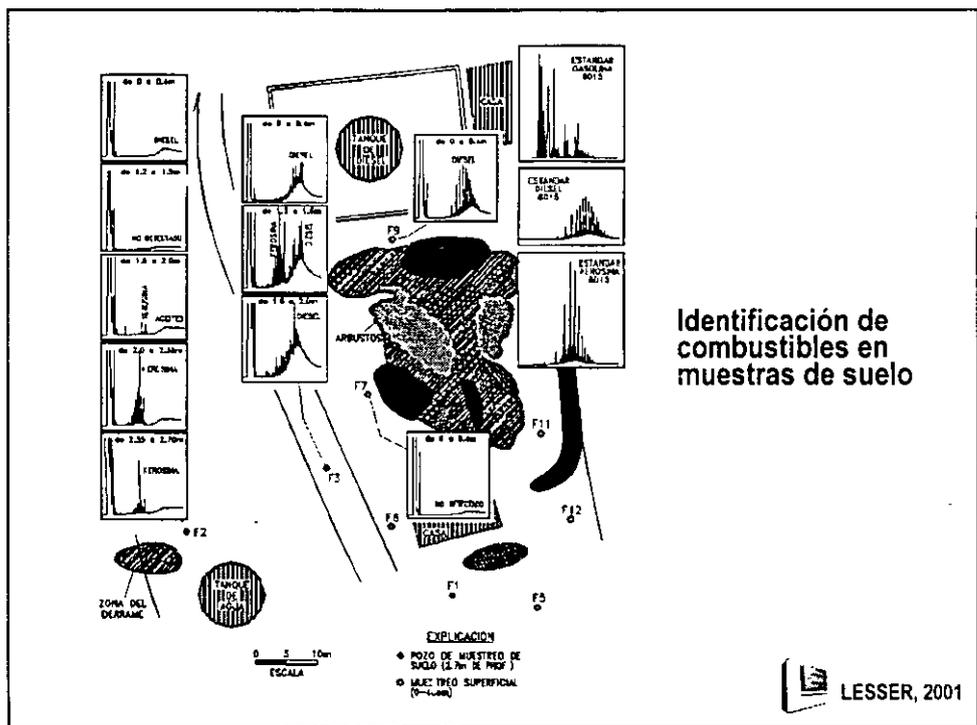
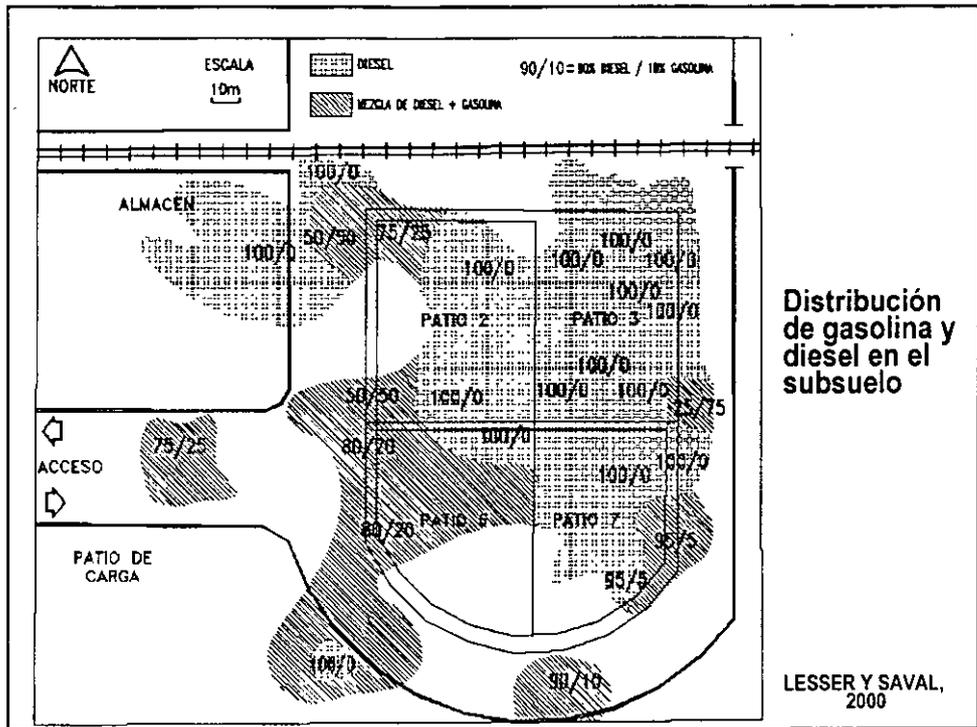


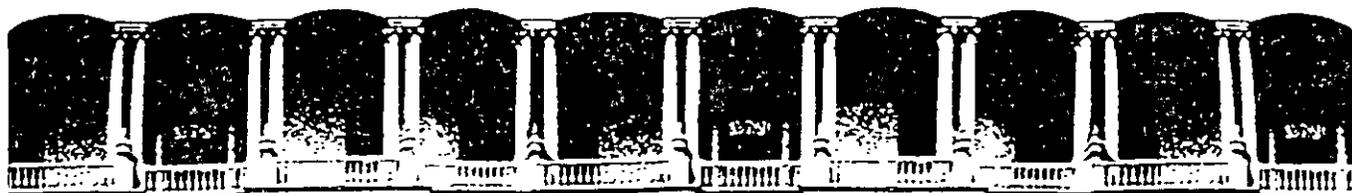
LESSER, 2001

MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS Y PLOMO ORGÁNICO EN MUESTRAS DE SUELO Y AGUA	
HRPs (HTPs)	EPA-418-1
HC-GASOLINA, HC-TURBOSINA/KEROSINA, HC-DIESEL	EPA-8015-B
MONOAROMÁTICOS 3TEX, MTBE, TAME (HC LIGEROS)	EPA-8240
HPAs DIESEL (HC PESADOS)	EPA-8310 EPA-8100
PLOMO ORGÁNICO	LM-EST-2024-D
PLOMO TOTAL	EPA-7420



LESSER, 2001





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**PRINCIPALES HIDROCARBUROS CONTAMINANTES DE SUELOS
Y ACUÍFEROS: IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS**

**EXPOSITORES: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DEL 2002**

PRINCIPALES HIDROCARBUROS CONTAMINANTES DE SUELOS Y ACUÍFEROS: IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

*Por: Ing. Juan Manuel Lesser Illades**

*Dra. Susana Saval Bohórquez***

RESUMEN

La contaminación de acuíferos con hidrocarburos es un problema que se ha vuelto común en nuestros días, debido principalmente al extensivo uso de los combustibles derivados del petróleo, los cuales se manejan y consumen a todo lo largo del país. La química de los hidrocarburos es bien conocida, sin embargo, su estudio como contaminantes de suelos y agua subterránea se ha desarrollado hasta las últimas décadas. Entre los combustibles destilados del petróleo más comunes, se encuentran la gasolina, el diesel, la kerosina y la turbosina. La gasolina esta formada por hidrocarburos monoaromáticos que tienen bajo punto de ebullición donde predomina el intervalo C3-C12; sus constituyentes más importantes son el benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos (BTEX). Las nuevas formulaciones de gasolinas oxigenadas incluyen además, aditivos como el metilterbutileter (MTBE) y el teramilmetileter (TAME). El diesel y la kerosina presentan hidrocarburos entre C11-C25 y C11-C17, respectivamente, con puntos de ebullición medios. Sus componentes más comunes son los hidrocarburos poliaromáticos (HPAs) naftaleno, antraceno y fenantreno. Los aceites y el combustóleo son productos con altas temperaturas de ebullición. Los BTEX, MTBE y TAME presentan alta solubilidad en agua y por lo tanto mayor riesgo a la salud. A pesar de que muchos HPAs son tóxicos, presentan baja solubilidad en agua por lo que en esos casos el grado de riesgo disminuye.

Para la identificación y cuantificación de los combustibles se realizan análisis por cromatografía de gases, siendo el método EPA 8015 el más común y los métodos 8020, 8240, 8260, 8100 y 8310 para la identificación de sus componentes más importantes. Con un perfil cromatográfico, que constituye una "huella digital", es posible determinar si corresponde a un producto fresco o modificado por su exposición a la intemperie y/o por el tiempo que ha permanecido en el subsuelo. En el presente trabajo se incluyen cromatogramas típicos de los principales combustibles.

Contaminación de Suelos y Acuíferos. D. E. C. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001

* Lesser y Asociados, S. A. De C. V. lessertjuanm@infosel.net.mx

** Instituto de Ingeniería, UNAM ssb@pumas.iingen.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Cada vez son más comunes los trabajos para la caracterización y remediación de sitios contaminados por fugas de hidrocarburos. Como parte de esos trabajos, una de las herramientas más útiles en la prospección y monitoreo del suelo y agua subterránea, es la interpretación de perfiles cromatográficos. A partir de ellos se identifican los tipos de combustibles y se cuantifican sus componentes, como un valioso apoyo en la definición de la fuente de contaminación y en la determinación del grado de toxicidad y riesgo a la salud.

HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO

Los hidrocarburos del petróleo son cadenas de carbonos. El petróleo crudo incluye compuestos que van del metano (C1) a cadenas complejas arriba del C100. Se clasifican en dos grandes grupos con base en los enlaces químicos que conforman su estructura molecular: alcanos y alquenos.

Los alcanos son los principales constituyentes del petróleo crudo. Su toxicidad es reducida y tienen muy baja solubilidad. Entre los alquenos están los aromáticos que son los compuestos más tóxicos, éstos pueden ser mononucleares y polinucleares. Los monoaromáticos como el benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos (BTEX), tienen la propiedad de ser muy solubles en agua en comparación con los alcanos.

El metilterbutiléter MTBE y el teramilmetiléter (TAME), son aditivos que en los últimos años se han incorporado a las gasolinas de nueva generación, en substitución del tetraetilo de plomo.

Los hidrocarburos polinucleoaromáticos (HPAs) son los más importantes constituyentes del diesel. Varían entre moderadamente solubles en agua, como el naftaleno a los muy poco solubles como el benzo(a)antraceno y el benzo(a)pireno.

En las refinerías, el petróleo crudo es sometido a altas temperaturas provocando la separación de los compuestos que lo constituyen, algunos productos gaseosos se volatilizan y capturan, mientras que los diferentes combustibles son separados en torres de destilación. En la figura 1 se muestra un esquema que ilustra la destilación de los diferentes

Contaminación de Suelos y Acuíferos. D. E. C. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001

* Lesser y Asociados, S. A. De C. V. lesserjuanm@infosel.net.mx

** Instituto de Ingeniería, UNAM ssb@pumas.iingen.unam.mx

combustibles. A temperaturas entre 27 y 225°C destila la gasolina (C3 a C12), entre 180 y 380°C destilan la kerosina (C11 a C17) y el diesel (C11 a C25); mientras que entre 300 y 500°C se obtienen los aceites (C30 a C70).

Como se observa en las figuras 1 y 2 la gasolina se caracteriza por tener baja temperaturas de ebullición, mientras que en el diesel la temperatura de ebullición es de intermedia a alta y para los aceites es alta.

CROMATOGRAFÍA

A partir de los análisis por cromatografía de gases (GC), se obtienen gráficas denominadas perfiles cromatográficos o “huellas digitales” que son líneas en forma de picos, cada uno de los cuales pertenece a un compuesto en particular. El eje de las abscisas corresponde a los tiempos de retención en minutos, mientras que el eje de las ordenadas tiene relación con la concentración de cada compuesto.

La identificación de combustibles por cromatografía de gases, permite separar los hidrocarburos de baja temperatura de ebullición como son las gasolinas, de aquellos de mayor temperatura de ebullición. El tiempo de retención en un perfil cromatográfico, corresponde prácticamente al número de carbonos, cuando para el análisis se utiliza el método EPA 8015, por ejemplo.

Un cromatograma o huella digital del petróleo crudo incluye picos desde el C1 hasta el C70. En la figura 3 se muestra en forma general el intervalo que abarcan los principales combustibles refinados del petróleo crudo, como son la gasolina, la kerosina, el diesel y los aceites lubricantes. Los picos iniciales corresponden a compuestos más sencillos, mientras que los finales son hidrocarburos con mayor número de átomos de carbono.

Para la cuantificación de los hidrocarburos monoaromáticos como los BTEX, MTBE y TAME, generalmente se realizan análisis más específicos aplicando los métodos EPA 8240 y EPA 8260. Mientras que para los hidrocarburos poliaromáticos (HPAs), constituyentes principales del diesel, se utilizan los métodos EPA 8100 y EPA 8310.

Contaminación de Suelos y Acuiferos. D. E. C. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001

* Lesser y Asociados, S. A. De C. V. lesserjuanm@infosel.net.mx

** Instituto de Ingeniería, UNAM ssb@pumas.iingen.unam.mx

En la figura 4 se muestra el perfil cromatográfico de la gasolina con tiempos de retención que corresponden a hidrocarburos entre C3 y C12 donde están incluidos los BTEX. En la figura 5 se muestra el cromatograma del diesel que incluye hidrocarburos entre C11 y C25 formando una “campana” que es típica de este combustible. El perfil de la kerosina se presenta en la figura 6, mientras que el de un aceite lubricante en la figura 7. En todos estos casos se utilizó el método EPA 8015.

También son comunes los solventes, usados como desengrasadores, los cuales se caracterizan por estar en el intervalo de (C7 a C12). Estos solventes prácticamente no contienen compuestos ligeros para disminuir el riesgo de inflamabilidad, además, es deseable que éstos no contengan compuestos de alta temperatura de ebullición para evitar residuos aceitosos durante su uso. Estos disolventes generalmente son menos tóxicos que las gasolinas.

El intervalo de la gasolina (C3-C12) se traslapa con el del diesel (C11-C25) y ambos con el de la kerosina (C11 al C17). Sin embargo, aun mezclados los tres, pueden ser identificados en el mismo cromatograma. En las figuras 8, se muestran perfiles con diferentes mezclas de combustibles, en el primer caso (figura 8a) gasolina y diesel; en el segundo caso (figura 8b) una mezcla de kerosina y diesel.

La fabricación o destilación de combustibles puede presentar algunas variantes, pero sus rasgos básicos permanecen. La antigüedad de un combustible y el intemperismo al que están expuestos, modifican su composición y con ello se altera su huella digital. En la figura 9 se presentan combustibles frescos e intemperizados, observándose que para los segundos, los picos de menor tiempo de retención han disminuido o incluso desaparecido. Ello permite identificar derrames recientes de otros más antiguos e intemperizados.

SOLUBILIDAD DE LOS HIDROCARBUROS Y RIESGO A LA SALUD

La gasolina se caracteriza por contener BTEX, los cuales son parcialmente solubles en agua y son tóxicos, el benceno es cancerígeno por ello su presencia en agua subterránea es de preocupación. Los n-alcenos son prácticamente insolubles y también son menos tóxicos, por ello su riesgo es menor. En la Tabla 1 se presentan valores del porcentaje de solubilidad de los principales compuestos de la gasolina y el diesel.

Contaminación de Suelos y Acuíferos. D. E. C. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001

* Lesser y Asociados, S. A. De C. V. lesserjuanm@infosel.net.mx

** Instituto de Ingeniería, UNAM ssb@pumas.iingen.unam.mx

Las gasolinas fabricadas en los últimos años, llegan a incluir aditivos como el metilterbutileter (MTBE) y el teramilmetileter (TAME), caracterizados por ser aún más solubles que los BTEX, aunque menos tóxicos. El MTBE da un aspecto desagradable al agua por su olor y sabor característicos. No se ha comprobado que sea tóxico o cancerígeno, pero en mayo del 2000, el estado de California adoptó un Límite de Contaminación Máximo de 0.013 mg/l.

Es común que el agua subterránea aún y cuando se encuentre bajo una capa de hidrocarburos, presente concentraciones bajas de HCs en solución. En varios sitios del país se ha comprobado que no obstante que el agua se encuentre cubierta por una capa de varios metros de gasolina en fase libre la porción de hidrocarburos que se ha llegado a disolver y detectar mediante cromatografía es muy reducida. En contraste, en estudios de suelo, la fase volátil o adsorbida es notablemente más alta, más aún si se trata de arcillas.

CONCLUSIONES

Entre los principales combustibles contaminantes de suelos y acuíferos se encuentran la gasolina, el diesel, la kerosina y los aceites lubricantes. La gasolina contiene hidrocarburos monoaromáticos de baja temperatura de ebullición, entre los que predominan los BTEX. Entre ellos el benceno es el de mayor solubilidad y toxicidad, ya que es cancerígeno. Un perfil cromatográfico o huella digital permite identificar diferentes combustibles, además de identificar y cuantificar sus componentes más importantes. Los combustibles como gasolina, diesel, kerosina y aceites se detectan por cromatografía de gases mediante el método EPA 8015. Para los hidrocarburos monoaromáticos y aditivos de gasolinas se emplean los métodos EPA 8240 y EPA 8260, mientras que los poliaromáticos se analizan por los métodos EPA 8100 y EPA 8310. Los BTEX por ser los más solubles, son los de mayor riesgo, mientras que los poliaromáticos, por ser de solubilidad limitada, su riesgo en agua es menor.

REFERENCIAS

Calabrese, E.J. and P.T. Kostecki, 1989. Petroleum contaminated soils, Vol. 2. Lewis Publishers. 515 p.

Contaminación de Suelos y Acuíferos D. E. C. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001

* Lesser y Asociados, S A De C. V lesserjuanm@infosel.net.mx

** Instituto de Ingeniería, UNAM ssb@pumas.iingcn.unam.mx

- Cole, G. Mattney, 1994. Assessment and remediation of petroleum contaminated sites. Lewis publishers. 360 p.
- Kostecki, P.T. and E.J. Calabrese, 1992. Contaminated soils, diesel fuel contamination. Lewis publishers. 227 p.
- Lesser, Juan M. y S. Saval, 1999. Intemperismo, efectos de hidrocarburos en suelos y acuíferos. Teorema revista técnico ambiental No. 23, Año 6, No. 23, Diciembre: 34-35.
- Nyer, E. K, 1993. Practical techniques for groundwater and soil remediation. Lewis publishers. 214 p.
- Saval S. y Lesser J. M., 1999. Identificación de hidrocarburos derramados al subsuelo y estudio de riesgo en una instalación industrial. Ingeniería y Ciencias Ambientales (Revista de la Federación Mexicana de Ingeniería y Ciencias Ambientales, A.C.) Año 10, No. 45, Nov-Dic. 24-29.

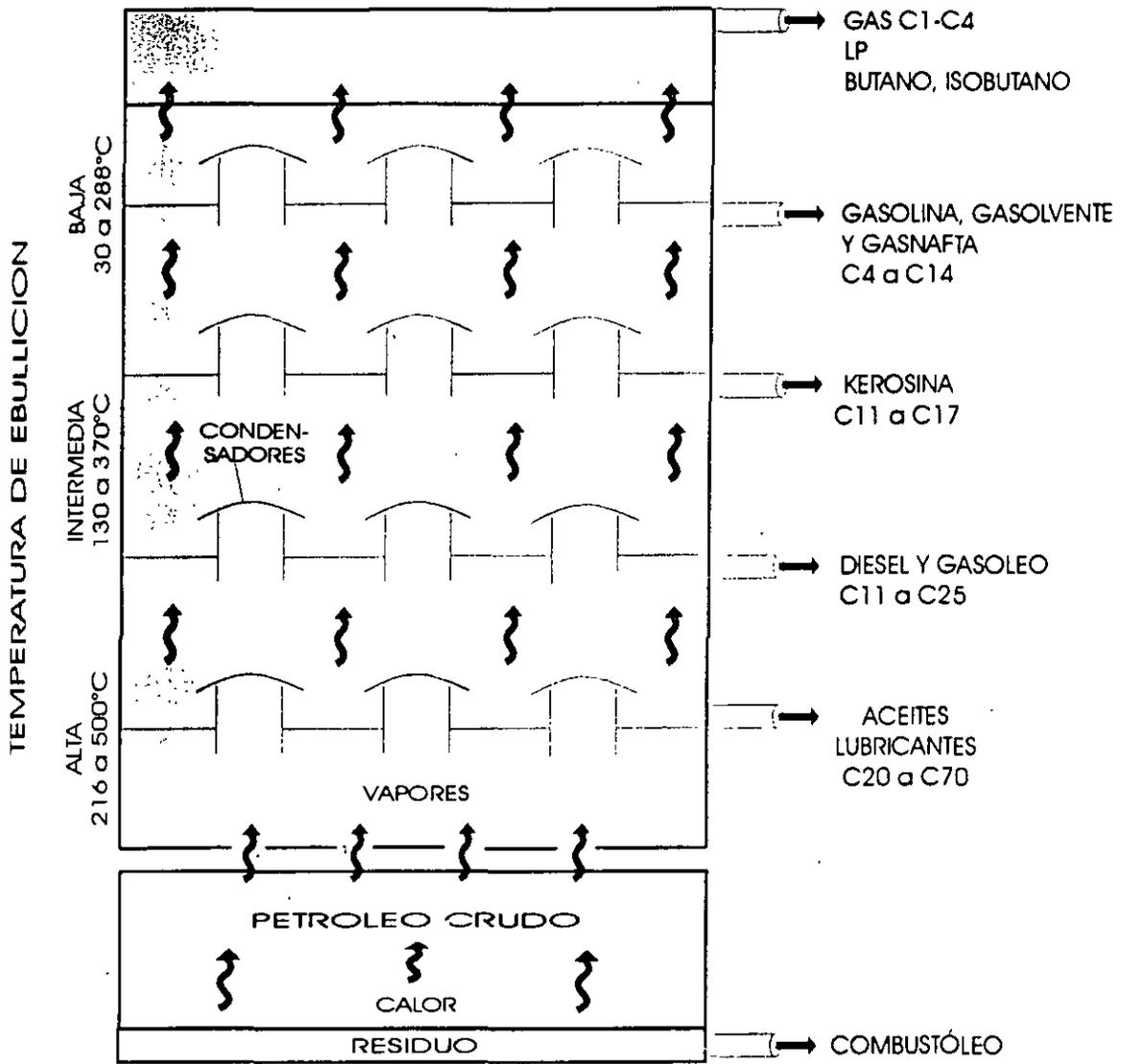


FIGURA 1.-TORRE DE DESTILACION PARA
REFINACION DEL PETROLEO
(MODIFICADA DE COLE, 1994)

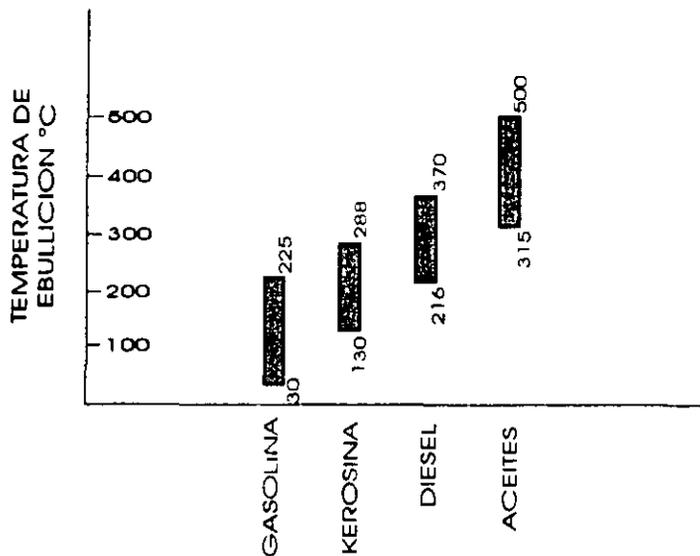


FIGURA 2.-TEMPERATURA DE EBULLICION DE
COMBUSTIBLES DESTILADOS DEL PETROLEO

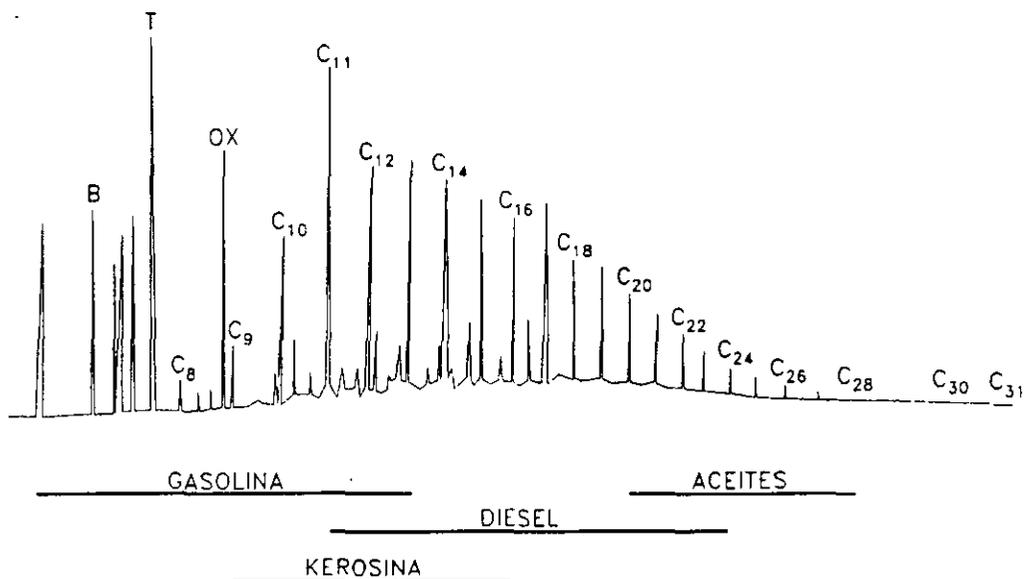


FIGURA 3.-CROMATOGRAMA DE MEZCLA DE HIDROCARBUROS

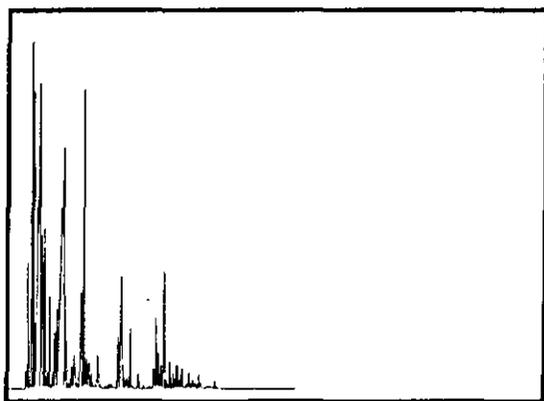


FIGURA 4.-GASOLINA

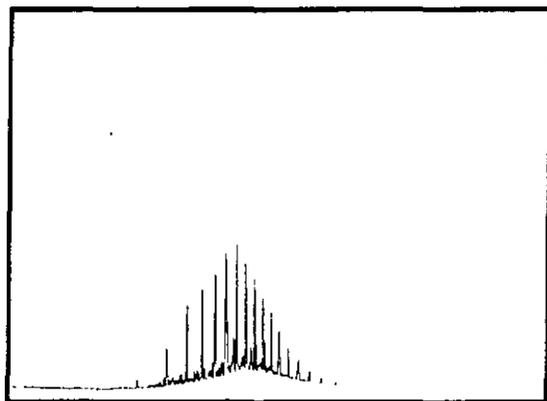


FIGURA 5.-DIESEL

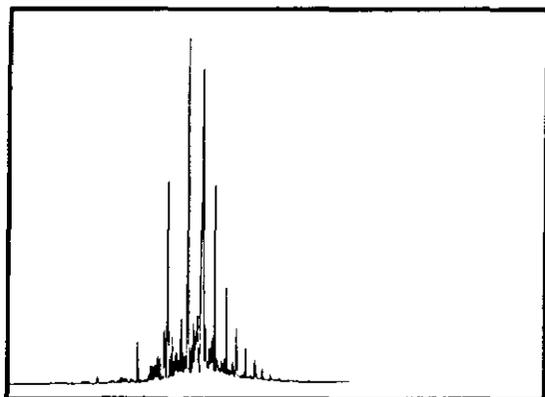


FIGURA 6.-Kerosina

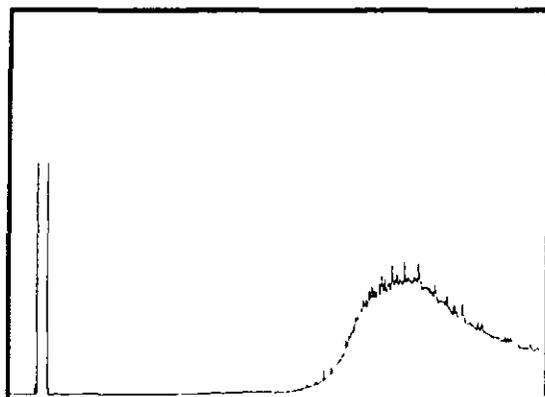


FIGURA 7.-ACEITE LUBRICANTE

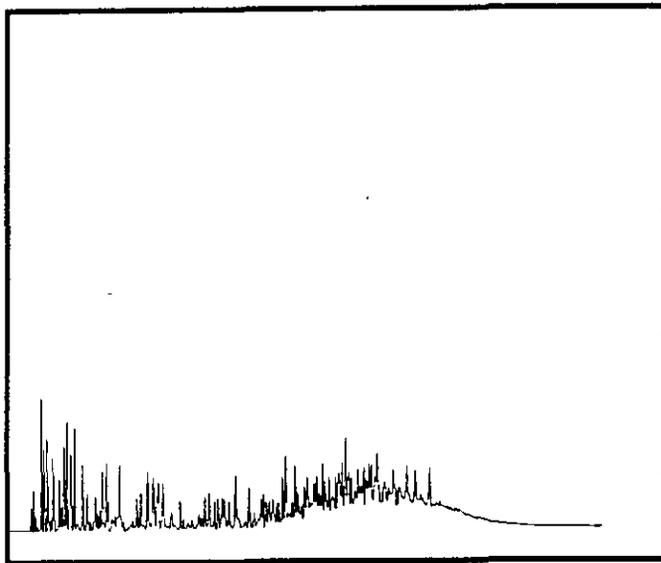


FIGURA 8a.-MEZCLA DE
GASOLINA Y DIESEL

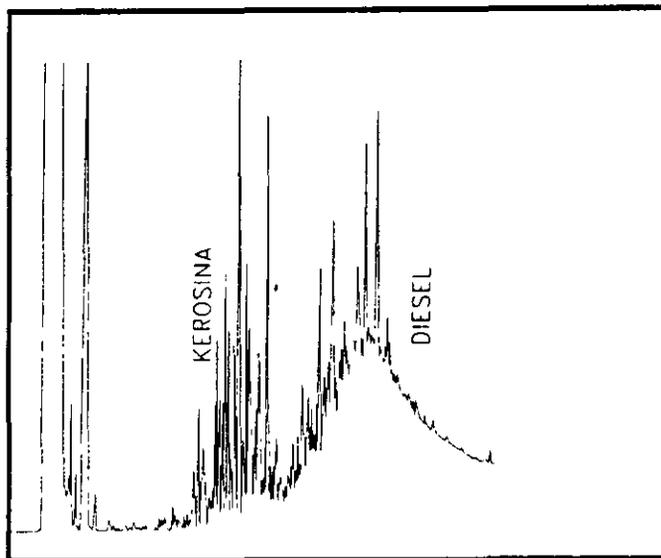


FIGURA 8b.-MEZCLA DE
KEROSINA Y DIESEL

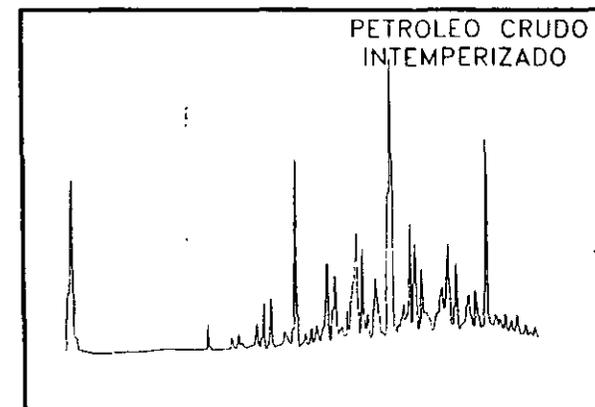
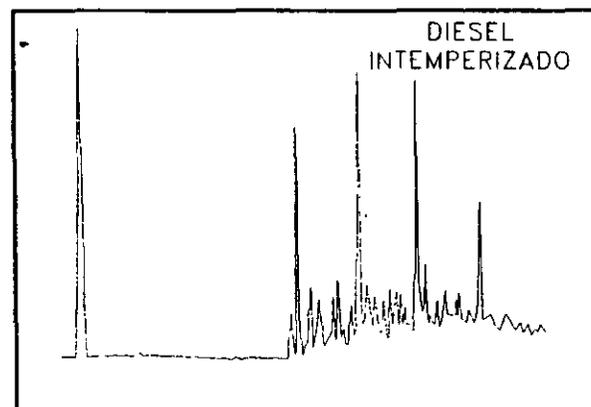
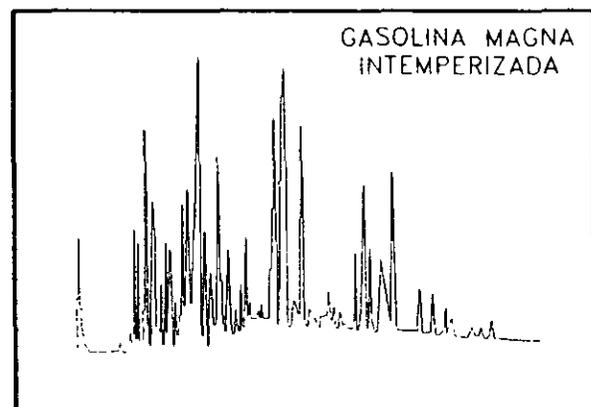
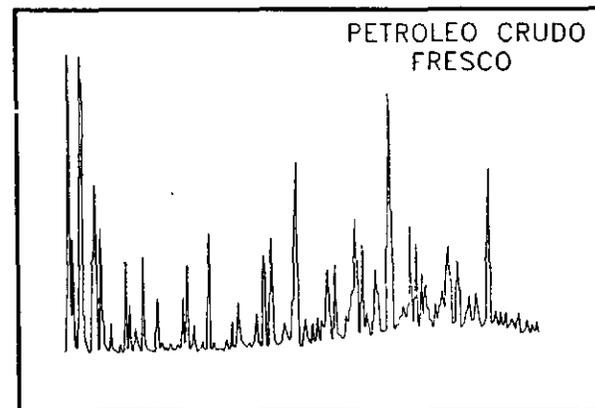
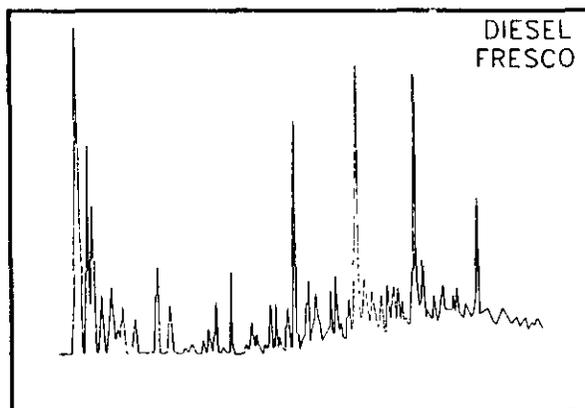
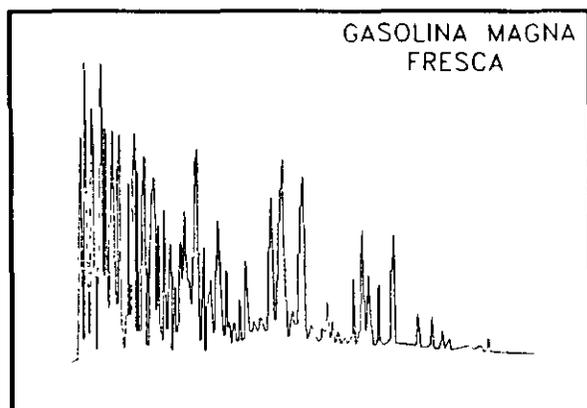
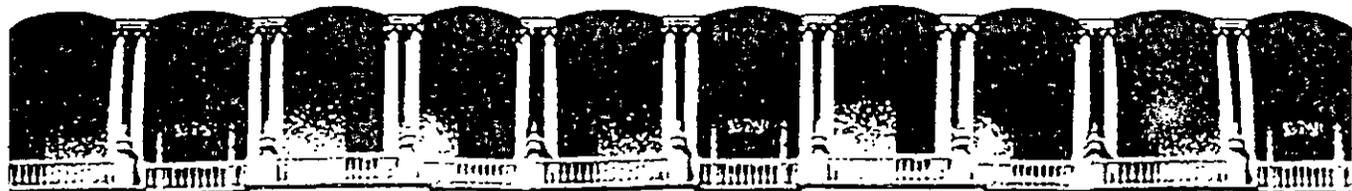


FIGURA 9.-CROMATOGRAMAS DE COMBUSTIBLES FRESCOS E INTEMPERIZADOS



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**PRINCIPALES HIDROCARBUROS CONTAMINANTES DE SUELOS
Y ACUÍFEROS: IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
(FUENTES COMUNES DE CONTAMINACIÓN)**

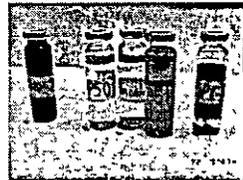
**EXPOSITORES: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ**



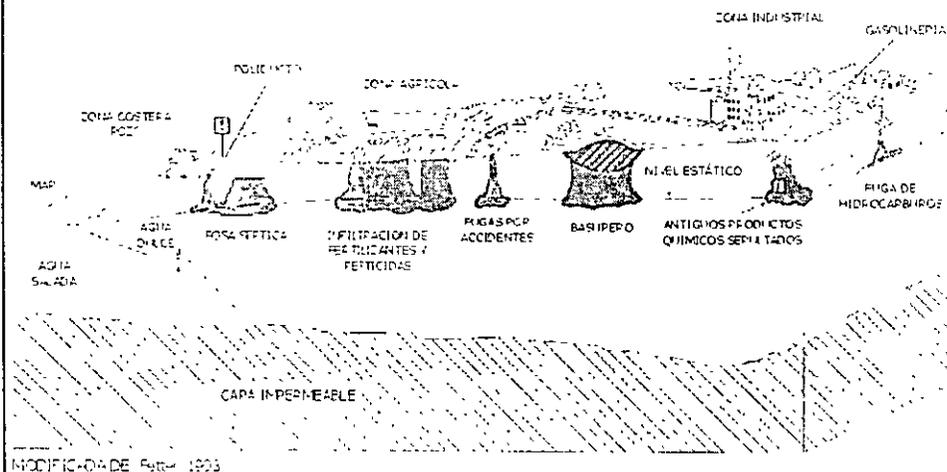
PRINCIPALES HIDROCARBUROS CONTAMINANTES DE SUELOS Y ACUIFEROS:

IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS

- Por:
- Ing. Juan Manuel Lesser
- Dra Susana Saval Bohorquez

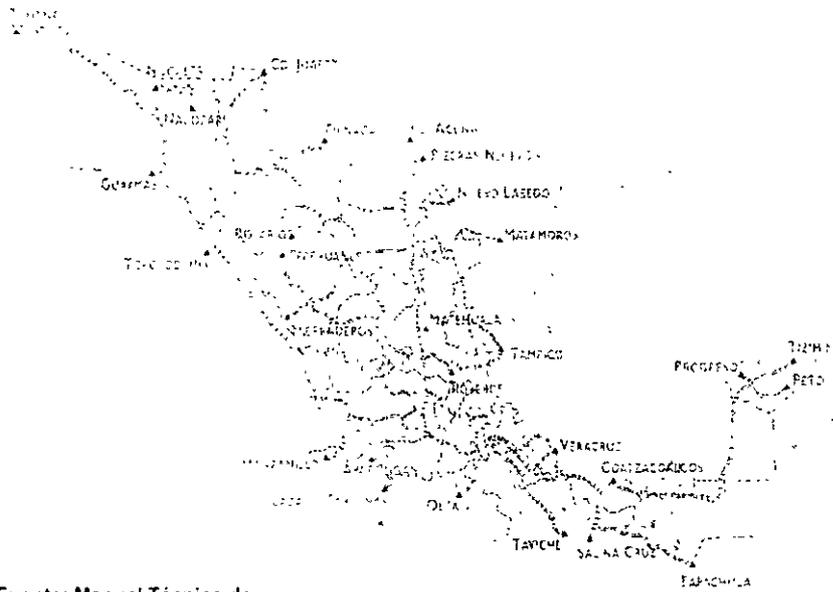


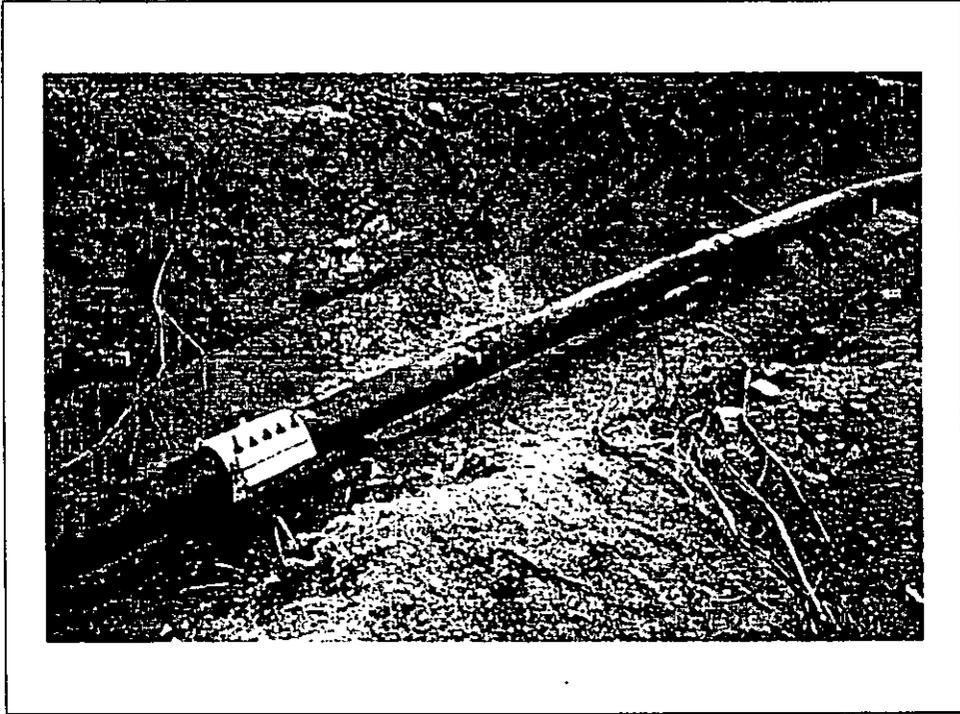
Fuentes comunes de contaminación



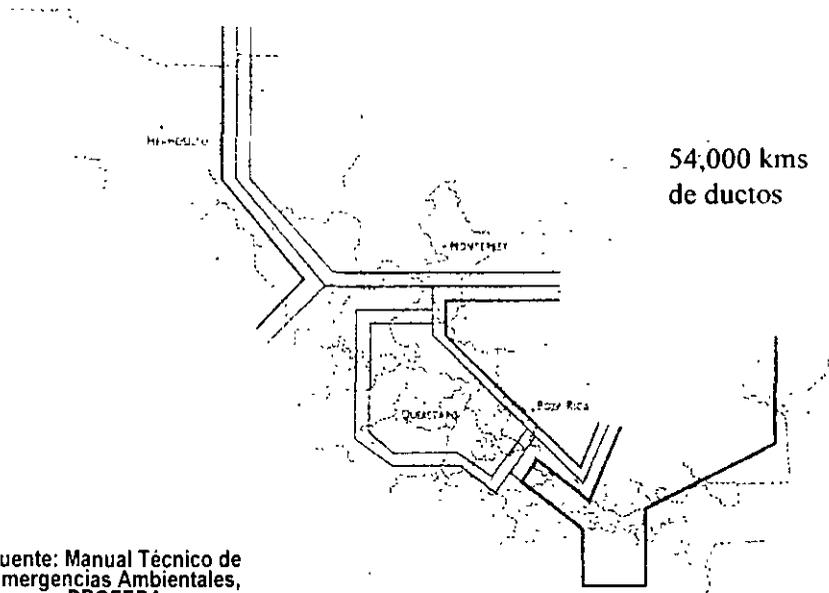


Fuente: Manual Técnico de
Emergencias Ambientales,
PROFEPA



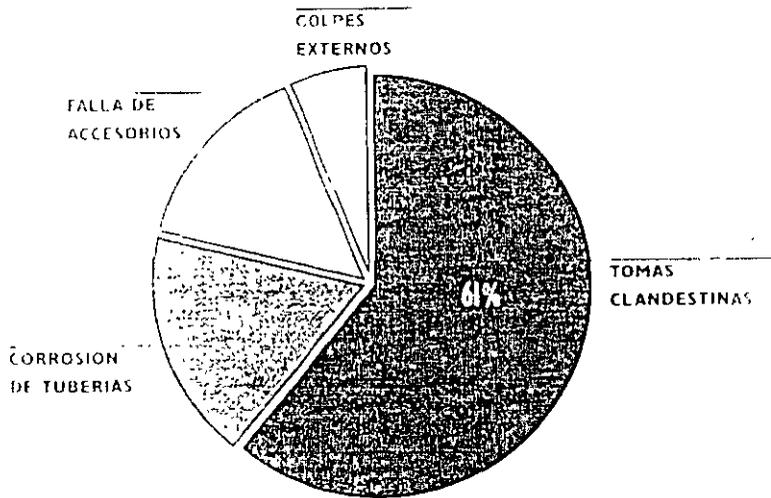


Principales sistemas de transporte de hidrocarburos por ductos de Pemex

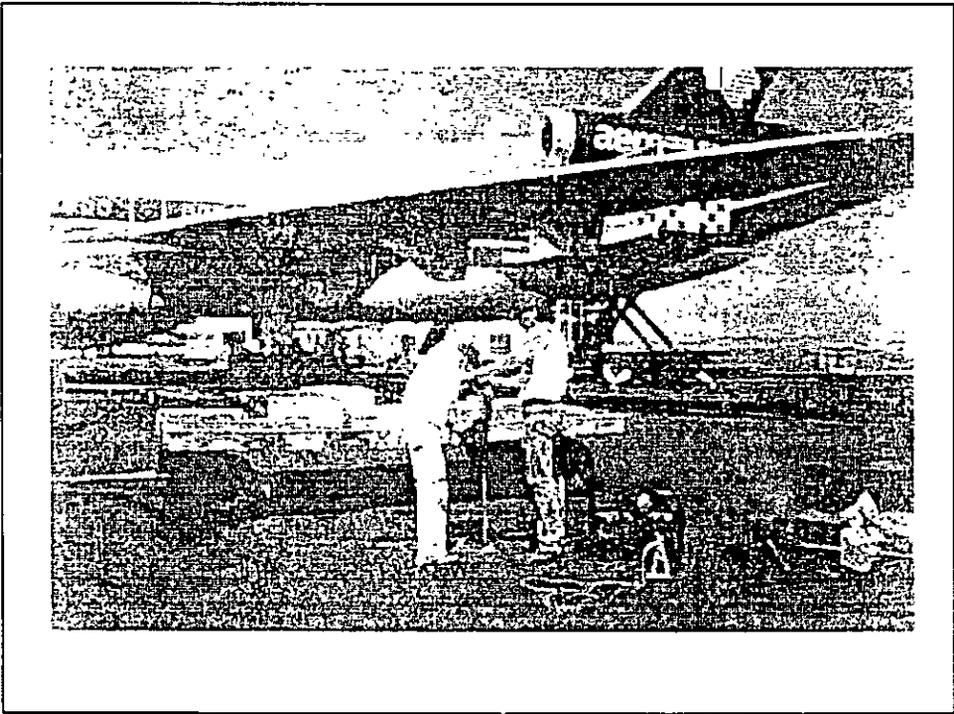
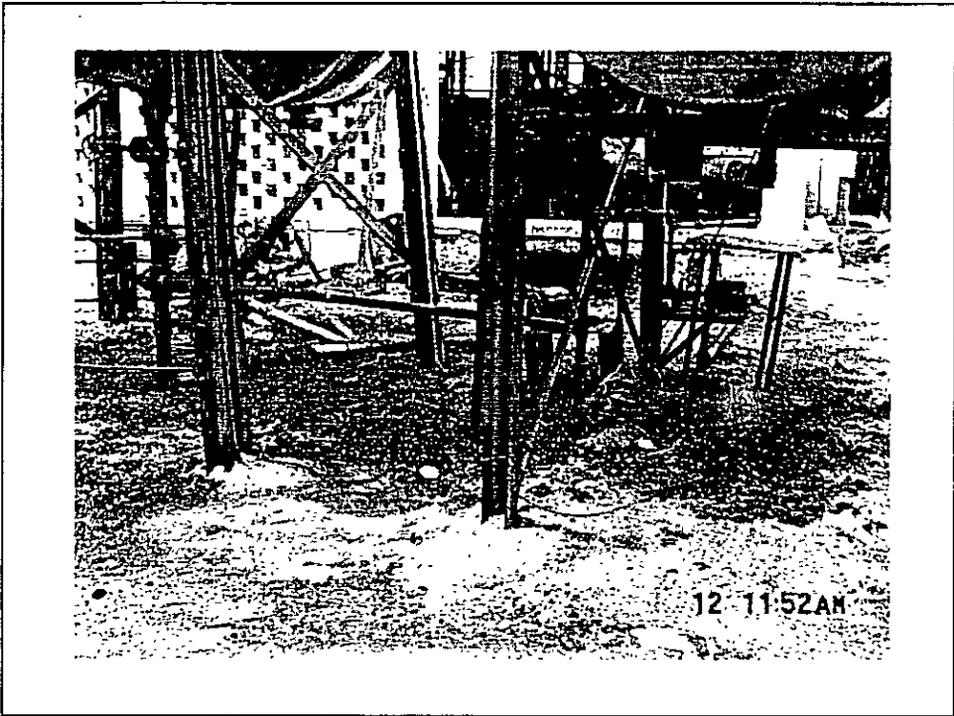


Fuente: Manual Técnico de Emergencias Ambientales, PROFEPA

Causa de fugas comunes en ductos



Fuente: Manual Técnico de Emergencias Ambientales, PROFEPA



COMBUSTIBLES DESTILADOS DEL PETROLEO

MAS COMUNES:

Gasolina Automoviles

Diesel Ferrocarriles

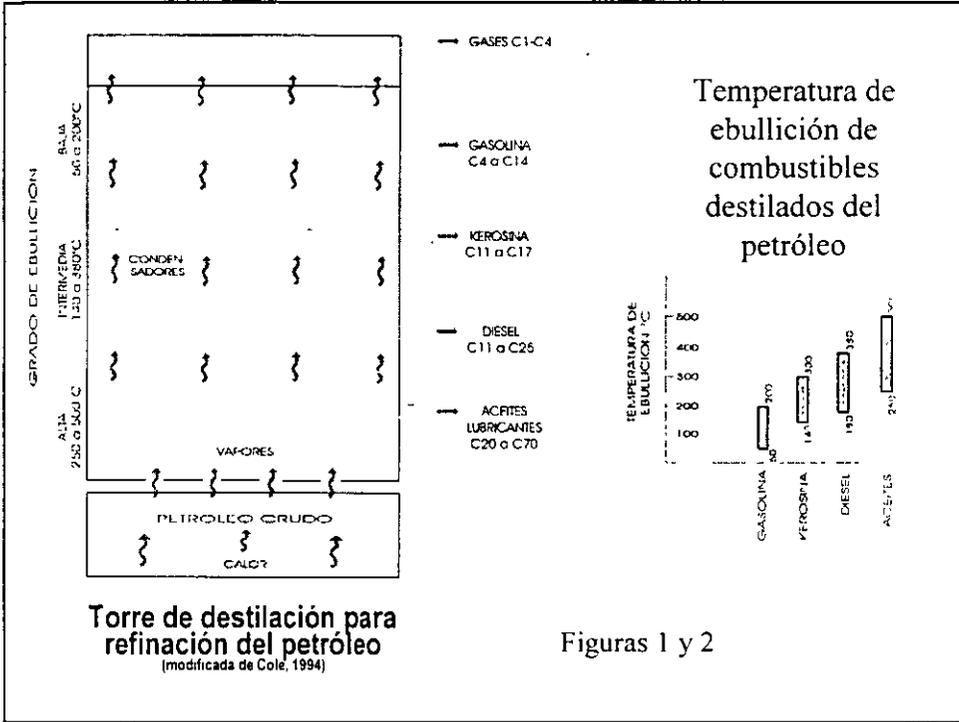
Kerosina Ferrocarriles

Turbosina Aviones

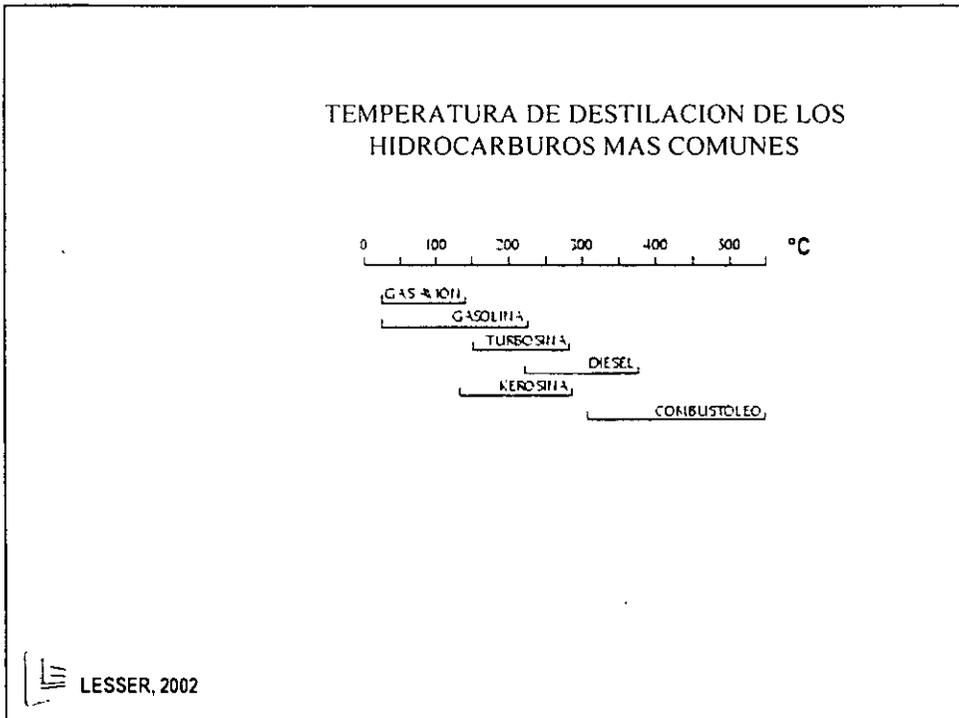
Combustoleo Industrias



■ Destilación del petroleo



Figuras 1 y 2



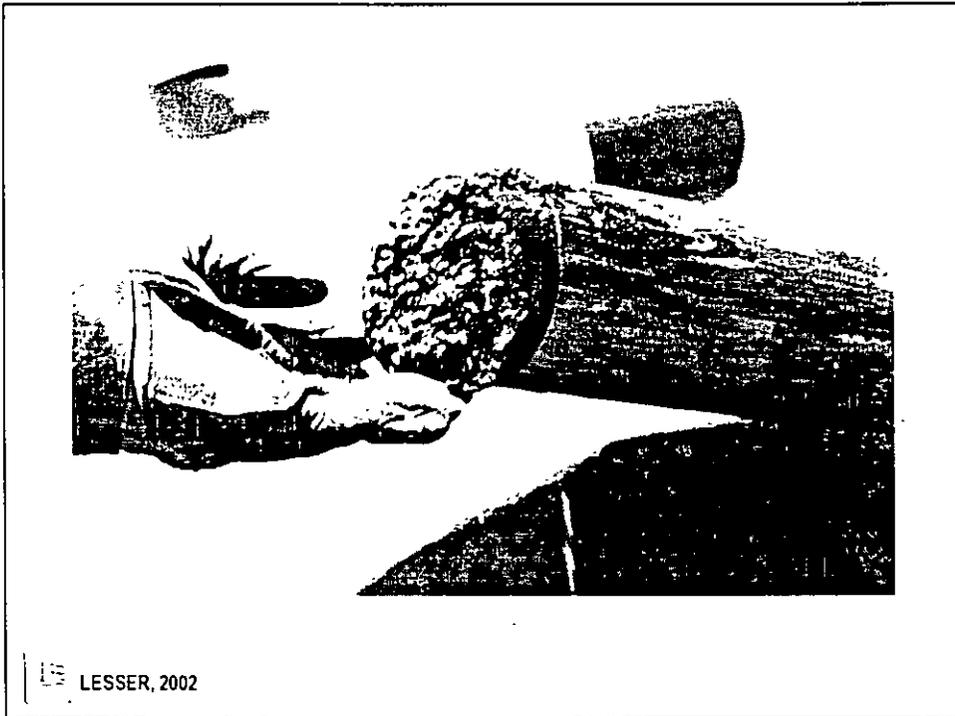


LESSER, 2002



LESSER, 2002

Muestras de agua y producto libre

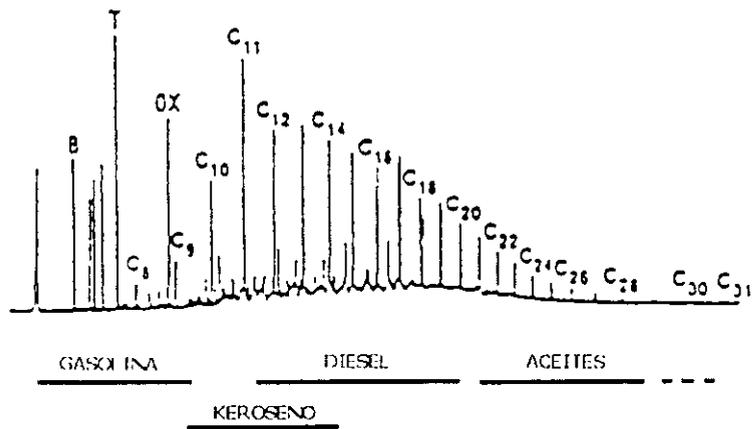


LES LESSER, 2002

- Identificación de hidrocarburos mediante cromatografía

LESSER, 2002

Cromatograma de mezcla de hidrocarburos



CRONATOGRAMA DE MEZCLA DE
HIDROCARBUROS (MODIFICADA
DE SENN AND JOHNSON, 1995)

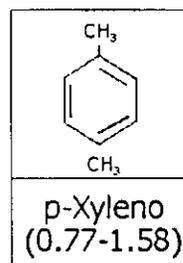
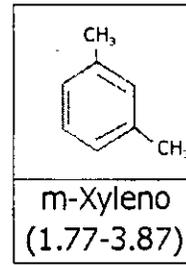
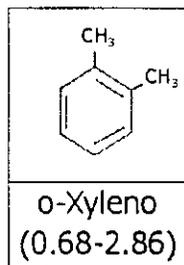
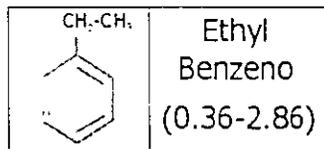
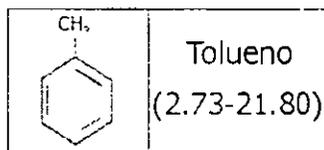
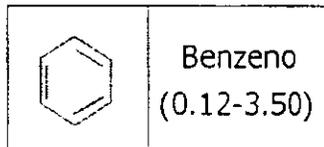
Figura 3

GASOLINAS

- Hidrocarburos Monoaromáticos

 LESSER, 2002

BTEX



 LESSER, 2002

Cromatograma de una gasolina

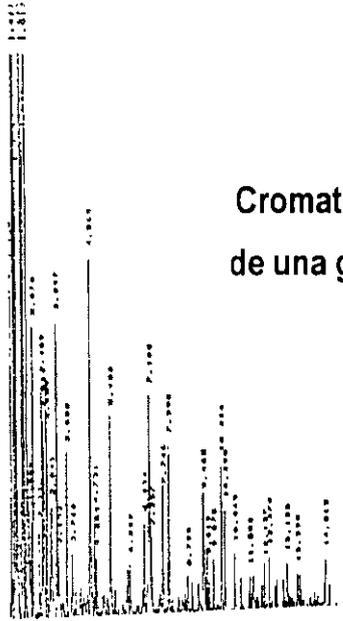


Figura 4

LESSER, 2002

DIESEL

Hidrocarburos poliaromaticos

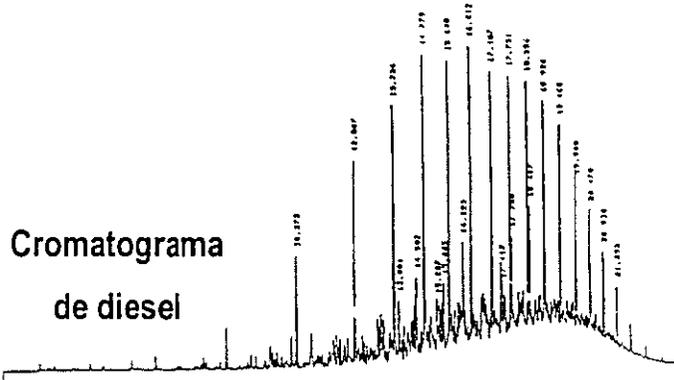
Antraceno

Fenantreno

Naftaleno

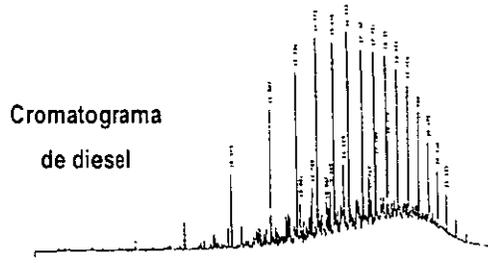


Figura 5



LESSER, 2002

Cromatograma de gasolina



LESSER, 2002

KEROSINA

Hidrocarburos poliaromáticos

Antraceno

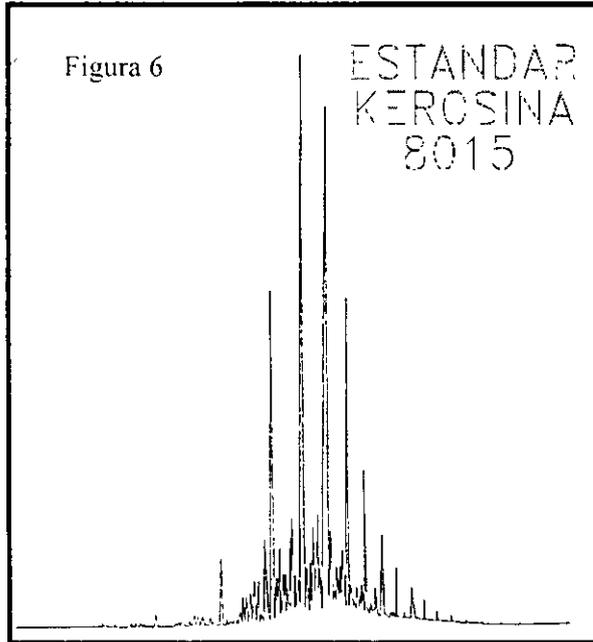
Fenantreno

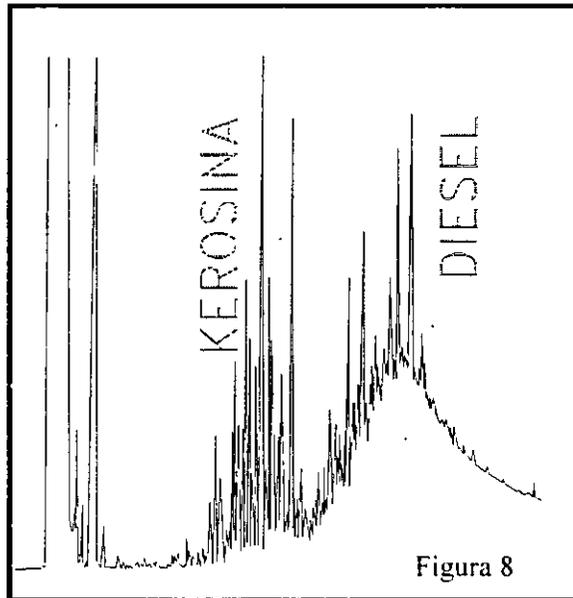
Naftaleno



Figura 6

ESTANDAR
KEROSINA
8015





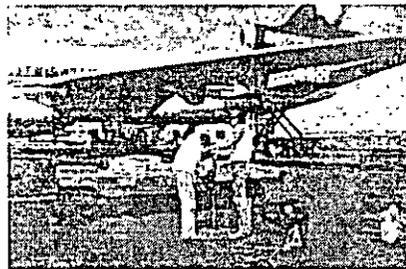
TURBOSINA

Hidrocarburos poliaromaticos

Antraceno

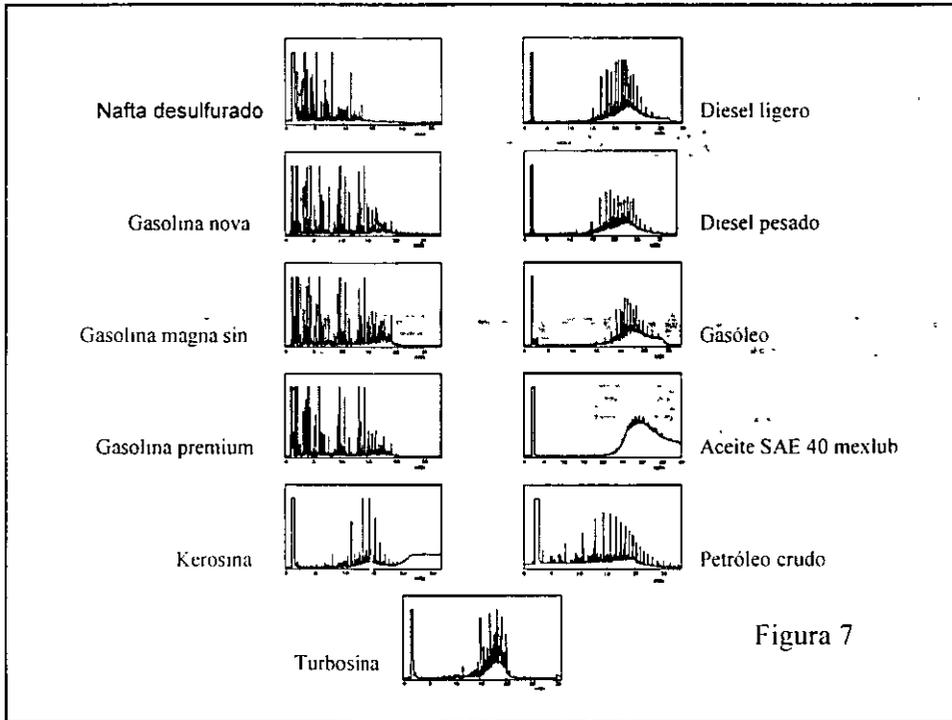
Fenantreno

Naftaleno

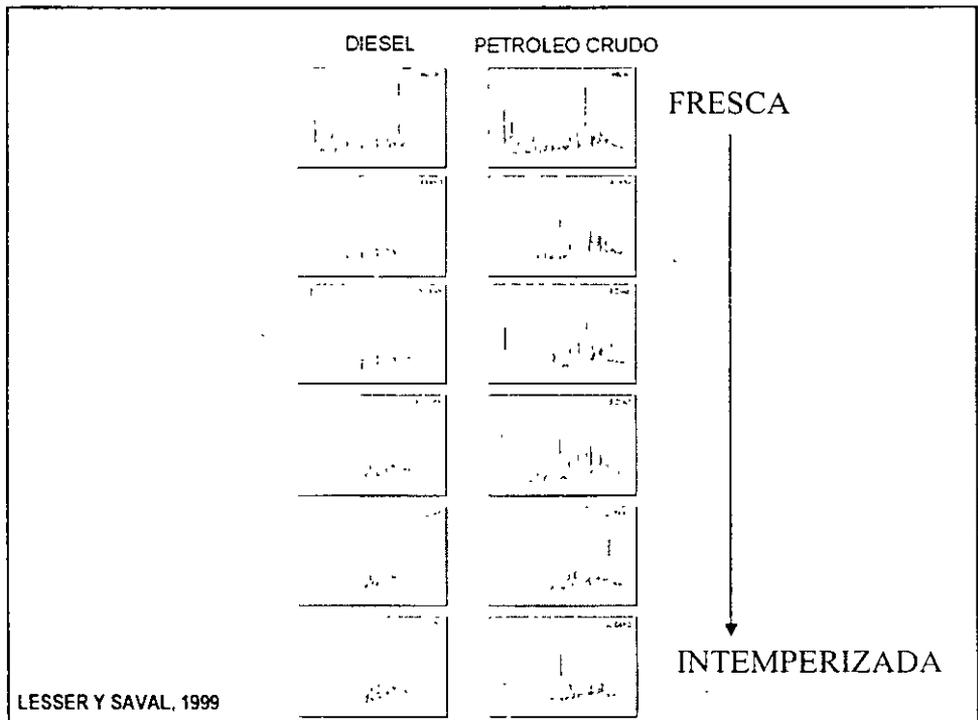
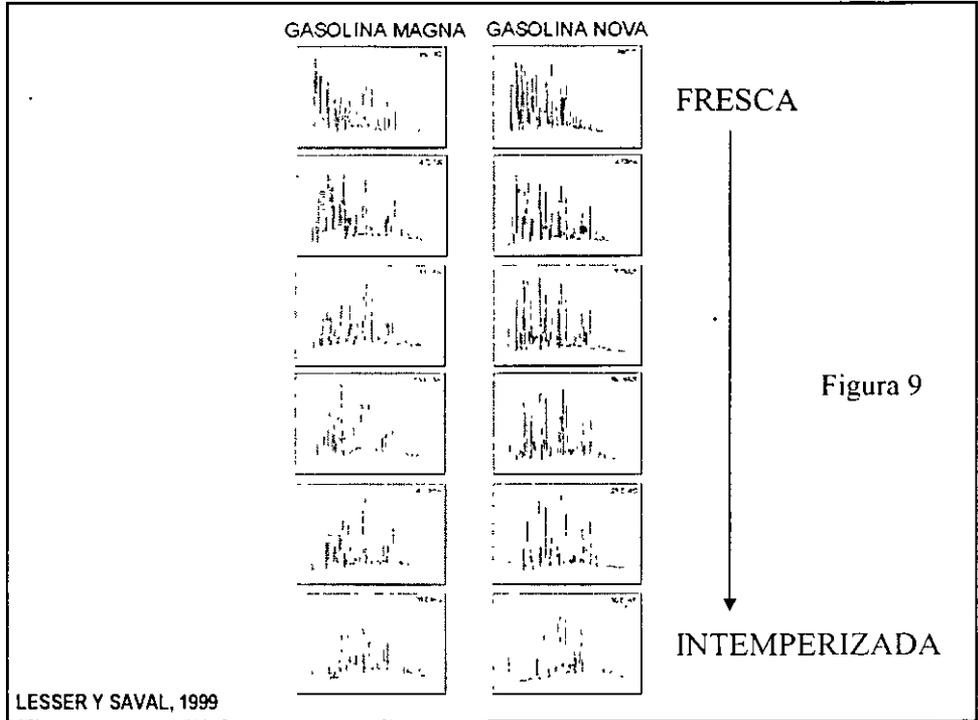




- Estandares
(Huellas digitales)

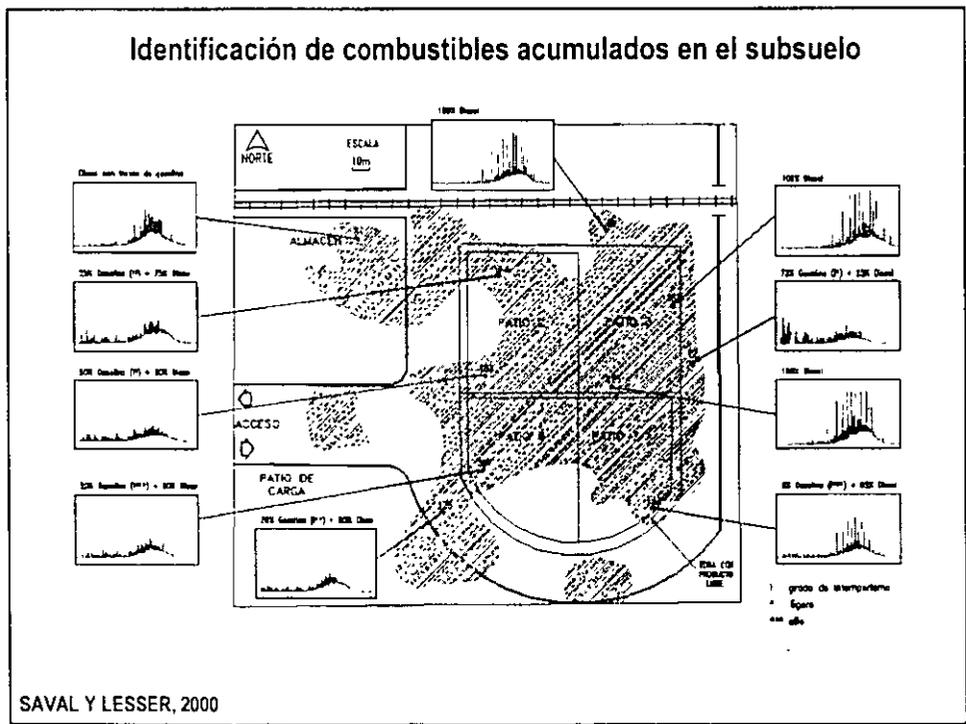


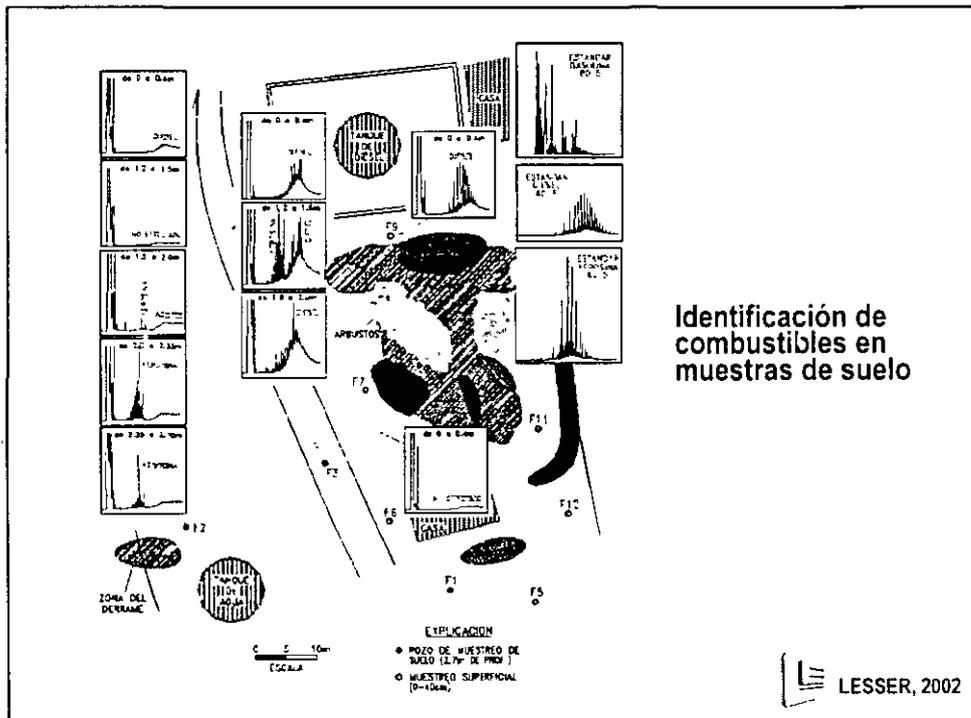
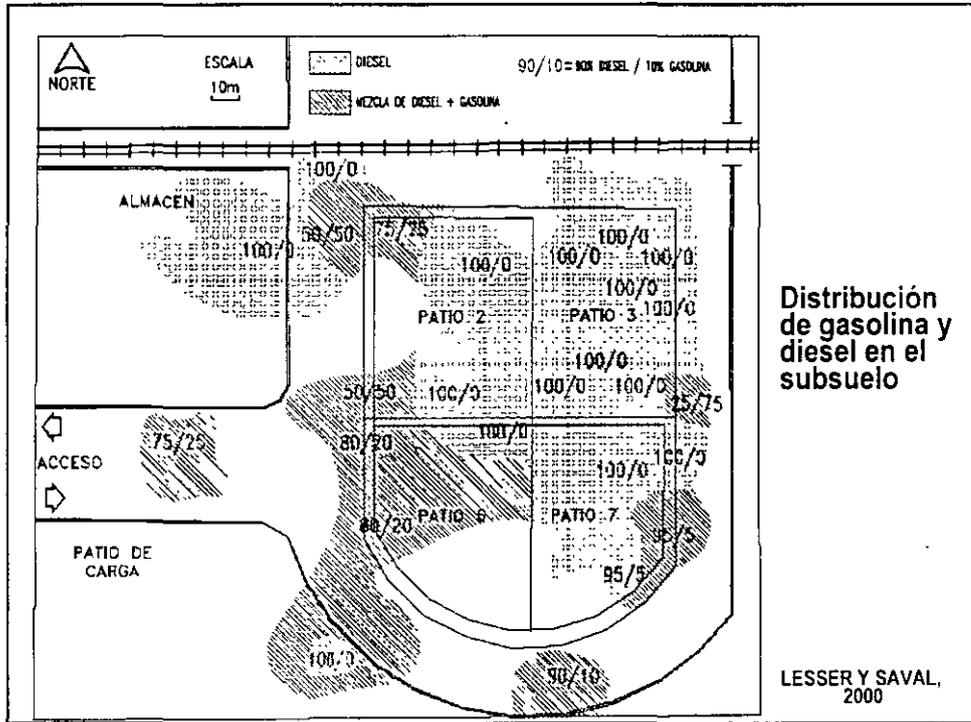
- Intemperismo de los combustibles



MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS Y PLOMO ORGÁNICO EN MUESTRAS DE SUELO Y AGUA	
HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETROLLO	EPA-418-1
HIDROCARBUROS RANGO GASOLINA HIDROCARBUROS RANGO DIESEL	EPA-8015-B
(HC LIGEROS) MONOAROMÁTICOS BTEX, MTBE	EPA-8260
(HC PESADOS) POLIAROMÁTICOS	EPA-8310
PLOMO ORGÁNICO	QA-025
PLOMO TOTAL	EPA-7420

LESSER, 2002





CONCLUSIONES

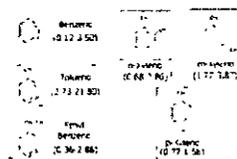
Entre los principales combustibles contaminantes de acuíferos se encuentran la gasolina, el diesel, la kerosina y la turbosina.

Para la identificación y cuantificación de combustibles se realizan análisis por cromatografía de gases.

Con un perfil cromatográfico es posible determinar si corresponde a un producto fresco o intemperizado.

El BTEX, en especial el benceno, son constituyentes de las gasolinas. Es soluble en agua, tóxico y cancerígeno.

Los poliaromáticos, constituyentes del diesel, kerosina y turbosina, por ser de solubilidad limitada, su riesgo en agua es menor.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS; IDENTIFICACIÓN DE
PRODUCTO LIBRE EN EL SUBSUELO**

**EXPOSITORES: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DEL 2002**

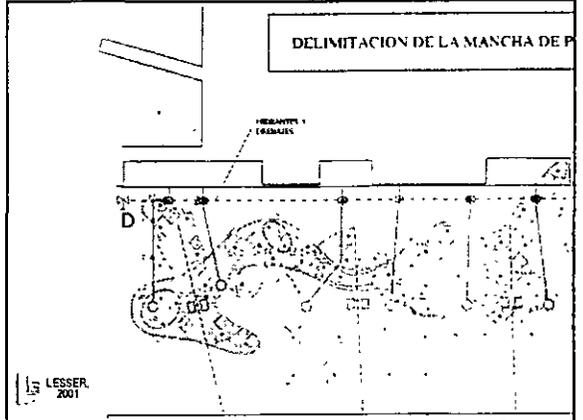
CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS; IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTO LIBRE EN EL SUBSUELO

Por: Dra. Susana Saval Bohorquez

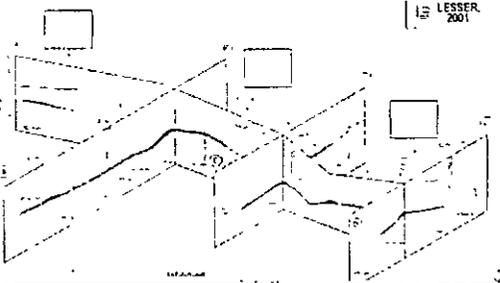
Ing. Juan Manuel Lesser Illades

A través de pozos se obtuvieron muestras de agua y producto libre del subsuelo en un terreno dentro de la Ciudad de México. El objeto de esta presentación es el de mostrar las características del producto libre encontrado el cual corresponde a turbosina. Las muestras se sometieron a un análisis cromatográfico de acuerdo a una modificación del método EPA 8015. Como referencia se incluyó el cromatograma de la turbosina fresca, el cual bajo las condiciones de análisis, se obtuvo en el intervalo de 10 a 20 minutos. También se incluyó el cromatograma de una mezcla de hidrocarburos conocidos que contienen de 10 a 19 átomos de carbono ($C_{10} - C_{19}$). Por comparación de estos cromatogramas de referencia, se puede asumir que la turbosina contiene hidrocarburos entre C_{10} y C_{14} , aunque también se encuentran mínimas cantidades de hidrocarburos con C_9 . Los cromatogramas de cada muestra se compararon con el estándar de turbosina, así como con el de átomos de carbono con la finalidad de estimar su grado de intemperismo (i), el cual se asignó de la siguiente forma: $i = 1$ al producto menos intemperizado que por lo general se refirió a la pérdida de hidrocarburos C_{10} . $i = 2$ correspondió a un grado de intemperización intermedio, que fue la pérdida de hidrocarburos C_{10} y una disminución en el tamaño de los picos más representativos. $i = 3$ se asignó al producto más intemperizado que describió la pérdida de hidrocarburos C_{10} , una disminución en el tamaño de los picos más representativos y en general, una desviación del perfil típico. Se esperaba que las muestras de producto libre de colores más oscuros fueran las que presentaran valores de $i = 3$, es decir, con mayor grado de intemperización, pero no en todos los casos ocurrió de manera tan marcada. También se clasificaron las muestras de acuerdo a la coloración, asignándole un 0 a la turbosina cristalina. Se marcaron cruces de acuerdo a la coloración, de 1+, 2+, 3+, 4+ y 5+, correspondiendo el 5+ al color más oscuro. A pesar de que en algunas muestras no hubo una franca coincidencia entre la coloración y los análisis cromatográficos, se intentó ilustrar la distribución del producto libre en función de su grado de intemperización, interpretado como una modificación en la química de sus componentes. Para esto se asumió que los grados de intemperización 2 y 3 finalmente representan una mayor alteración química que sí corresponde a productos de fugas más antiguas, las cuales incluso podrían corresponder a diferentes eventos de derrame aún en un solo punto de fuga. Al integrar los resultados de la clasificación del producto libre por su coloración y los análisis cromatográficos se puede establecer que, el color que adquieren las muestras es un indicativo del tiempo que el combustible ha pasado alojado en el subsuelo, pero no es regla general que el color más oscuro se refiera a la mayor modificación en su composición química. Otros factores como el intercambio gaseoso en el subsuelo y la facilidad con la que la materia orgánica de las arcillas libera compuestos pigmentados en presencia de combustibles, son también elementos que contribuyen de manera importante a definir las características del combustible contaminante que se extrae del subsuelo.

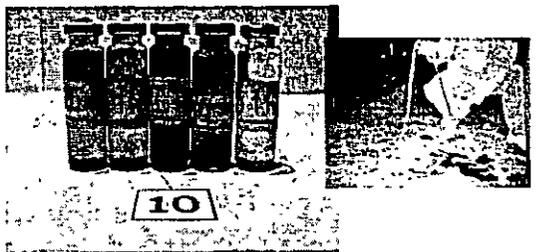
CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS.
IDENTIFICACION DE PRODUCTO LIBRE
EN EL SUBSUELO



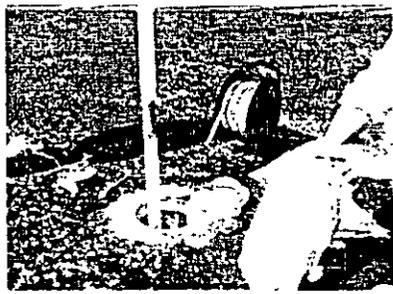
ISOMETRICO MOSTRANDO LA DISTRIBUCION DE
VOLATILES Y PRODUCTO LIBRE EN EL SUBSUELO

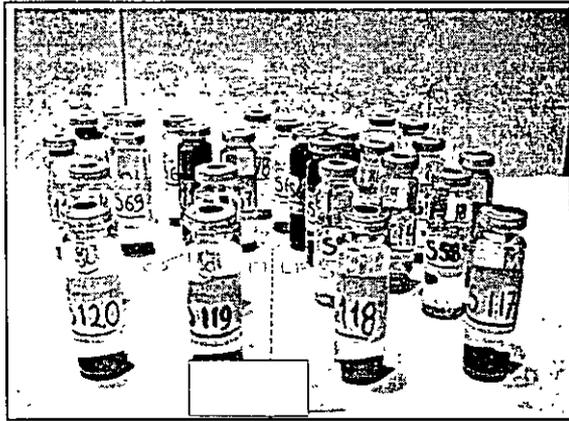
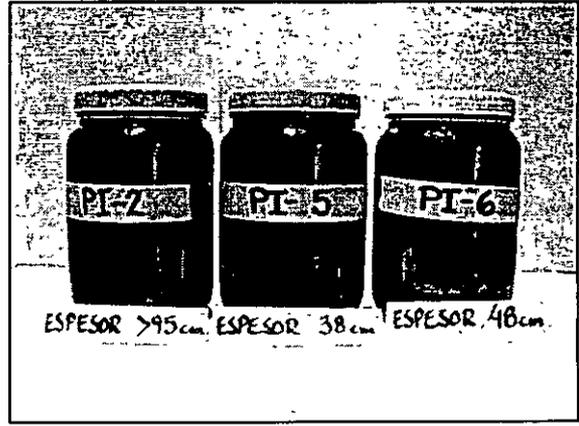
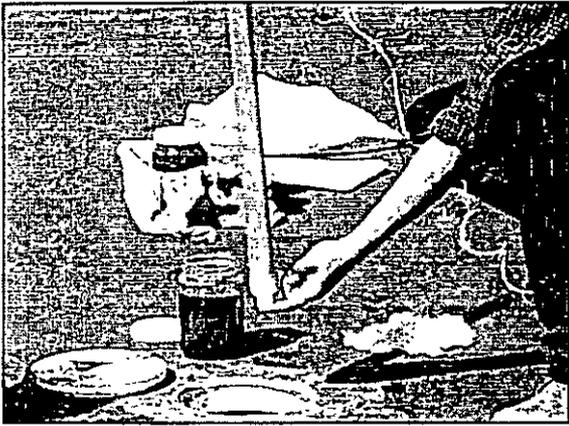


CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO LIBRE



RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

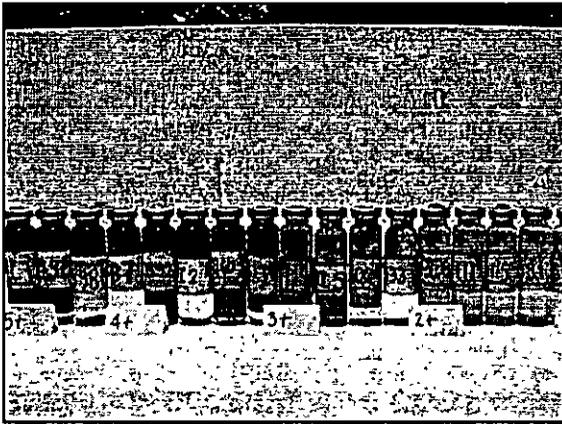




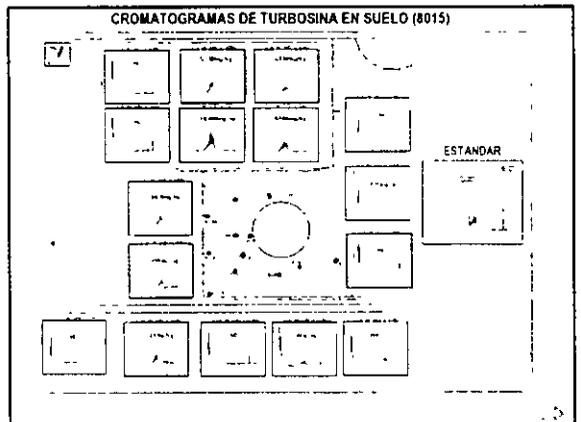
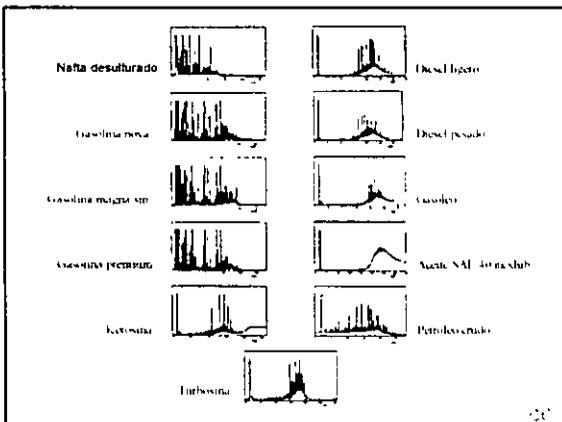


IDENTIFICACION POR COLOR

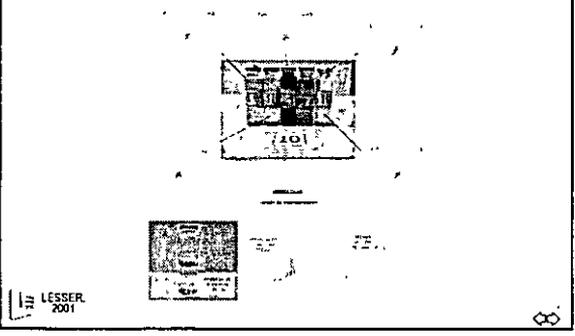




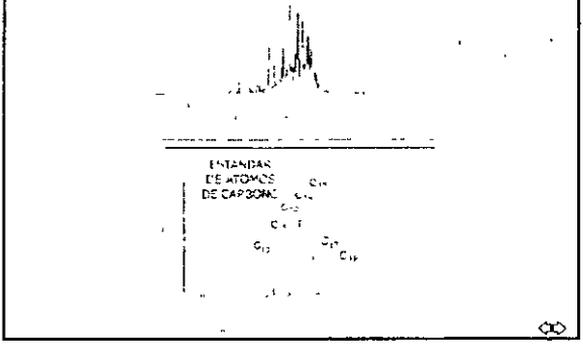
**IDENTIFICACION POR
CROMATOGRAFIA**



DETERMINACION DEL GRADO DE INTEMPERISMO DEL PRODUCTO LIBRE

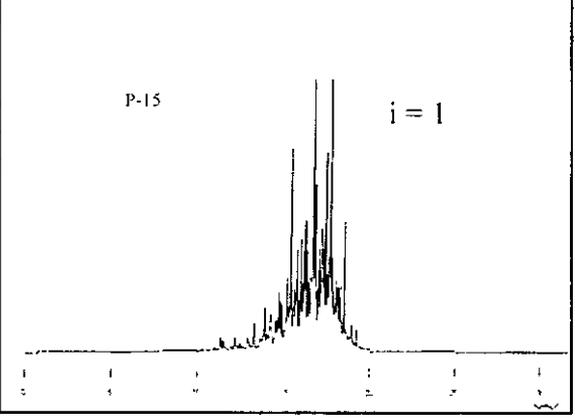


ESTANDAR DE TURBOSINA FRESCA



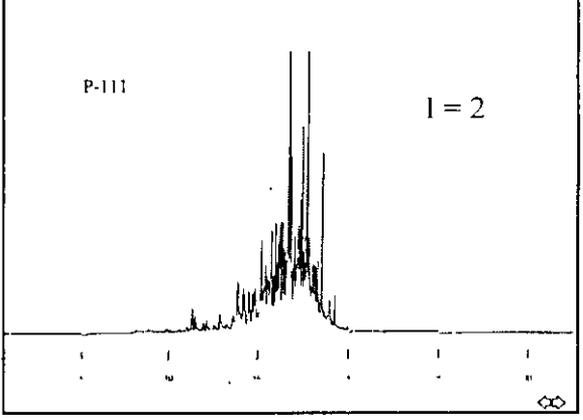
P-15

i = 1



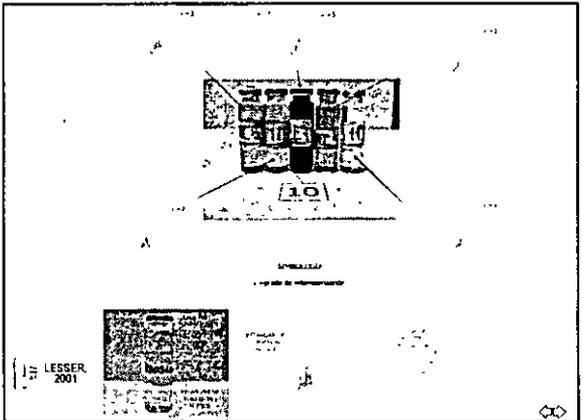
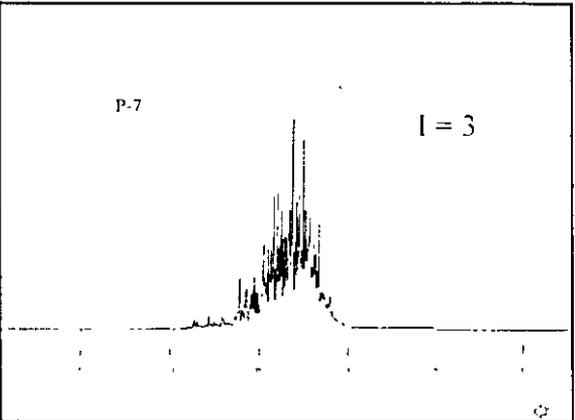
P-111

l = 2



P-7

l = 3



CONCLUSIONES

El producto libre puede ser clasificado mediante cromatografía

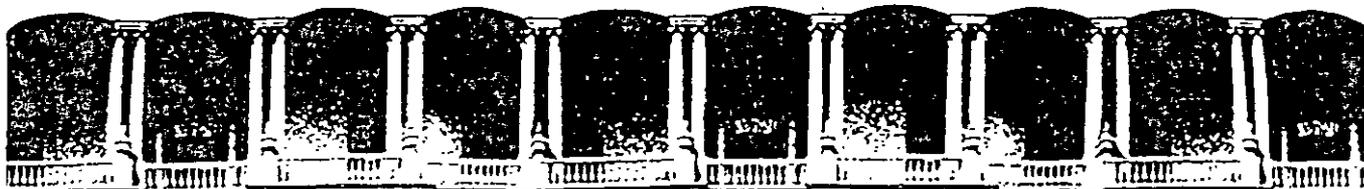
Se puede deducir su grado de intemperismo

En este trabajo, la clasificación de producto libre por color y análisis cromatográfico, permitió determinar que

El color que adquieren las muestras es un indicativo del tiempo que el combustible ha permanecido en el subsuelo, pero no es regla general

Otro factor que influye en el color, es la facilidad con que la materia orgánica de las arcillas libera compuestos pigmentados.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**REMEDIACIÓN IN SITU DE UN SUELO ARCILLOSO CONTAMINADO CON
HIDROCARBUROS EN FASE LÍQUIDA Y ADSORBIDOS**

**EXPOSITORES. ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

REMEDIACIÓN *IN SITU* DE UN SUELO ARCILLOSO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS EN FASE LÍQUIDA Y ADSORBIDOS

Juan Manuel Lesser. Lesser y Asociados, S.A. de C.V.
Río Guadalquivir 3 Col. Pathé, Querétaro 76020, Qro. México
lesserjuanm@infosel.net.mx

Susana Saval*. Instituto de Ingeniería, UNAM
Apdo. Postal 70472 Cd. Universitaria 04510, D.F. México
ssb@pumas.iingen.unam.mx

RESUMEN

El subsuelo del sitio de estudio, que corresponde a un terreno industrial, está constituido por materiales arcillosos que se encuentran saturados y dan origen a un acuitardo cuyo nivel freático se ubica a alrededor de 2 metros de profundidad. Como producto de derrames accidentales que ocurrieron en el pasado, se acumularon hidrocarburos en fase líquida con un espesor entre 10 y 30 cm. La baja permeabilidad de las arcillas, del orden de 1×10^{-9} m/seg, ha impedido que los hidrocarburos circulen grandes distancias, limitando el área de afectación a una zona relativamente reducida. Los hidrocarburos en su mayoría corresponden a diesel y en otros casos a mezclas de diesel con gasolina. Se inició la **remediación física** que consistió en la extracción del producto libre, del que se recuperaron 13,000 litros en 4 meses. Después de realizar varias pruebas en el laboratorio, se aplicó una **remediación química *in situ***, mediante la inyección de agentes tensoactivos en solución y la extracción del licor de tratamiento, es decir, la mezcla de agua subterránea, hidrocarburos disueltos y agentes tensoactivos. El suelo de la zona tratada mostró una reducción importante en la concentración de diesel y gasolina. Finalmente, el licor de tratamiento se sometió a una **biorremediación** en reactores a nivel piloto en superficie, donde se abatió la concentración de gasolina y la concentración de diesel se redujo de más de 17000 mg/l a menos de 350 mg/l.

Palabras clave: agentes tensoactivos, desorción, remediación física, remediación química, biorremediación

DESCRIPCIÓN DEL SITIO

El sitio de estudio es una estación de almacenamiento de combustibles para abastecimiento de una zona industrial, cuya superficie de aproximadamente 6.5 hectáreas, está pavimentada. En estudios previos se encontró presencia de hidrocarburos en fase libre flotando sobre el nivel freático, que ocasionan lecturas de hidrocarburos volátiles superiores a 10000 ppm (1% v/v) en prácticamente todo el predio. La zona corresponde a una extensa planicie caracterizada por una cubierta de materiales arcillosos con un espesor de alrededor de 40 metros. Existen horizontes de arena fina con arcilla, así como limos en diferentes proporciones, los cuales se encuentran saturados a partir de los 2 metros de profundidad, a la cual se detectó la presencia de producto en fase libre en espesores entre 10 y 30 cm de espesor. Las pruebas realizadas en campo indicaron que la permeabilidad en los 2

m superficiales varía entre 10^{-9} y 10^{-10} m/seg, por lo que las arcillas se comportan como un acuitardo que absorbe y almacena agua, pero presenta poco movimiento (Lesser y Saval, 1999). De los resultados de análisis se obtuvo la distribución de hidrocarburos en el subsuelo, se encontró que en su mayoría fue diesel en concentraciones tan altas como 20000 mg/kg, mientras que la gasolina se encontró en concentraciones menores a 1000 mg/kg. Se detectó la presencia de plomo orgánico y de metilterbutiléter lo cual indicó que se trata de gasolinas antiguas y oxigenadas, algunas de ellas con bajo grado de volatilización por estar confinadas en el subsuelo. Prácticamente no se detectaron benceno, tolueno y etilbenceno, pero si estuvieron presentes los xilenos, así como hidrocarburos poliaromáticos constituyentes típicos del diesel. A pesar de la presencia de producto libre en el subsuelo el riesgo a la salud y el riesgo geohidrológico resultaron ser bajos (Saval y Lesser, 1999).

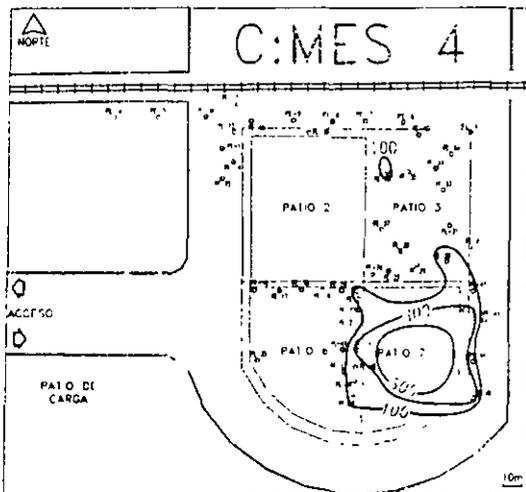
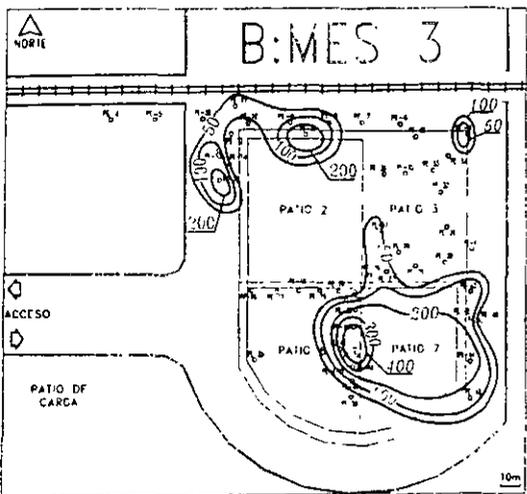
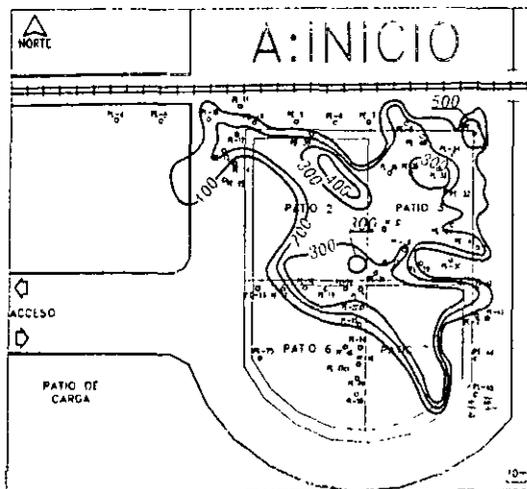


FIGURA 1.-CONFIGURACION Y EVOLUCION DE LA MANCHA DE PRODUCTO LIBRE
PE=POZO DE EXTRACCION

REMEDIACIÓN FÍSICA

La mancha de hidrocarburos en el subsuelo se delimitó mediante 274 perforaciones someras en las cuales se midió el espesor de producto libre durante la caracterización del sitio (Lesser y Saval, 1999). La configuración resultante se presenta en la Fig. 1A, en la que se observan espesores promedio entre 10 y 30 cm hacia la porción central del predio. También se presentaron algunas zonas con espesores de hasta 50 cm.

Para la remediación física se tomó como base la técnica de bombeo - tratamiento - inyección (Mackay and Cherry, 1989; Suthersan, 1997). Los componentes del sistema de remediación incluyeron: pozos de extracción, bomba, caja separadora y pozos de inyección. La bomba y la caja separadora se colocaron en un módulo metálico, que tiene ruedas giratorias para facilitar su movimiento aún en zonas de difícil acceso (figura 2).

Se perforaron 50 pozos de extracción con diámetro de 8.9 cm y 4 m de profundidad. En su interior se colocó tubería de PVC hidráulico de 6.35 cm de diámetro, liso de 0 a 1.80 m y con ranurado de 1.80 a 4.00 m. En la boca de los pozos se colocó un tapón de rosca y brocal de concreto. Se calculó el radio de influencia del bombeo en los pozos, considerando una transmisibilidad media de $2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$ y un coeficiente de almacenamiento de 0.05, con ello se obtuvo un radio de 4 metros. Los pozos de extracción se localizaron en puntos donde se permitió el acceso tratando de mantener la equidistancia entre pozos en no más de 8 metros. También se tomó en cuenta la dirección del flujo de las aguas freáticas que previamente se determinó (Lesser y Saval, 1999).

Una bomba a prueba de explosión para la extracción de producto libre, se conectó a una tubería plástica de 2.54 cm de diámetro con 5 derivaciones de 0.64 cm de diámetro interior, con lo cual se realizó el bombeo simultáneo de 5 pozos. Al reducir el caudal se evitó el agotamiento de los pozos y se logró extraer preferentemente el producto líquido localizado en la parte superficial. La mezcla agua / combustible extraída del subsuelo se envió a una caja separadora, diseñada y construida *ad hoc* donde, después de un tiempo de reposo, se permitió la separación de fases por la diferencia de densidades con lo cual se recuperaron agua y combustibles por salidas independientes. El

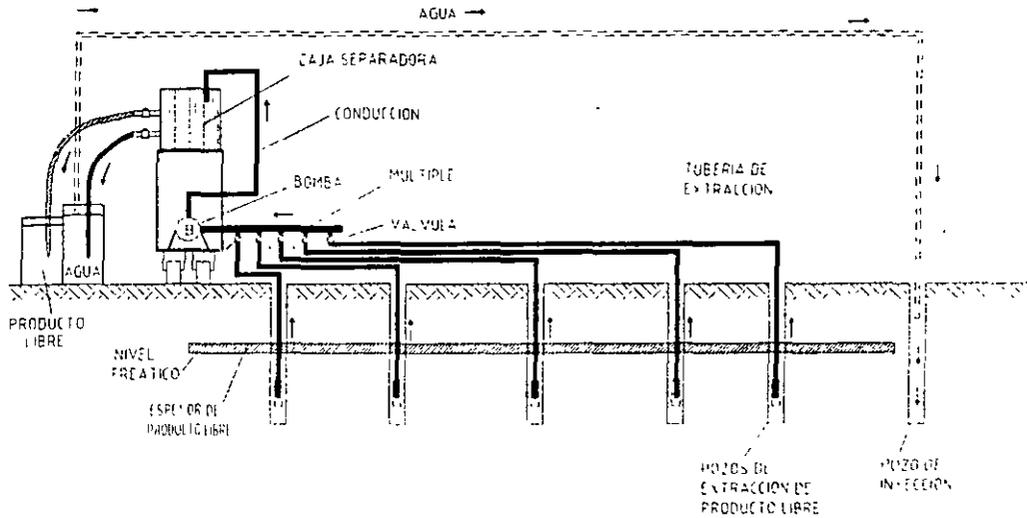


FIGURA 2.-SISTEMA DE EXTRACCION DE PRODUCTO LIBRE

agua libre de combustibles se devolvió al subsuelo inyectándola por gravedad en pozos localizados topográficamente más arriba.

Durante los trabajos de extracción se notó una mayor acumulación de producto libre hacia el patio 6, donde se localizaron un importante número de pozos, esto se tradujo en un mayor volumen de extracción en esa zona. La acumulación de producto se vió favorecida por el movimiento natural de las aguas freáticas que se dió en esa dirección. Después de 3 meses de extracción constante, la mancha de producto libre se redujo de manera importante, de tal forma que en el patio 3 prácticamente desapareció y solo se detectaban trazas, como se presenta en la figura 1B. En los patios 2 y 7, no fue posible perforar pozos de extracción debido a las actividades que ahí se realizaban, por lo que el patio 7 se convirtió en el centro de la mancha de producto libre. Esto último se confirmó en la configuración obtenida a los 4 meses (figura 1C).

El espesor de producto libre mostró una notable disminución, como ejemplo se presentan los valores obtenidos para los pozos PE-27 y PE-50. Cabe hacer notar que para estas mediciones

los pozos se dejaron reposar 3 días, con el fin de asegurar la confiabilidad de las lecturas.

Los dos primeros meses de operación fueron realmente de prueba y perforación de nuevos pozos de extracción en el patio 6, por lo que el volumen de producto libre extraído fue bajo. Entre los meses 3 y 4 la extracción aumentó notablemente. El volumen total de agua subterránea extraída, libre de combustible, fue de 332000 litros, los cuales se inyectaron al subsuelo por gravedad. En la figura 4A se presentan las cifras diarias de agua y producto libre que se extrajeron del subsuelo, aquí se puede apreciar que el ritmo de extracción se mantuvo prácticamente constante. Este comportamiento se reflejó también en la figura 4B, donde se graficaron los volúmenes acumulados y se observa una tendencia al aumento. En las dos gráficas se utilizó una escala logarítmica para facilitar la presentación de los resultados. La elevación del nivel freático, que fue también monitoreada periódicamente, mostró fluctuaciones de hasta 50 cm entre la época de lluvias y de estiaje (fig. 5). Esta situación es importante, ya que al bajar el nivel, los espacios porosos son ocupados por el producto libre y al subir nuevamente el nivel una

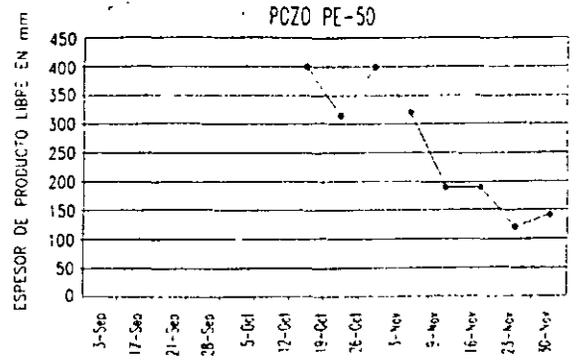
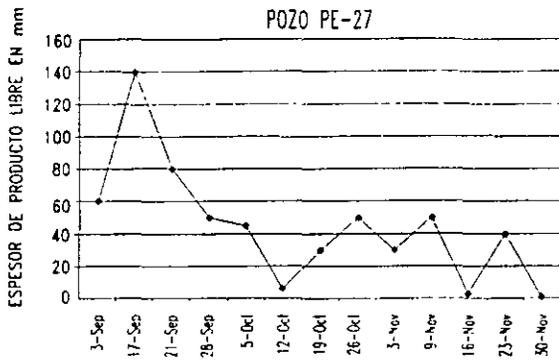


FIGURA 3.-EVOLUCION DEL ESPESOR DE PRODUCTO LIBRE EN POZOS DE EXTRACCION

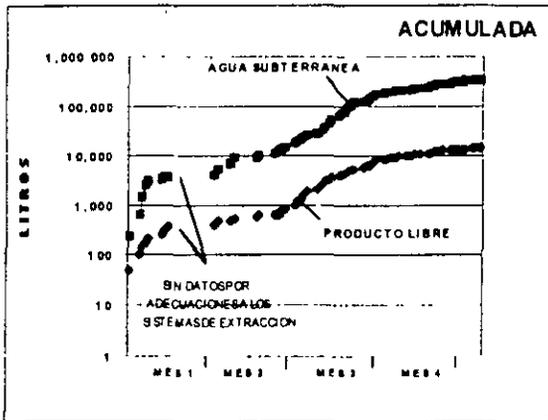
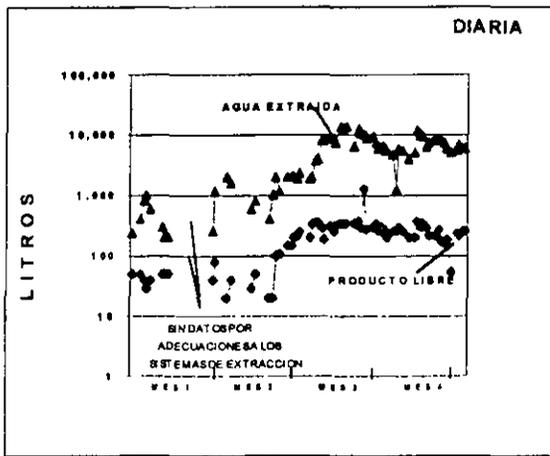


FIGURA 4.- VOLUMEN DE EXTRACCION DE PRODUCTO LIBRE Y AGUA SUBTERRANEA

parte del combustible queda adsorbido por la estructura del suelo y otra queda libre flotando sobre el nivel.

REMEDIACIÓN QUÍMICA *IN SITU*

La remediación química que se aplicó fue un lavado con agentes tensoactivos, que comúnmente se conoce como "flushing". Consiste en desorber los hidrocarburos que están adheridos al material geológico y combinarlos con en el agua para facilitar su extracción (Abdul *et al.*, 1990; Fortin and Anderson, 1997; Liu *et al.*, 1991; Wilson and Wyatt, 1989).

Previamente se realizaron pruebas de tratabilidad química en el laboratorio utilizando columnas de vidrio de 3 cm de diámetro y 40 cm de longitud, empacadas con suelo contaminado extraído del lugar. Las pruebas consistieron en aplicar 4 diferentes formulaciones de agentes tensoactivos, las cuales se eligieron de acuerdo a su facilidad de disolución en grandes volúmenes de agua, su biodegradabilidad, su disponibilidad en el mercado, su seguridad en el manejo y su costo. La efectividad del tratamiento en las columnas se pudo observar a simple vista, ya que la solución de tensoactivos al 5% en agua que generalmente fue incolora, cambió a un color obscuro a la salida de la columna. Esto se interpretó como una desorción de los hidrocarburos, mientras el agente tensoactivo fluye a través del suelo contaminado. Este fluido de color obscuro, que se denominó licor de tratamiento, es una sola fase que toma la coloración de los combustibles presentes. La efectividad de cada formulación se verificó al cuantificar la concentración de hidrocarburos en

el licor de tratamiento. El producto que dió los mejores resultados en columnas se utilizó para la prueba de demostración en campo.

Esta técnica de remediación química es efectiva únicamente si se mantiene una constante dinámica en el subsuelo, la cual se logró a través de la extracción e inyección de acuerdo al sentido del flujo subterráneo, con ello se promovió la movilización de los hidrocarburos que están adsorbidos en el material geológico.

Durante la remediación química se inyectaron agentes tensoactivos en pozos localizados en el patio 3, en los que ya no se detectó la presencia de producto en fase libre. Cada volumen de aplicación fue de 500 litros, se dejó fluir por gravedad y enseguida se inyectaron por lo menos 3000 litros de agua proveniente del sistema de separación, antes de una nueva inyección de tensoactivos. Se dió seguimiento al movimiento de los tensoactivos en el subsuelo, los cuales incluso sirvieron como trazadores por el color y apariencia del licor de tratamiento.

Después de un mes de haber aplicado los agentes tensoactivos se realizó un muestreo

continuo en el punto identificado como 356, el cual se localizó dentro del patio 3 muy cerca del pozo donde se inyectaron tensoactivos y en dirección a donde corre el agua subterránea (figura 6). Los resultados se presentan en forma de perfil en la misma figura, el cual se comparó con el del sondeo 187, localizado dentro del patio 2 que meses atrás se localizaba dentro de la mancha central de producto libre y contenía diesel en concentración superior a 12000 mg/kg. Como consecuencia de las acciones de remediación, la concentración de diesel se redujo a menos de 3000 mg/kg.

BIORREMEDIACIÓN

El licor de tratamiento fue sometido a pruebas piloto de biorremediación, utilizando cultivos de bacterias degradadoras de diesel y gasolina que se desarrollaron en el laboratorio. La biorremediación consistió en promover la actividad de las bacterias degradadoras por adición de sales minerales en forma de fertilizantes y suministro de oxígeno. Se llevó un registro del pH como una medida indirecta de la actividad microbiana y al final de cada lote que

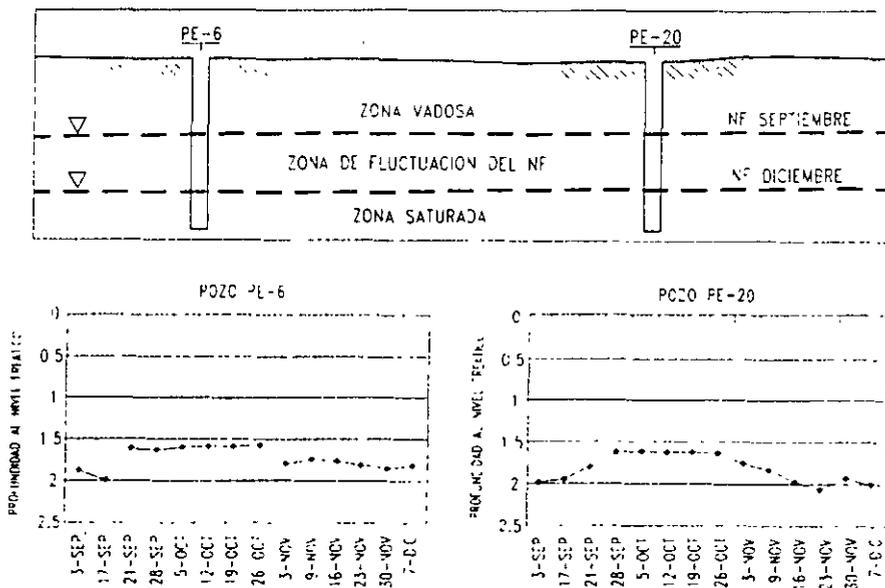


FIGURA 5.-VARIACION DE LA PROFUNDIDAD AL NIVEL FREATICO (NF) EN POZOS DE EXTRACCION

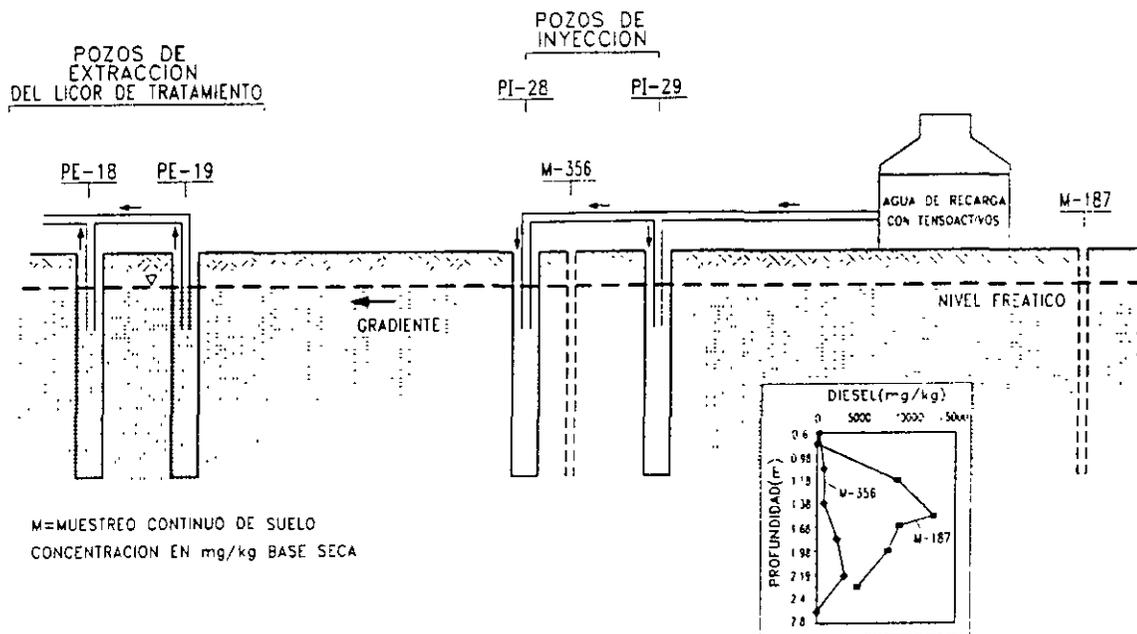


FIGURA 6.-REMEDIACION QUIMICA IN-SITU: DESORCION DE HIDROCARBUROS CON AGENTES TENSOACTIVOS

duró en promedio 8 días se cuantificó la concentración de combustibles residuales y se confirmó la presencia de bacterias degradadoras. En todas las pruebas se redujo notablemente el contenido de combustibles de 20000 mg/l a menos de 300 mg/l para diesel y el contenido de gasolina fue no detectable. Sin embargo, se hicieron evidentes el largo tiempo requerido para reducir la concentración de combustibles por esta vía, así como los altos requerimientos de oxígeno.

Los resultados de las pruebas son una evidencia de que la biorremediación del agua subterránea puede realizarse con éxito, siempre y cuando esté acoplada a la remediación química con agentes tensoactivos y a la extracción/inyección de agua subterránea.

DISCUSION

La remediación de suelos contaminados es un tema de actualidad a nivel mundial, pero pocos estudios de casos específicos en México han sido publicados. Lo presentado aquí constituye una experiencia en campo donde se acoplaron tres técnicas de remediación cuya base de funcionamiento es diferente, que visto de otra forma constituyen un tren de tratamiento en el siguiente orden: una remediación física, seguida

de una remediación química y finalmente una biorremediación.

De hecho, la remediación de suelos debe enfocarse de esa manera, dado que una sola técnica no es suficiente para remover los contaminantes de un suelo afectado.

El aspecto más importante del estudio realizado, es que se trata de un suelo arcilloso, cuya característica impermeable hace más difícil la aplicación de cualquier técnica de remediación. Por ejemplo, en la etapa inicial de extracción del producto libre, se probaron diferentes estrategias de bombeo, que no funcionaron adecuadamente debido a que el propio suelo impone un caudal de extracción bajo. Esto último se traduce en tiempos muy largos y costos muy elevados para la remediación, que se deben reducir. En el caso específico de este estudio se decidió perforar un importante número de pozos cuyo radio de influencia pudiera cubrir el área de mayor afectación, además de atender la extracción de manera simultánea en cinco pozos diferentes con cada unidad de bombeo y la inyección de agua libre de hidrocarburos en pozos aguas arriba. Con estas tres acciones se aumentó el volumen de extracción y se logró mantener a un ritmo constante.

Por lo que respecta a la remediación química, su aplicación en las zonas donde se abatió el producto en fase libre, logró desorber los hidrocarburos que se habían quedado en el material geológico. Aunque los resultados fueron evidentes a simple vista, los análisis realizados a muestras de suelo a 3 m de profundidad, comprobaron la eficiencia del tratamiento. Dos elementos fueron importantes en este caso, la elección de los agentes tensoactivos a partir de las pruebas de tratabilidad en el laboratorio y la constante inyección de agua al subsuelo después de cada aplicación. Aquí conviene mencionar, que el hecho de devolver al subsuelo el agua extraída con la finalidad de acelerar el flujo subterráneo trae una ventaja adicional, ya que si se dejara en superficie sería necesario darle algún tratamiento antes de su disposición final.

En lo que toca a la biorremediación del agua subterránea, técnicamente funcionó bastante bien, ya que se redujo de manera importante la concentración de combustibles. Sin embargo, los altos requerimientos de oxígeno hacen muy costoso el tratamiento, por lo que todavía se requiere de más trabajo para facilitar su aplicación en mayor escala.

CONCLUSIONES

Se desarrolló una estrategia adecuada para la extracción de hidrocarburos en fase libre acumulados en el subsuelo de tipo arcilloso, con lo cual se avanzó de manera importante en la remediación física.

Se demostró la efectividad de la remediación química *in-situ* mediante la inyección al subsuelo de agentes tensoactivos disueltos en agua, los cuales lograron remover los hidrocarburos adsorbidos al material geológico.

La biorremediación en superficie del agua subterránea fue una técnica efectiva para la degradación de los combustibles presentes, sin embargo, aún no representa una alternativa económica para su aplicación en escala real.

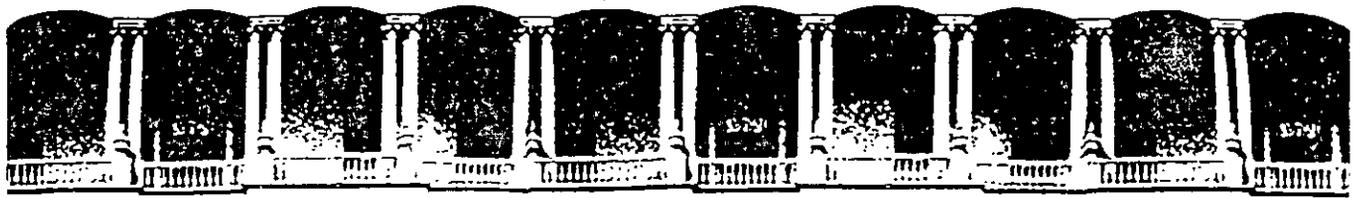
AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue patrocinado por la Gerencia de Protección Ambiental y Salud Ocupacional de Pemex Refinación. Los autores agradecen la participación de Florentino Montiel, Roberto Martínez, Francisco Ordoñez, Héctor Zegarra,

Norma Pérez y Alma Guzmán durante la ejecución de los trabajos en campo y en el laboratorio.

REFERENCIAS

- Abdul A.S., Gibson T.L., and Rai D.N., 1990. Selection of surfactants for the removal of petroleum products from shallow sandy aquifers. *Ground Water* 28: 920-926.
- Fortin W.A. and Anderson M.A., 1997. Enhanced removal of trapped non-aqueous phase liquids from saturated soil using surfactant solutions. *J. Contam. Hydrol.* 24: 247-268.
- Lesser J.M. y Saval S., 1999. Caracterización y comportamiento de la contaminación con hidrocarburos en un suelo arcilloso. Sometido para su publicación a la *Revista de Ingeniería Hidráulica en México*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Liu Z., Laha S. and Luthy R.G., 1991. Surfactant solubilization of polycyclic aromatic hydrocarbon compounds in soil - water suspensions. *Wat. Sci. Tech.* 23: 475-485.
- Mackay D.M. and Cherry J.A., 1989. Groundwater contamination: pump - and - treat remediation. *Environ. Sci. Technol.* 23(6): 630-636.
- Saval S., 1998. Biorremediación: alternativa para la limpieza de suelos y acuíferos contaminados con hidrocarburos. *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Año 10 No. 34, enero-febrero: 6-9.
- Saval S. y Lesser J.M., 1999. Identificación de hidrocarburos derramados al subsuelo y estudio de riesgo en una instalación industrial. Sometido para su publicación a *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Revista de la Federación Mexicana de Ingeniería y Ciencias Ambientales, A.C.
- Suthersan S.S., 1997. Remediation Engineering Design Concepts. Ed. CRC Lewis Publishers. Boca Raton.
- Wilson D.J. and Wyatt J.H., 1989. Soil clean-up by *in situ* surfactant flushing. Theory of micellar solubilization separation. *Sci. Technol.* 24: 905.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**EJERCICIO DETECCIÓN DE ZONA CONTAMINADA POR HIDROCARBUROS
EN SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA**

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

**EJERCICIO DETECCIÓN DE ZONA CONTAMINADA
POR HIDROCARBUROS EN SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA**

PROFESOR: ING. JUAN MANUEL LESSER

**EJERCICIO: CARACTERIZACIÓN DE ZONA CONTAMINADA
POR HIDROCARBUROS EN SUELO**

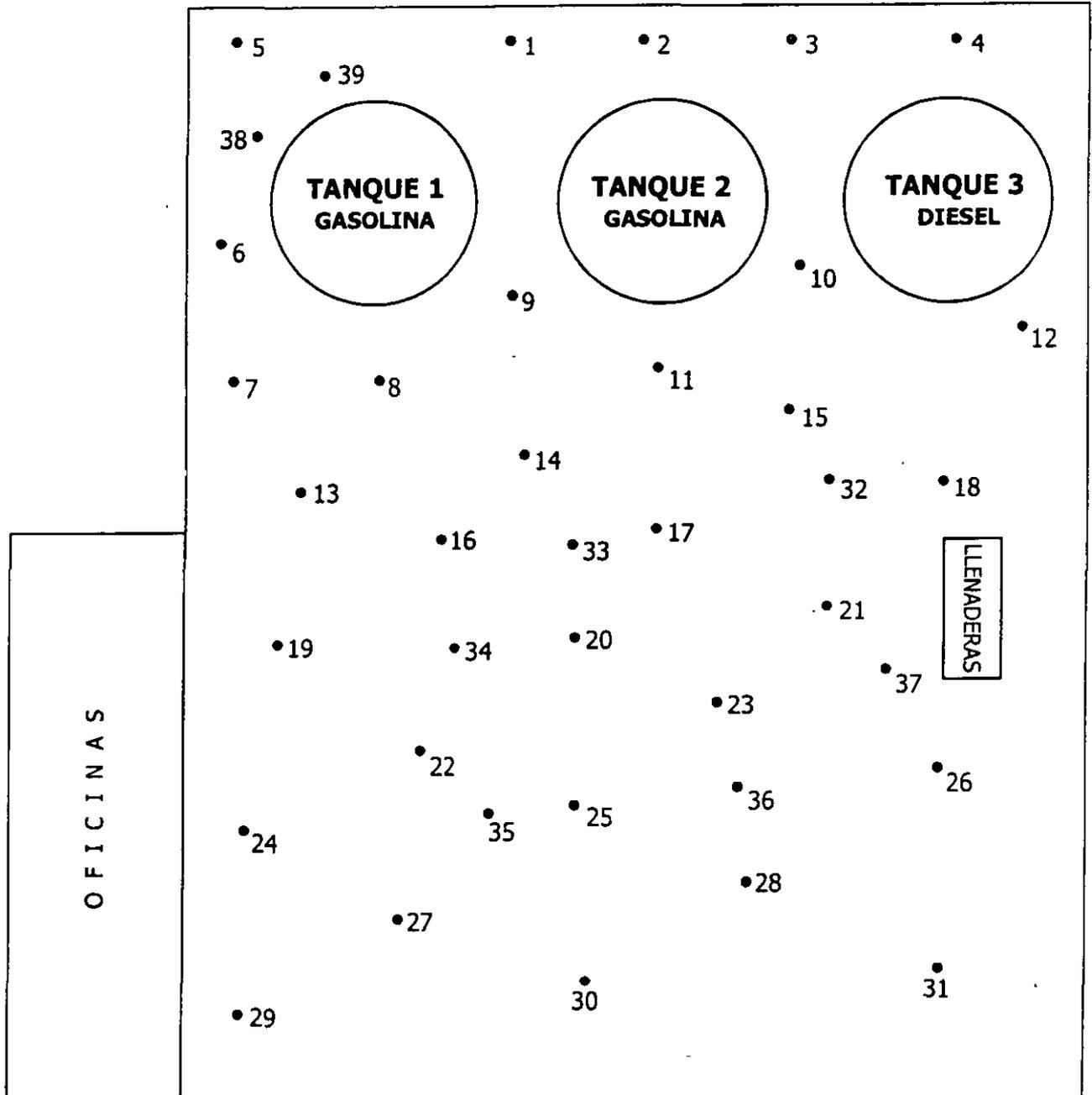
**CONCENTRACIÓN DE HP RANGO DIESEL EN SUELO
EN mg/kg BASE SECA**

POZO No.	HP RANGO DIESEL mg/kg	POZO No.	HP RANGO DIESEL mg/kg
1	ND	21	8508
2	ND	22	6232
3	ND	23	6999
4	ND	24	4342
5	1034	25	6332
6	ND	26	ND
7	ND	27	ND
8	ND	28	ND
9	ND	29	ND
10	ND	30	ND
11	ND	31	ND
12	ND	32	2224
13	ND	33	5103
14	ND	34	5232
15	ND	35	4927
16	2201	36	4432
17	6520	37	4589
18	ND	38	2221
19	ND	39	5230
20	6880		

ND = NO DETECTADO

LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO EN SUELO DE USO INDUSTRIAL,
2,000 mg/kg NOM. EM-138-ECOL-2002

EJERCICIO: CARACTERIZACIÓN DE ZONA CONTAMINADA
POR HIDROCARBUROS EN SUELO EN UNA ZONA INDUSTRIAL UNO.



DELIMITAR LA ZONA CONTAMINADA CON DIESEL EN SUELO, TOMANDO EN CUENTA QUE EL LIMITE MAXIMO PERMITIDO ES DE 2000 mg/kg EN ZONA INDUSTRIAL DE ACUERDO A LA NOM-EM-138-ECOL-2002.

CROMATOGRAMAS DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA INDUSTRIAL UNO

PREGUNTAS:

- IDENTIFICAR EL TIPO DE CONTAMINANTE Y MARCARLO EN EL PLANO
- INTERPRETAR

271	24.123	0.1329	45393
272	24.194	0.0327	10846
273	24.262	0.0636	21892
274	24.311	0.1287	42675
275	24.458	0.0062	2062
276	24.479	0.0067	2220
277	24.522	0.0310	10302
278	24.553	0.0053	1772
279	24.595	0.0104	3477
280	24.607	0.0188	6248

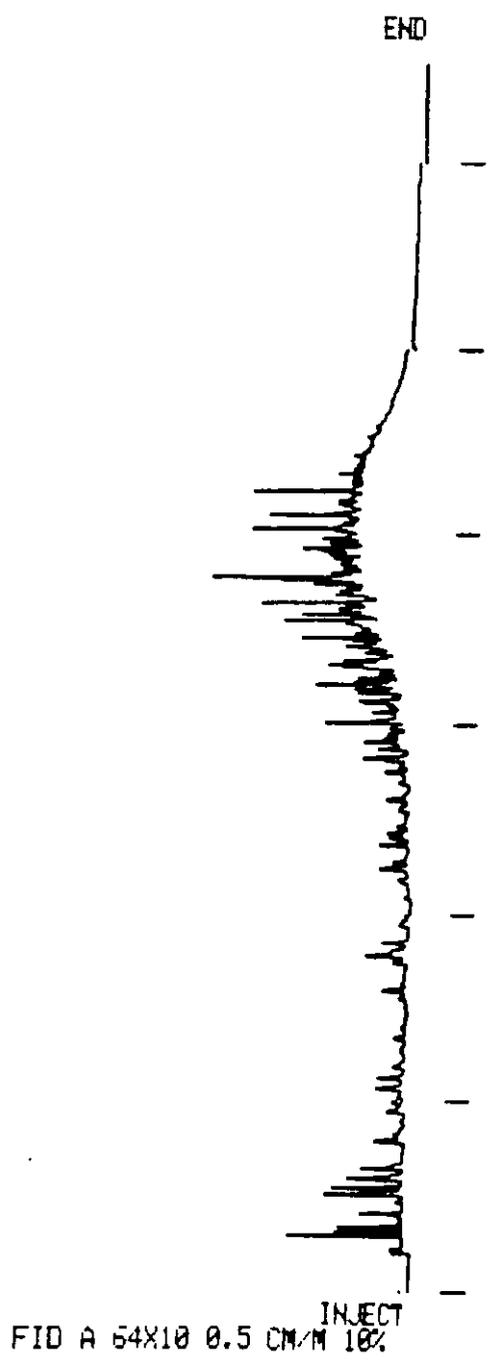
TOTALS: 100.0000 33133941

DETECTED PEAKS: 287 REJECTED PEAKS: 7
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 29

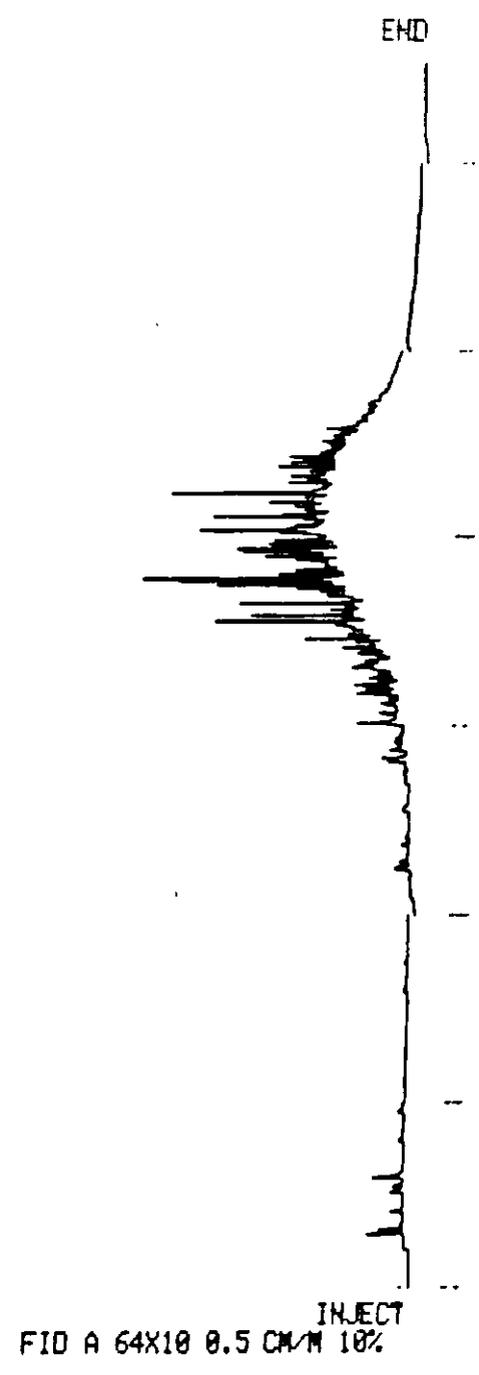
270	27.498	0.0075	2367
271	27.530	0.0074	3256
272	27.554	0.0215	9446
273	27.694	0.0044	1951
274	27.736	0.0046	2030
275	27.779	0.0041	1911
276	27.829	0.0005	3786
277	27.929	0.0057	2536

TOTALS: 100.0000 43838071

DETECTED PEAKS: 287 REJECTED PEAKS: 10
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 25



P.5

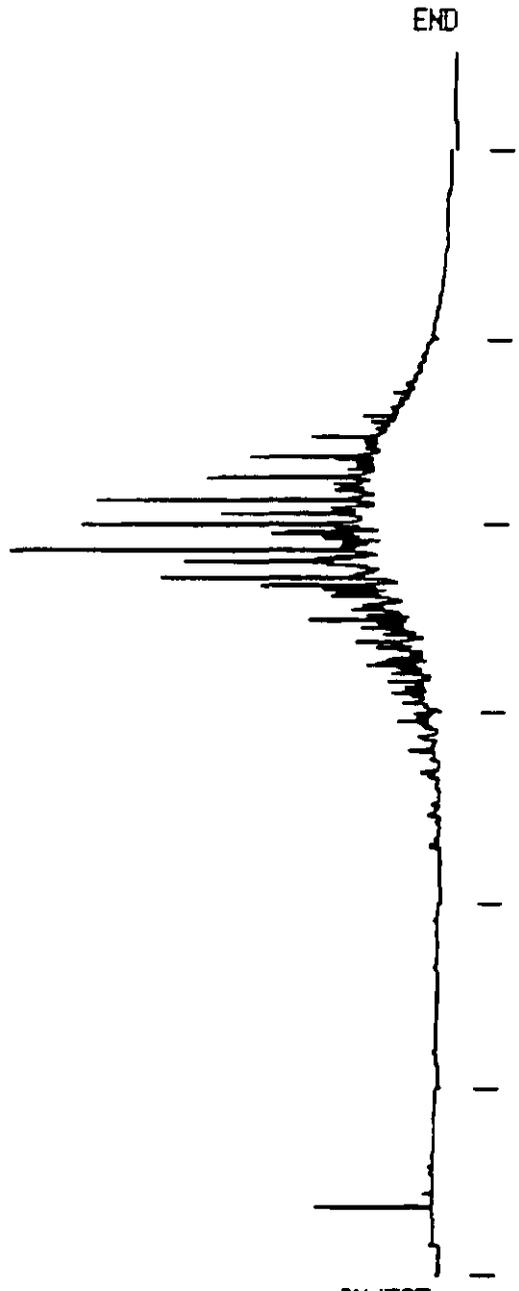


P.23

266	29.188	0.0082	2636
267	29.171	0.0031	1357
268	29.304	0.0212	3225
269	29.384	0.0080	3483
270	29.464	0.0039	1730
271	29.501	0.0080	3519
72	29.625	0.0030	1323
273	29.770	0.0060	2618
274	29.821	0.0101	4413

TOTALS: 100.0000 43491882

DETECTED PEAKS: 287 REJECTED PEAKS: 13
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 23



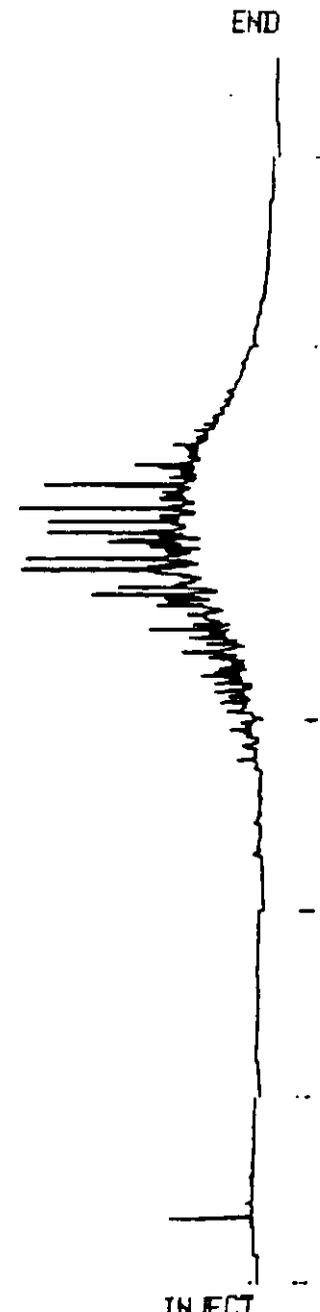
FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-20

264	28.358	0.0031	12933
265	28.517	0.0049	1924
266	28.583	0.0125	4856
267	28.755	0.0137	5363
268	28.780	0.0146	5731
269	28.974	0.0131	5100
270	29.312	0.0066	2618
271	29.334	0.0035	1323

TOTALS: 100.0000 39029974

DETECTED PEAKS: 287 REJECTED PEAKS: 16
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 32



FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-21

247	26.222	0.0258	4668
248	26.265	0.0075	1368
249	26.292	0.0155	2806
250	26.417	0.0466	8418
251	26.583	0.0246	4442
252	26.672	0.0232	4282
	26.805	0.0083	1499
	26.934	0.0072	1383
255	27.046	0.0103	1861

TOTALS: 100.0000 18037172

DETECTED PEAKS: 274 REJECTED PEAKS: 19
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 23



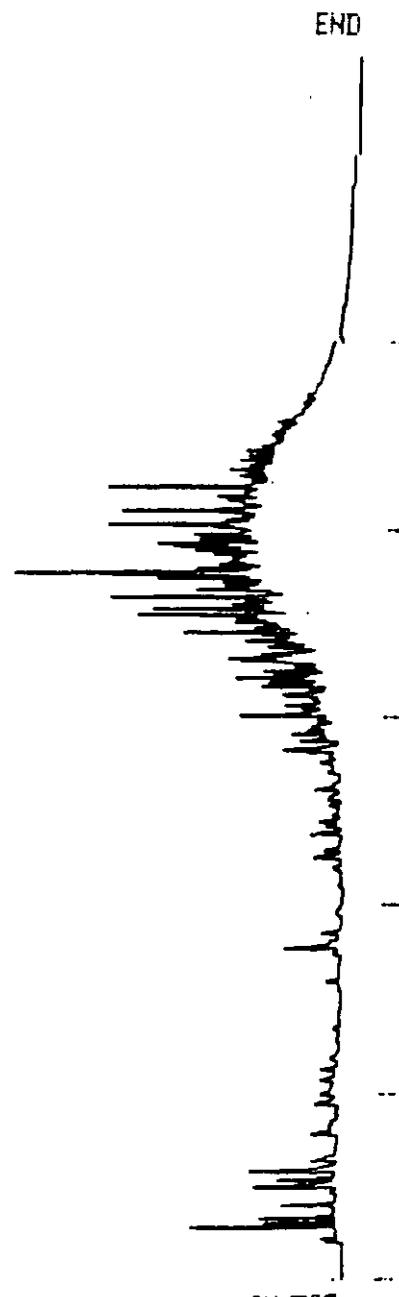
INJECT
 FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-34

272	27.215	0.0055	2934
273	27.255	0.0022	1189
274	27.294	0.0029	1556
275	27.349	0.0063	3388
276	27.383	0.0132	7831
277	27.554	0.0027	1469
278	27.598	0.0041	2180
279	27.636	0.0031	1564

TOTALS: 100.0000 53076786

DETECTED PEAKS: 287 REJECTED PEAKS: 8
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 27



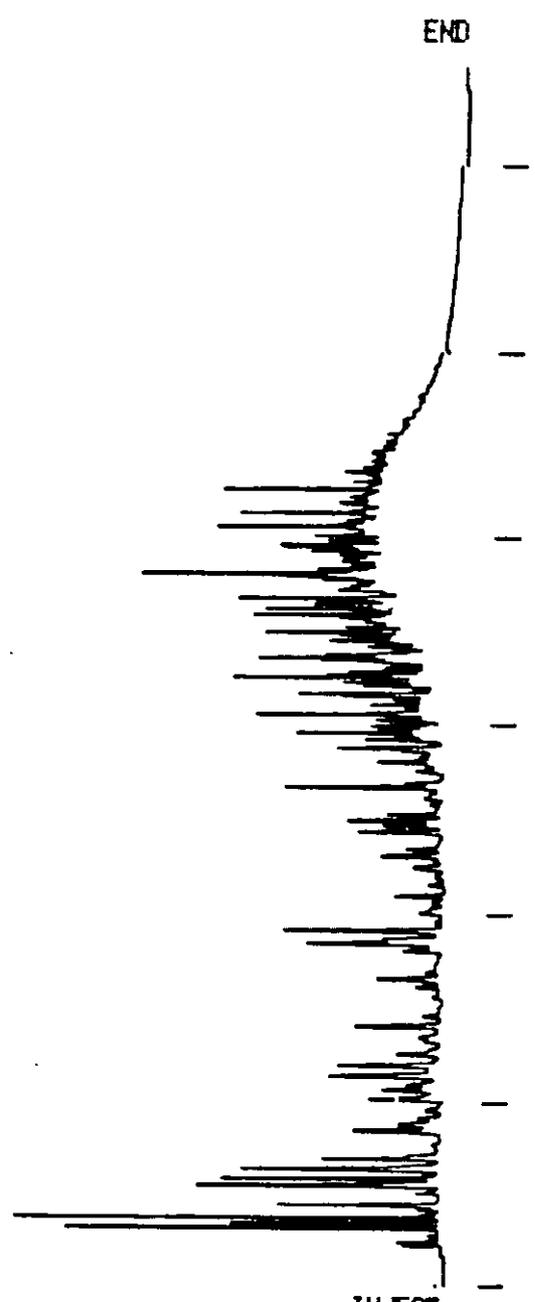
INJECT
 FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-35

270	23.118	0.0253	12531
271	23.136	0.0986	58416
272	23.198	0.1059	54159
273	23.235	0.0490	25075
274	23.276	0.0264	13531
275	23.322	0.0382	19571
276	23.368	0.0364	18629
277	23.392	0.0098	5030
278	23.432	0.0528	27032

TOTALS: 100.0000 51107175

DETECTED PEAKS: 287 REJECTED PEAKS: 9
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 21



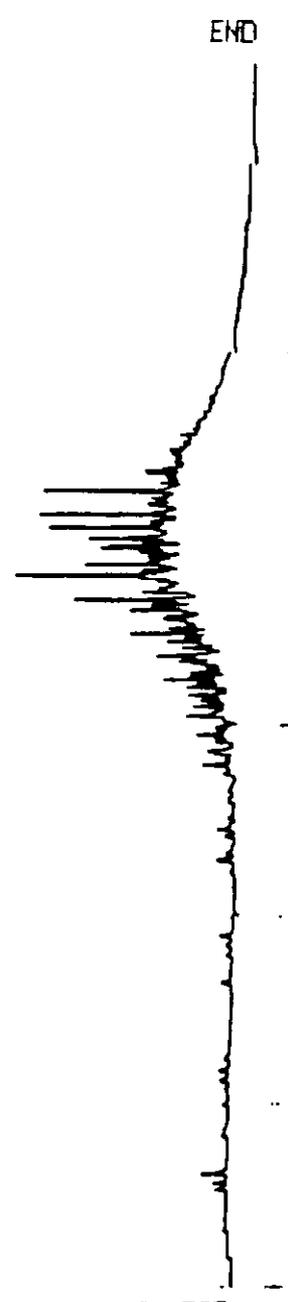
INJECT
 FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-38

269	25.287	0.0173	8118
270	25.393	0.1546	52217
271	25.472	0.0178	5822
272	25.486	0.0298	18658
273	25.537	0.0223	7544
274	25.615	0.0167	5667
275	25.638	0.0126	42
276	25.669	0.0492	16
277	25.773	0.0419	14183

TOTALS: 100.0000 33770464

DETECTED PEAKS: 287 REJECTED PEAKS: 10
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 9



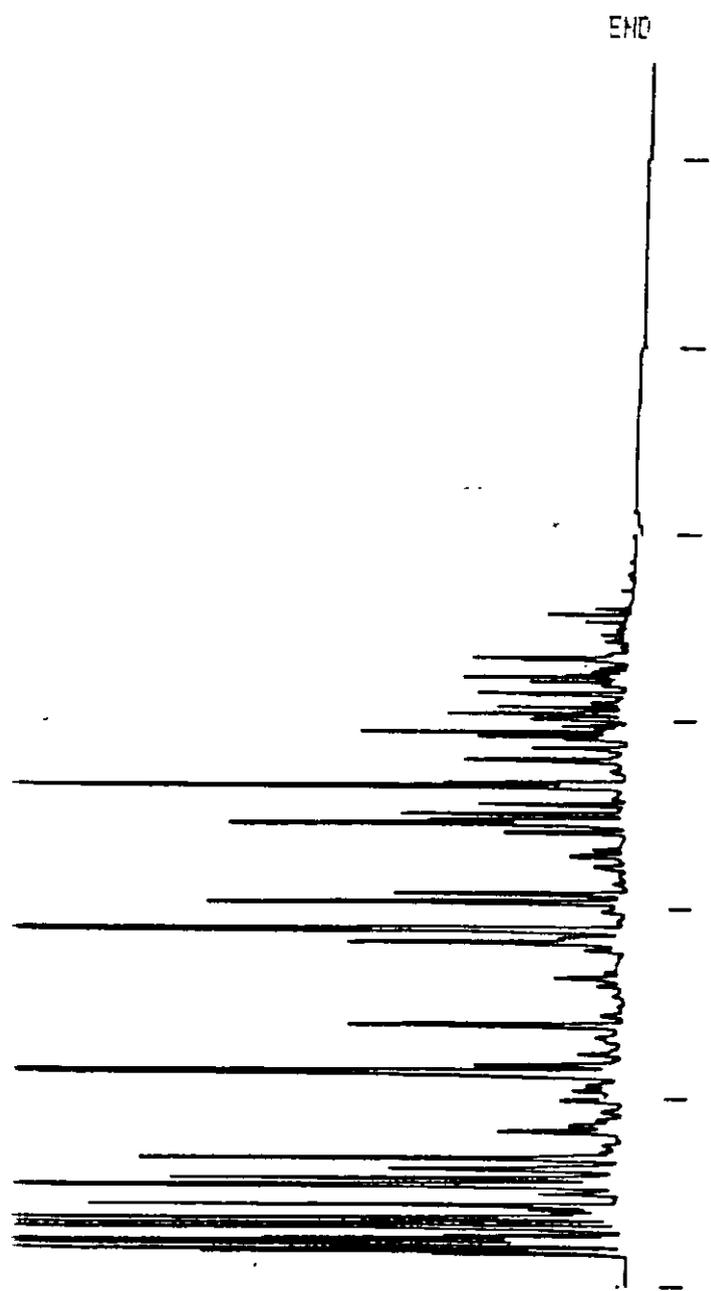
INJECT
 FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-37

181	23.176	0.0012	1362
180	23.215	0.0022	1371
231	23.251	0.0029	2260
232	23.313	0.0035	2328
233	23.395	0.0014	1211
	23.487	0.0051	4958
	23.687	0.0027	1829
211	24.175	0.0013	1549

TOTALS: 100.0000 60300033

DETECTED PEAKS: 242 REJECTED PEAKS: 6
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 10



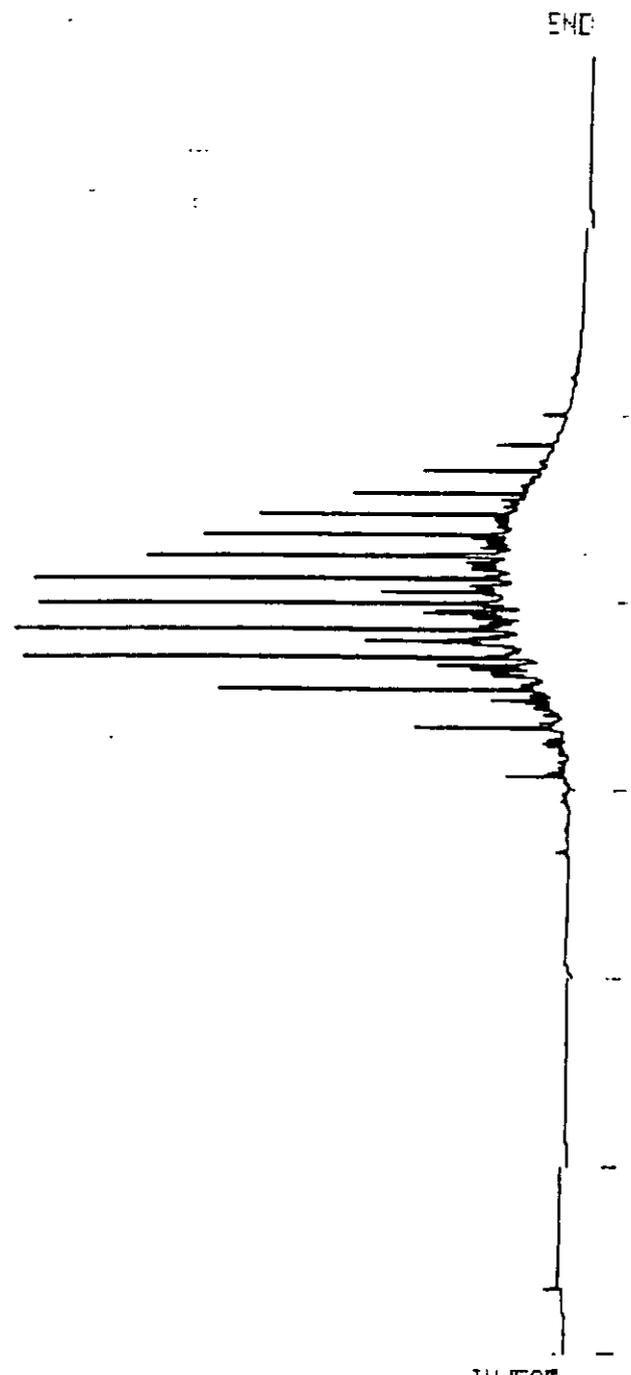
INJECT
 FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-6

187	28.057	0.0029	1727
186	28.256	0.0111	4525
187	28.485	0.0029	30
188	29.672	0.0150	4722
189	30.504	0.0032	1819

TOTALS: 100.0000 37750105

DETECTED PEAKS: 215 REJECTED PEAKS: 36
 AMOUNT STANDARD: 1.0000000
 MULTIPLIER: 1.0000000 DIVISOR: 1.0000000
 NOISE: 33.8 OFFSET: 21



INJECT
 FID A 64X10 0.5 CM/M 10%

P-39

**EJERCICIO: CARACTERIZACIÓN DE ZONA
CONTAMINADA POR GASOLINA (BENCENO)
EN EL AGUA SUBTERRÁNEA**

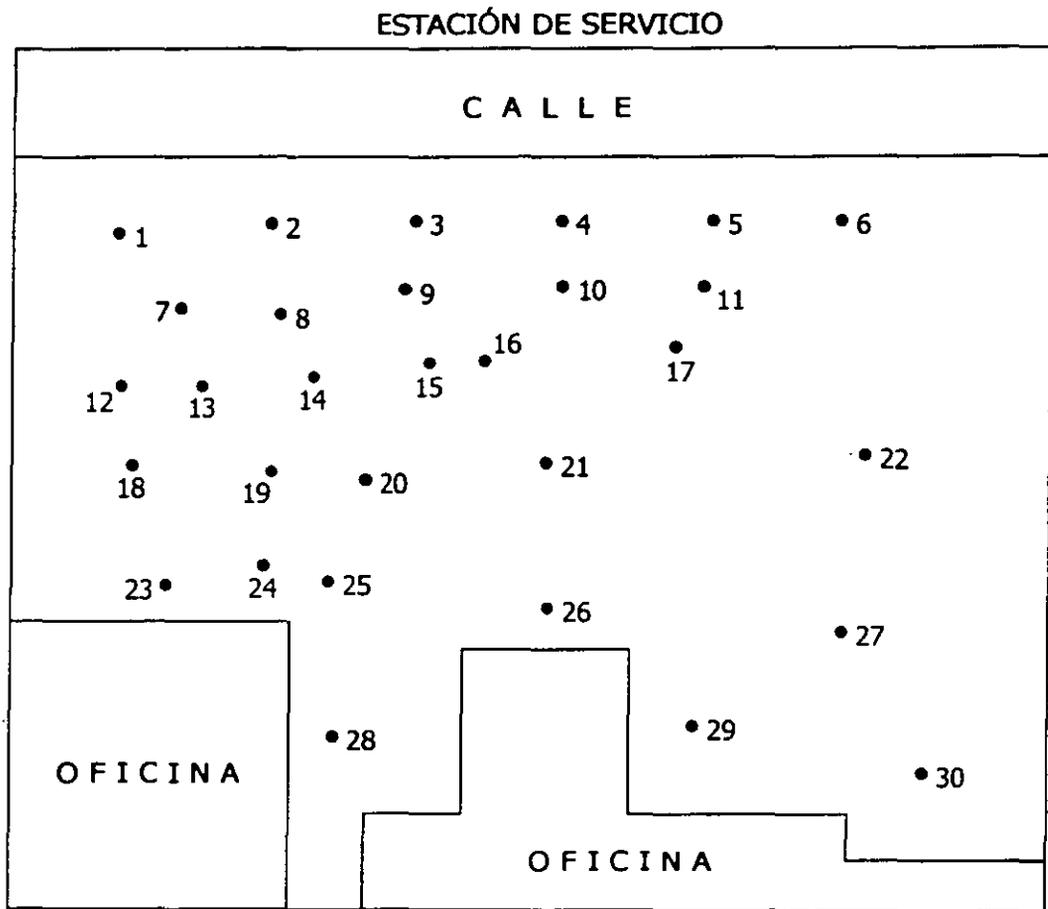
**CONCENTRACIÓN DE BENCENO EN EL AGUA
DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO
EXPRESADA EN mg/l**

POZO	BENCENO EN AGUA mg/l
1	ND
2	ND
3	ND
4	ND
5	ND
6	ND
7	ND
8	0.011
9	ND
10	ND
11	ND
12	ND
13	2 040
14	3 010
15	0.012
16	ND
17	ND
18	ND
19	5 800
20	1.320
21	ND
22	ND
23	ND
24	ND
25	ND
26	ND
27	ND
28	ND
29	ND
30	ND

ND = NO DETECTADO

EL LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO DE BENCENO EN AGUA SUBTERRÁNEA
DE ACUERDO A LA NOM-127-SSA-1-1994, ES DE 0.01 mg/l.

EJERCICIO: CARACTERIZACIÓN DE ZONA CONTAMINADA
POR GASOLINA (BENCENO) EN AGUA SUBTERRÁNEA.



DELIMITAR LA ZONA CONTAMINADA CON GASOLINA EN EL AGUA
SUBTERRÁNEA, TOMANDO EN CUENTA QUE EL LIMITE MÁXIMO
PERMITIDO DE ACUERDO A LA NOM-127-SSA-1-1994 ES DE
0.010 mg/l DE BENCENO

Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.
-----------	---

4.3 Límites permisibles de características químicas

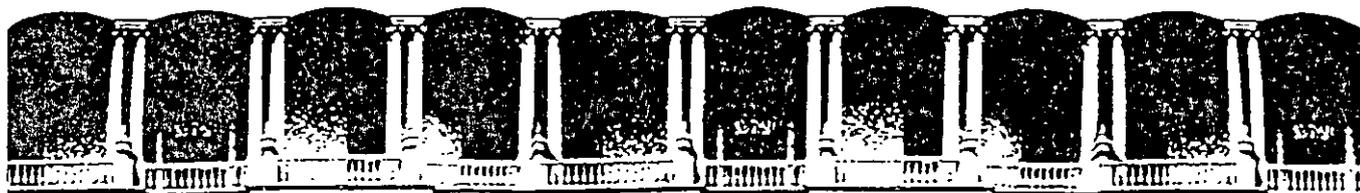
4.3.1 El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN ⁻)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl ⁻)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F ⁻)	1,50
Hidrocarburos aromáticos en <u>microgramos/l</u> :	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en <u>microgramos/l</u> :	
Aldrin y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 - D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

Nota 1. Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Nota 2. El límite permisible para arsénico se ajustará anualmente, de conformidad con la siguiente tabla de cumplimiento gradual.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS
CON CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**HIDROCARBUROS Y OTROS COMPUESTOS
ORGÁNICOS: CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO
COMO CONTAMINANTES DEL AMBIENTE**

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERIA
SEPTIEMBRE DE 2002**

**HIDROCARBUROS Y OTROS
COMPUESTOS ORGÁNICOS:**

**CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO
COMO CONTAMINANTES DEL AMBIENTE**

**Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM**

PRINCIPALES CONTAMINANTES DE SUELOS Y ACUÍFEROS

petróleo crudo

combustibles destilados: gasolina, gasnafta, gasolvente, turbosina, kerosina, diesel, gasóleo, combustóleo, aceites

desechos del petróleo: lodos aceitosos, lodos y recortes de perforación, lastres

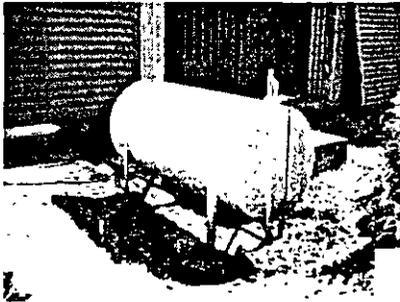
disolventes: tolueno, xilenos, arominas

bifenilos policlorados: Aroclor, Askarel, Clophen

Características físicas de los
contaminantes líquidos que se
pueden apreciar a simple vista:

√ **Viscosidad**

√ **Densidad**



Viscosidad: Resistencia
de un fluido al movimiento,
y que determina su
migración en el subsuelo.



**CONTAMINANTES ORGÁNICOS INSOLUBLES EN AGUA
(NAPLs: Non-Aqueous Phase Liquids)**

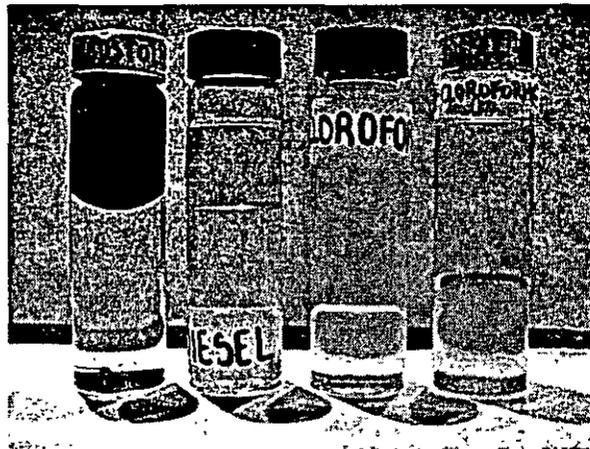
LNAPLs: Más ligeros que el agua

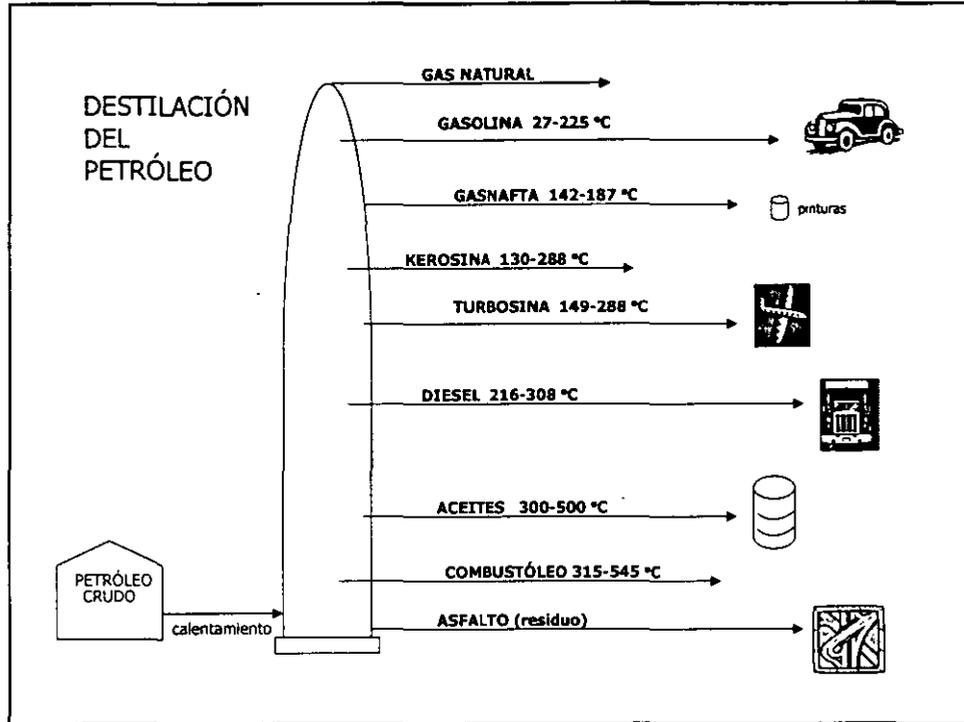
*petróleo crudo, combustóleo, aceites, diesel, gasolina,
benceno, tolueno, xilenos*

DNAPLs: Más densos que el agua

*tetracloruro de carbono, cloroformo, cloruro de metileno,
bifenilos policlorados, percloroetileno (PCE),
tricloroetileno (TCE)*

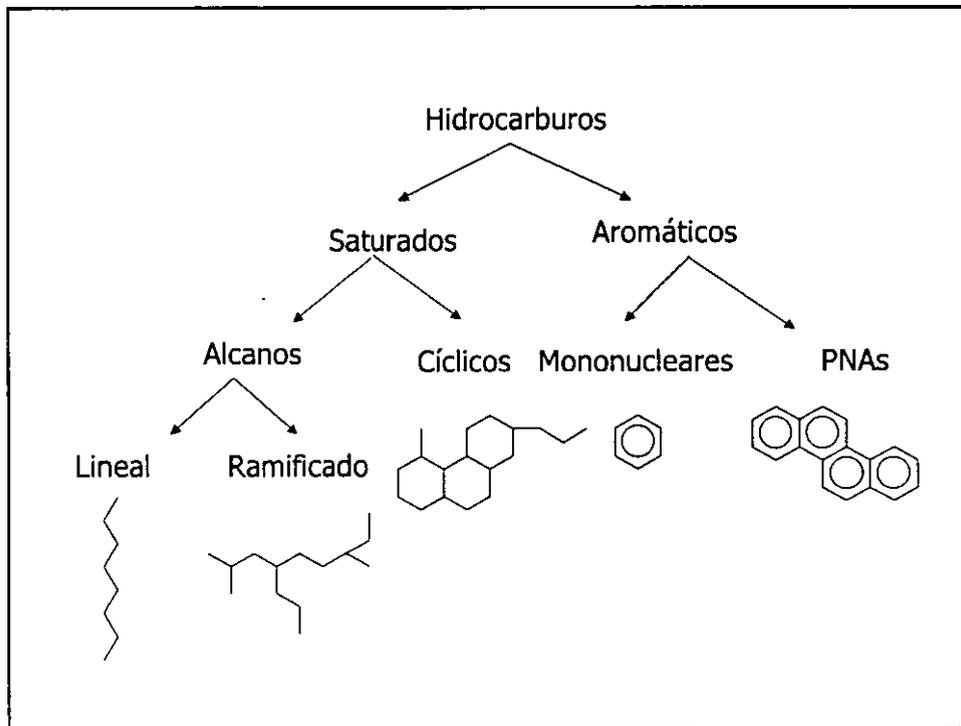
Densidad. Peso que tiene una unidad de volumen de una sustancia líquida (g/ml o g/cm³). También se expresa como **gravedad específica.**





ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTIBLES DESTILADOS DEL PETRÓLEO

COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE DESTILACIÓN	VISCOSIDAD CINEMÁTICA (centistoks)	GRAVEDAD ESPECÍFICA g/m ³ (20°C)
GASOLINA	27-225	0.5-0.65	0.680-0.760
GASAVIÓN	27-135	-	0.739
GASOLVENTE	77-138	-	0.761
GASNAFTA	142-187	-	0.768
KEROSINA	130-288	-	0.800
TURBOSINA	149-288	-	0.810
GASÓLEO	216-308	-	0.848
DIESEL	216-371	2.2-2.4	0.850
ACEITES	300-500	65.0-194.0	0.860-0.950
COMBUSTÓLEO	315-545	-	0.960
ASFALTO	315-545	-	1.034



ALGUNAS PROPIEDADES DE HIDROCARBUROS PUROS

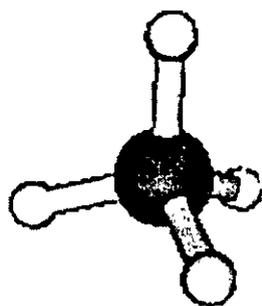
Nombre del hidrocarburo	Fórmula condensada	Punto de ebullición °C	Gravedad específica g/cm ³
Pentano	C ₅ H ₁₂	+36.1	0.626
Hexano	C ₆ H ₁₄	+68.9	0.660
Heptano	C ₇ H ₁₆	+98.4	0.684
Octano	C ₈ H ₁₈	+125.6	0.703
Nonano	C ₉ H ₂₀	+150.8	0.718
Decano	C ₁₀ H ₂₂	+174.1	0.730

HOJA 1 DE 2

ALGUNAS PROPIEDADES DE HIDROCARBUROS PUROS

Nombre del hidrocarburo	Fórmula condensada	Punto de ebullición °C	Gravedad específica g/cm ³
Pentadecano	C ₁₅ H ₃₂	+270	0.769
Octadecano	C ₁₈ H ₃₈	+316.1	0.777
Eicoseno	C ₂₀ H ₄₂	343	0.778
Triacontano	C ₃₀ H ₆₂	+449.7	0.775
Tetracontano	C ₄₀ H ₈₂	-	-
Pentacontano	C ₅₀ H ₁₀₂	-	0.794

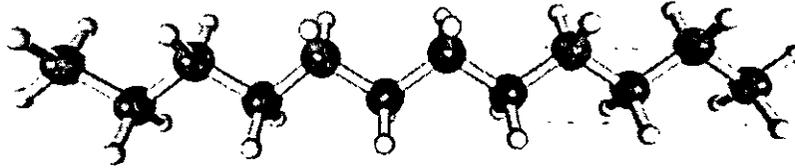
HOJA 2 DE 2



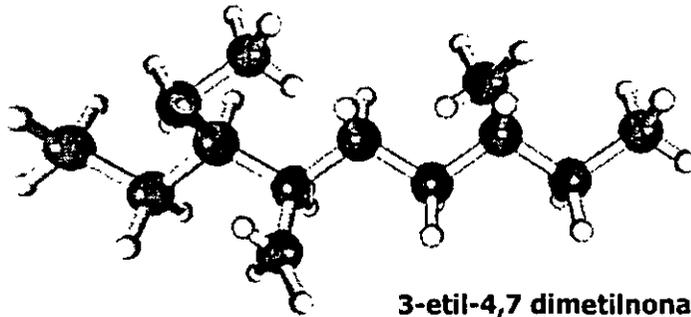
metano

ESTRUCTURA TÍPICA DEL
CARBONO CON ENLACES
SENCILLOS:
ALCANOS
(Parafinas)

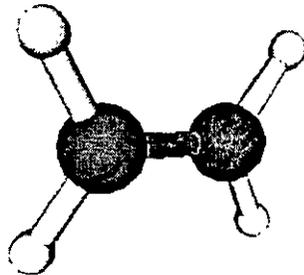
EJEMPLOS DE n-ALCANOS



dodecano

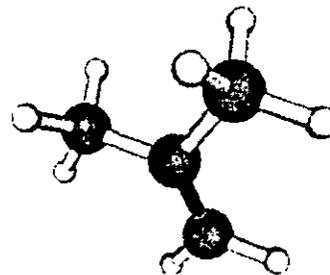


3-etil-4,7 dimetilnonano

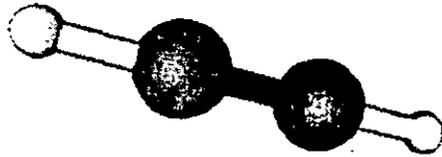


eteno

ESTRUCTURA TÍPICA DEL
CARBONO CON DOBLE
ENLACE:
ALQUENOS
(Olefinas)

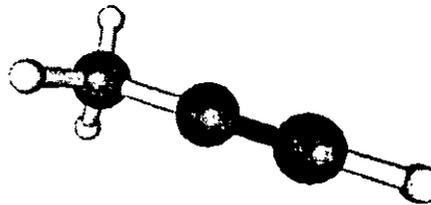


metil propeno



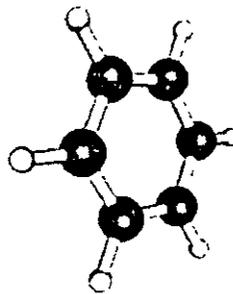
ESTRUCTURA TÍPICA DEL
CARBONO CON TRIPLE
ENLACE:
ALQUINOS

etino

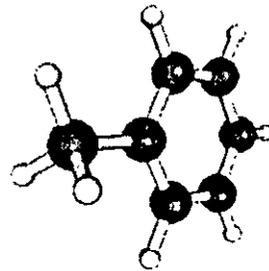


metil propino

benceno

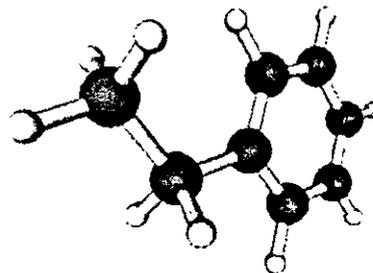


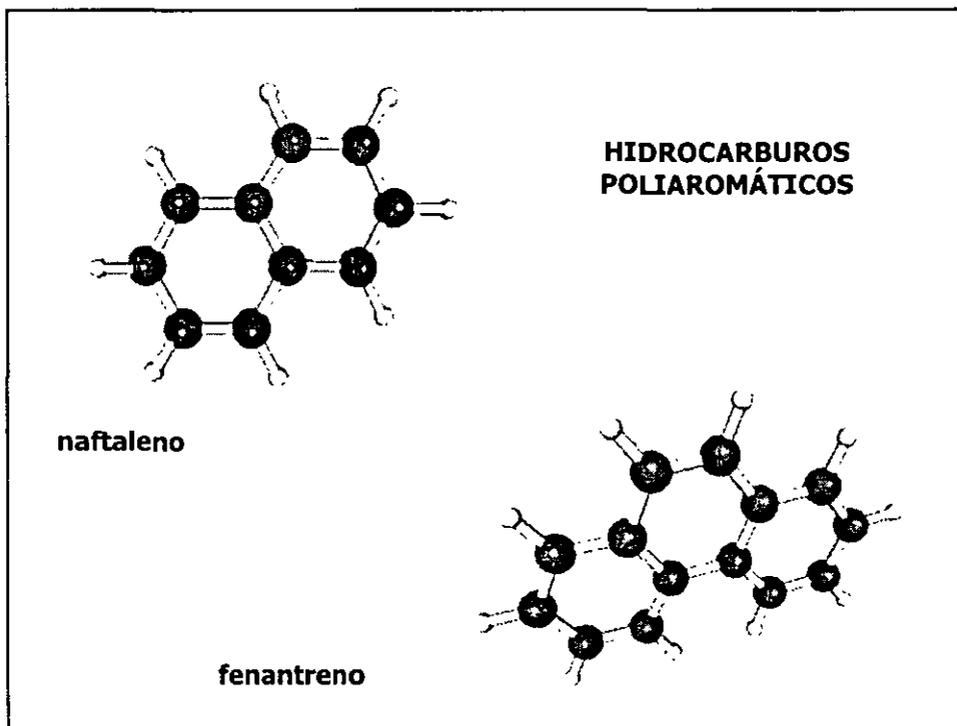
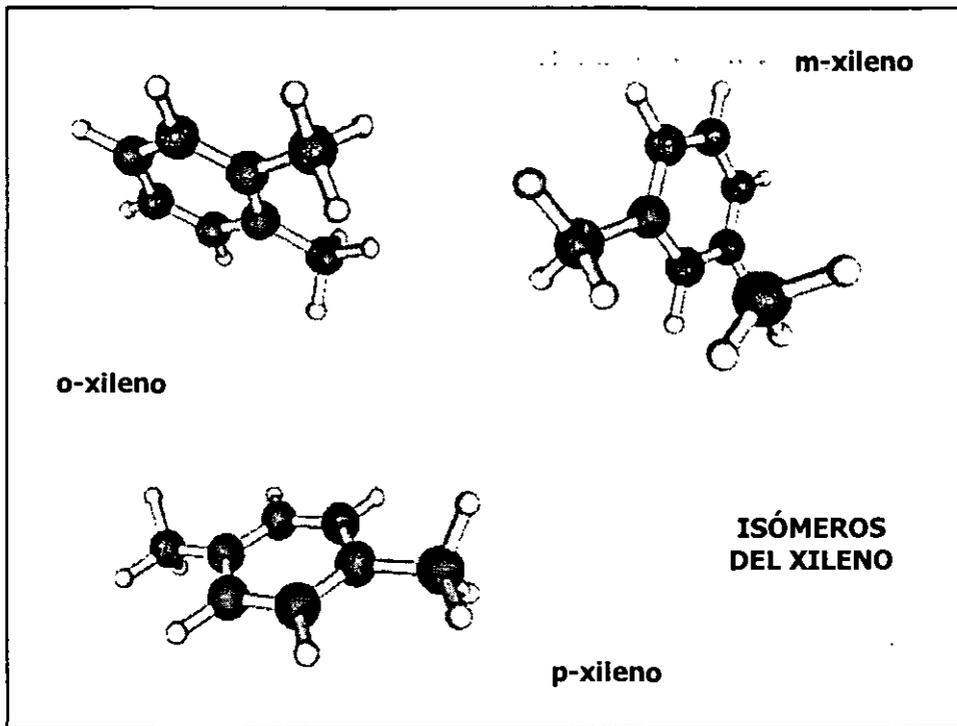
tolueno

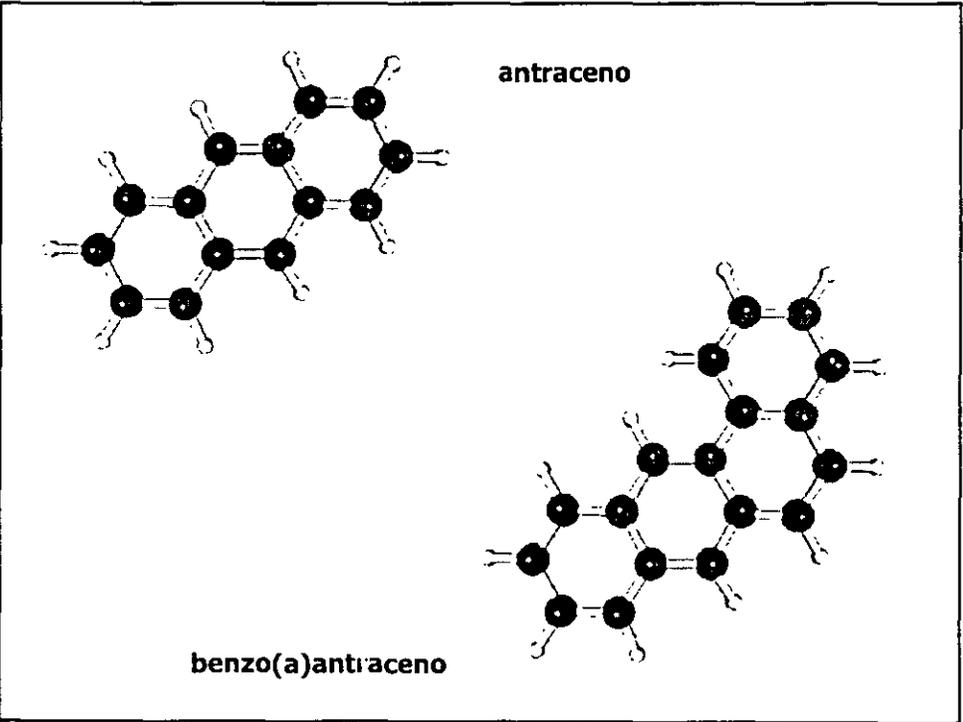
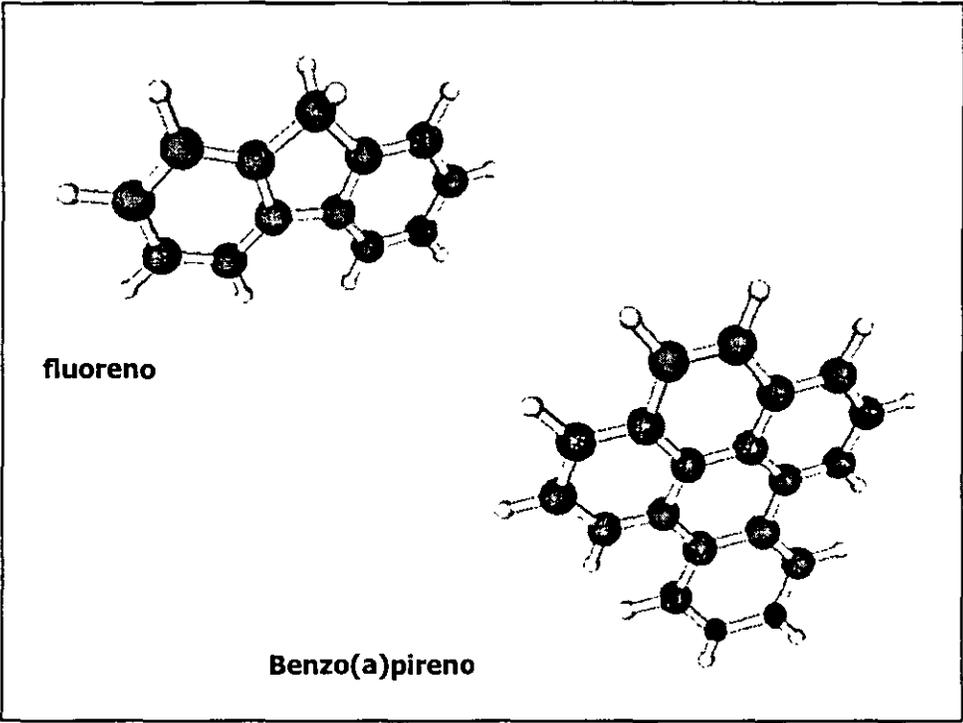


**HIDROCARBUROS
MONOAROMÁTICOS**

etilbenceno







COMPOSICIÓN DE LAS GASOLINAS

TIPO DE HIDROCARBURO	NÚMERO DE ÁTOMOS DE CARBONO	Porcentaje (en peso)
Alcanos de cadena lineal	C ₃ - C ₁₂	10.80 - 24.29
Alcanos ramificados	C ₄ - C ₁₀	17.91 - 54.66
Cicloalcanos	C ₅ - C ₈	0.92 - 2.49
Alquenos de cadena lineal	C ₄ - C ₇	2.33 - 3.54
Alquenos ramificados	C ₅ - C ₇	3.28 - 4.03
Cicloalquenos	C ₅ - C ₆	0.18 - 0.26
Aromáticos mononucleares	C ₆ - C ₁₀	10.82 - 55.22
Aromáticos polinucleares	C ₁₀ - C ₂₁	0.28 - 3.29

COMPOSICIÓN DEL DIESEL

Átomos de Carbono	Alcanos (% v/v)	Cicloalcanos (% v/v)	Aromáticos (% v/v)
C ₁₀	0.9	0.6	0.4
C ₁₁	2.3	1.7	1.0
C ₁₂	3.8	2.8	1.6
C ₁₃	6.4	4.8	2.8
C ₁₄	8.8	6.6	3.8
C ₁₅	7.4	5.5	3.2
C ₁₆	5.8	4.4	2.5
C ₁₇	5.5	4.1	2.4
C ₁₈	4.3	3.2	1.8
C ₁₉	0.7	0.6	0.3

**CONTENIDO DE ALGUNOS HIDROCARBUROS
EN GASOLINA Y TURBOSINA**

HIDROCARBURO en %	GASOLINA	TURBOSINA
benceno	0.12 – 3.50	0.3 – 0.5
tolueno	2.73 – 21.80	0.7 – 1.33
etilbenceno	0.36 – 2.86	0.37
o-xileno	0.68 – 2.86	1.01
m-xileno	1.77 – 3.87	0.96
p-xileno	0.77 – 1.58	0.35
naftaleno	0.09 – 0.49	0.2 – 0.5

**CONCENTRACIONES DE BTEX MÁXIMAS
A ENCONTRAR EN SUELOS CONTAMINADOS CON GASOLINA
(derrame reciente, gasolina fresca, único combustible presente)**

Concentración de gasolina mg/kg	Concentración máxima de benceno mg/kg	Concentración máxima de tolueno mg/kg	Concentración máxima de etilbenceno mg/kg	Concentración máxima de xilenos (o, m, p) mg/kg
100	3.5	21.8	2.9	8.31
200	7.0	43.6	5.7	16.6
500	17.5	109.0	14.3	41.6
1000	35.0	218.0	28.6	83.1
2000	70.0	436.0	57.2	166.2
5000	175.0	1090.0	143.0	415.5

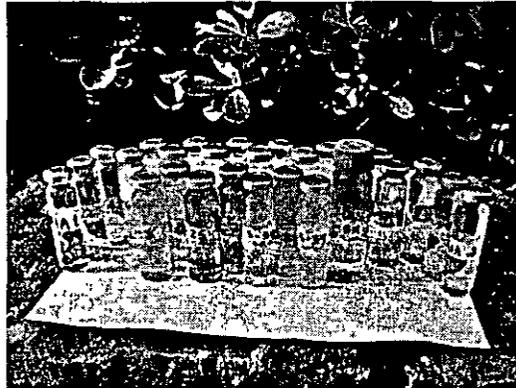
**CONCENTRACIONES DE BTEX MÁXIMAS
A ENCONTRAR EN SUELOS CONTAMINADOS CON TURBOSINA
(derrame reciente, turbosina fresca, único combustible presente)**

Concentración de turbosina mg/kg	Concentración máxima de benceno mg/kg	Concentración máxima de tolueno mg/kg	Concentración máxima de etilbenceno mg/kg	Concentración máxima de xilenos (o, m, p) mg/kg
100	0.5	1.3	0.4	2.3
200	1.0	2.7	0.7	4.6
500	2.5	6.5	2.0	11.5
1000	5.0	13.0	3.7	23.2
2000	10.0	27.0	7.0	46.0
5000	25.0	65.0	20.0	115.0

ADITIVOS DE LAS GASOLINAS

Nombre	Formula condensada	Punto de ebullición (°C)	Gravedad específica g/cm ³
Tetraetilo de plomo	C ₈ H ₂₀ Pb	200	1.659
Metilterbutiléter MTBE	C ₅ H ₁₂ O	55.2	0.741
Teramilmetiléter TAME	C ₆ H ₁₄ O	85	0.764

Solubilidad. Es la máxima concentración a la cual una sustancia se puede disolver sin llegar a la saturación



**SOLUBILIDAD DE ALGUNOS
HIDROCARBUROS LIGEROS PUROS EN AGUA**

Compuesto	Solubilidad (mg/l)
Benceno	1 750
Tolueno	526
o-Xileno	175
Etilbenceno	169
m-Xileno	158
n-hexano	18

HOJA 1 DE 3

SOLUBILIDAD DE ALGUNOS HIDROCARBUROS PUROS EN AGUA

Compuesto	Solubilidad (mg/l)
Naftaleno	31.00
Acenafteno	3.93
Acenaftileno	3.93
Indenol (1,2,3,c,d)pireno	2.07
Fluoreno	1.69
Fenantreno	1.00
Benzo(k)fluoranteno	0.430
Fluoranteno	0.206
Pireno	0.135
Antraceno	0.045
Benzo(b)fluoranteno	0.014
Benzo(a)antraceno	0.0067
Criseno	0.0016
Benzo(a)pireno	0.0012
Benzo(g,h,i)perienlo	0.0007
Dibenzo(a,h)antraceno	0.0005

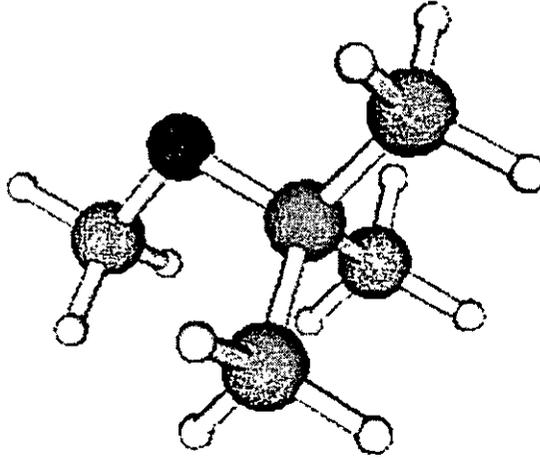
HOJA 2 DE 3

SOLUBILIDAD DE ALGUNOS ADITIVOS DE LAS GASOLINAS EN AGUA

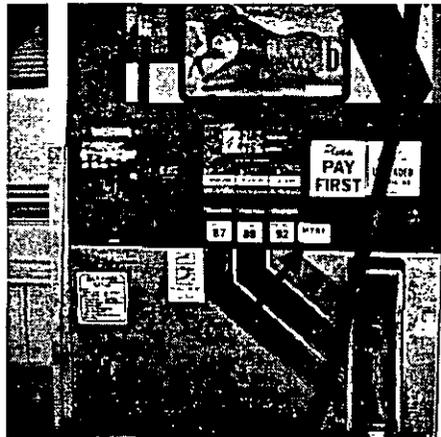
Compuesto	Solubilidad en agua (mg/l)
MTBE	48,000 – 51,000
TAME	2,640
Tetraetilo de plomo	insoluble

HOJA 3 DE 3

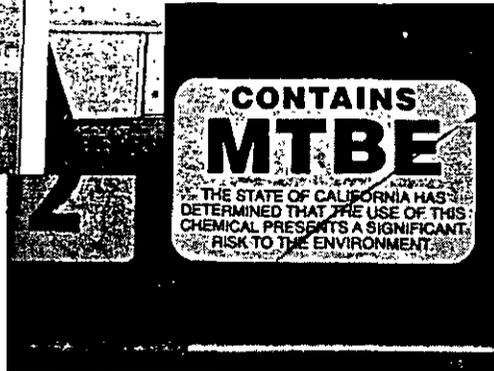
MTBE



Solubilidad
En agua
48,000 a
51,000 mg/l



**Estación de servicio
en Los Angeles,
California**



BIFENILOS POLICLORADOS

Nombres comerciales más comunes:

Aroclor	Kaneclor	Askarel
Clorinol	Asbestol	Diaclor
Eucarel	Kanechlor	Inclor

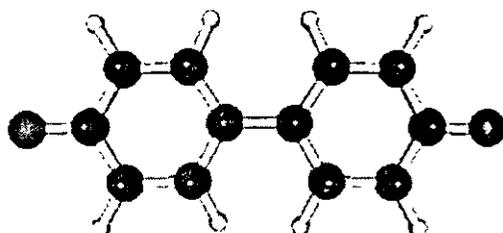
BIFENILOS POLICLORADOS

Grado de cloración del producto:

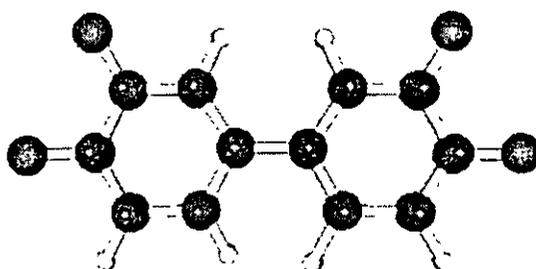
1242, 1248, 1254, 1260 y 1262

**porcentaje en peso de átomos
de cloro en la molécula**

**Aroclor 1242: mezcla de 60 congéneres
de monoclorobifenilo, diclorobifenilo y
triclorobifenilo**



4,4'-DICLOROBIFENILO



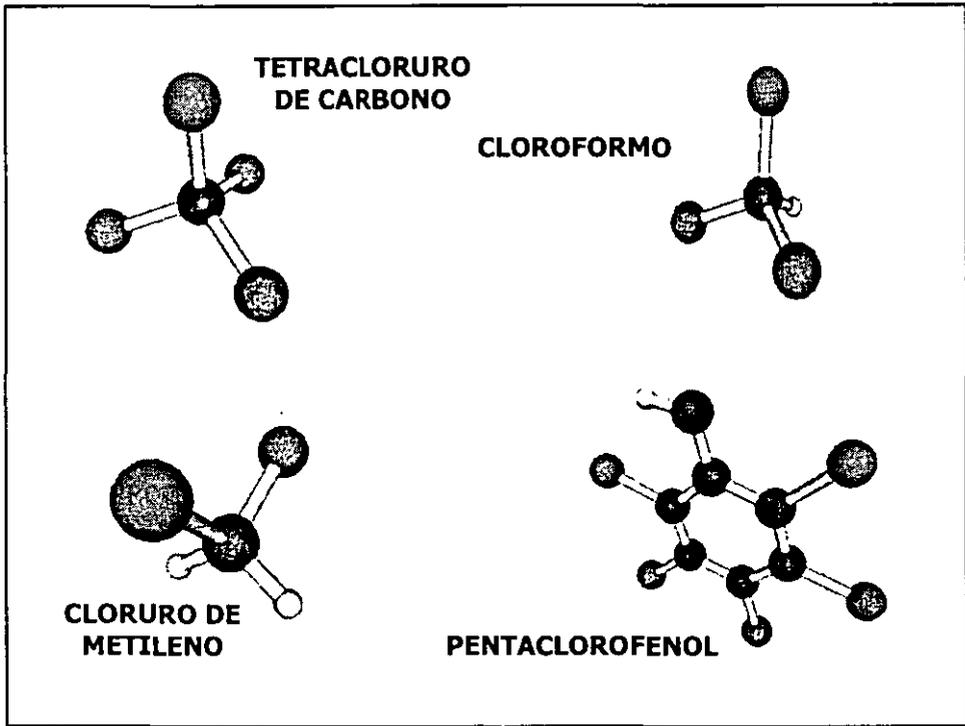
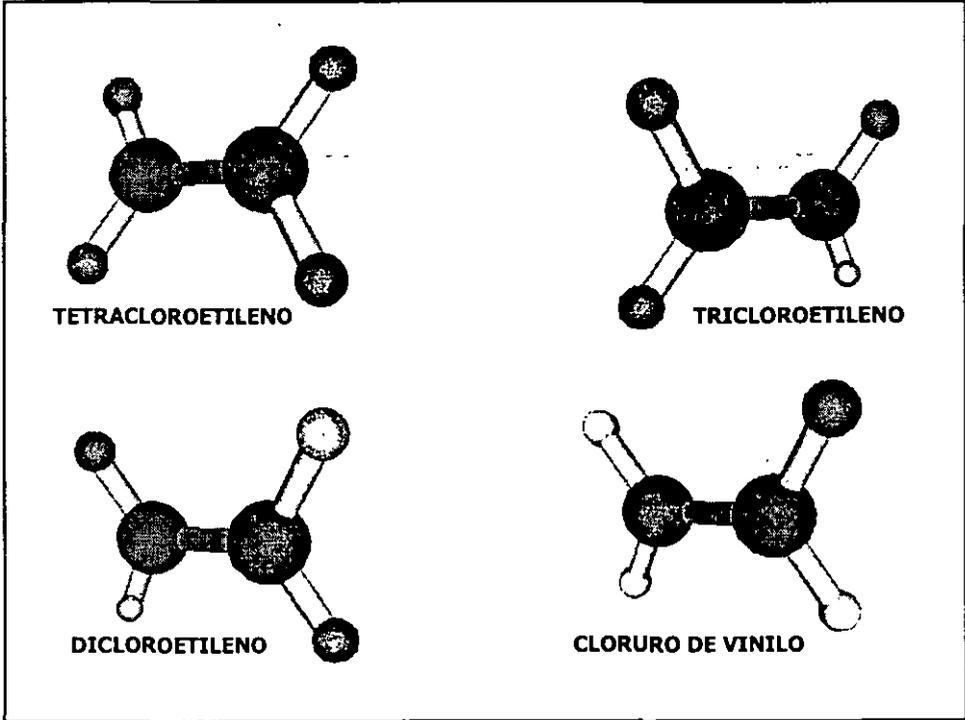
TETRACLOROBIFENILO

DISOLVENTES CLORADOS

**Uso: desgrasantes en la industria eléctrica,
electrónica, metalmecánica
algunos de ellos, disolventes para
la extracción en análisis de muestras
en laboratorios de pruebas**

Muy volátiles a temperatura ambiente

Métodos analíticos: EPA 8260 y 8270



**OTRAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES
DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS**

**COEFICIENTE DE
DISTRIBUCIÓN
OCTANOL/AGUA
 $K_{O/W}$**

**CONSTANTE DE LA
LEY DE HENRY**

$K_{A/W}$

**COEFICIENTE DE
RETARDO
(AFINIDAD POR CARBONO
ORGÁNICO K_{OC})**

PRESIÓN DE VAPOR

**COEFICIENTE DE
DISPERSIÓN**

**COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN
OCTANOL/AGUA**

$K_{O/W}$

**AFINIDAD DE UNA SUSTANCIA POR
AGUA O POR UNA FASE ORGÁNICA**

**cifras altas = preferencia por la fase
orgánica**

COMPUESTO	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN OCTANOL/AGUA ($K_{O/W}$)
benceno	1.77
p-xileno	2.38
MTBE	1.08
naftaleno	3.30
benzo(a)pireno	6.01

CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY

**CAPACIDAD DE UNA SUSTANCIA
PARA VOLATILIZARSE**

cifras altas = mayor volatilidad

COMPUESTO	CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY adim
benceno	0.2290
p-xileno	0.2900
MTBE	0.0238
naftaleno	0.0199
benzo(a)pireno	0.0000466
pentaclorofenol	0.0000825

COEFICIENTE DE RETARDO

(factor de retardación)

**FACILIDAD DE UNA SUSTANCIA PARA
ADSORBERSE EN EL SUELO O
DESPLAZARSE A LA MISMA VELOCIDAD
QUE EL AGUA SUBTERRÁNEA**

cifras altas = preferencia por el suelo

COMPUESTO	COEFICIENTE DE RETARDO
benceno	3.38
tolueno	3.99
MTBE	1.38

PRESIÓN DE VAPOR

**PRESIÓN QUE EJERCEN LAS MOLÉCULAS
QUE SE DESPRENDEN EN FORMA DE
VAPOR CUANDO PRETENDEN
ABANDONAR EL MEDIO EN QUE SE
ENCUESTRAN**

COMPUESTO	PRESIÓN DE VAPOR
benceno	95.2
p-xileno	7.0
MTBE	249.0
naftaleno	0.23
benzo(a)pireno	0.000568
pentaclorofenol	0.000017

COEFICIENTE DE DISPERSIÓN

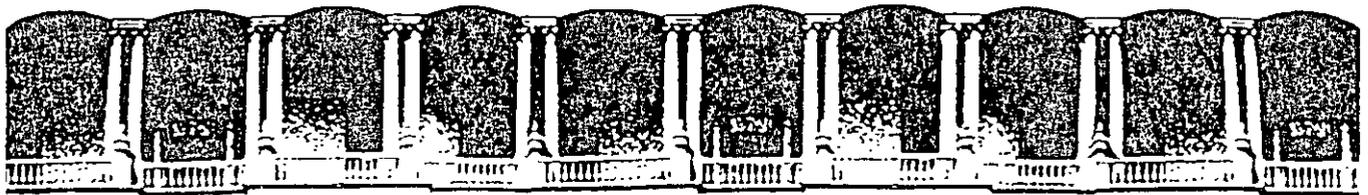
**FACILIDAD CON LA QUE UNA SUSTANCIA
PUEDE DISTRIBUIRSE EN EL AIRE O EN
EL AGUA**

COMPUESTO	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AGUA	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AIRE
benceno	0.0000098	0.088
p-xileno	0.0000085	0.072
MTBE	0.0000940	0.079
naftaleno	0.0000059	0.059
benzo(a)pireno	0.0000090	0.043
pentaclorofenol	0.0000061	0.056

INTEMPERIZACIÓN

Modificación de las características originales de un contaminante por efecto del tiempo, de las características del suelo y de las condiciones climatológicas del lugar.

- √ pérdida de componentes volátiles (BTEX)
- √ endurecimiento del material en el suelo, en forma de "costras" o "piedras"
- √ cambio de coloración del producto libre
- √ aumento en la viscosidad de producto libre
- √ formación de compuestos complejos por reacciones químicas y fotoquímicas



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**RESTAURACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS, AGUA SUBTERRÁNEA Y
SUPERFICIAL**

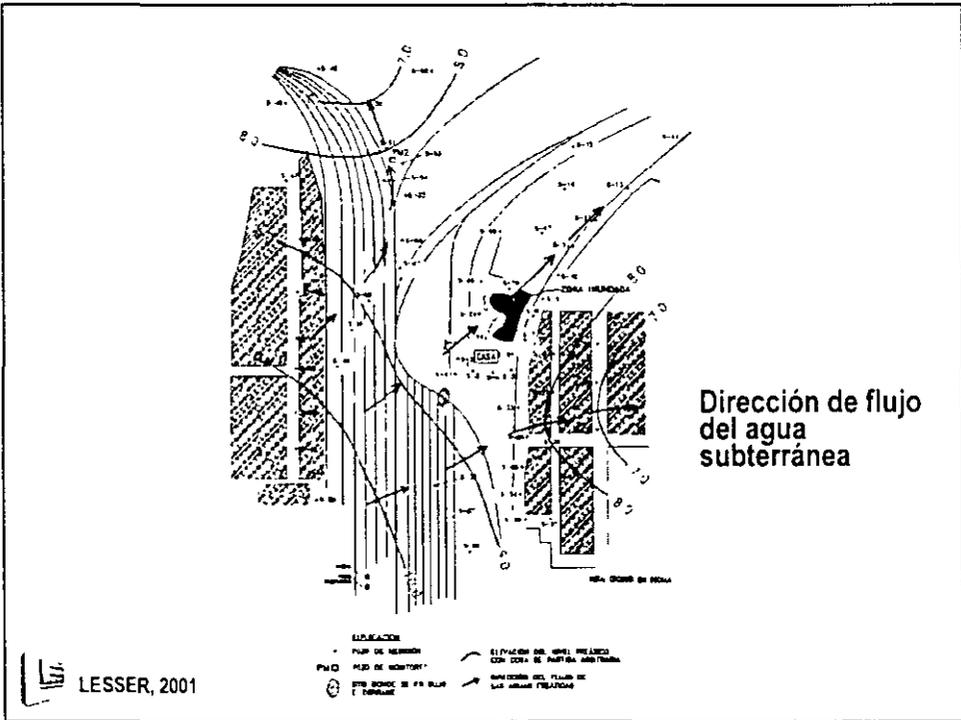
**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

Restauración de sitios contaminados, agua subterránea y superficial

- Remediación física
- Remediación química
- Biodegradación



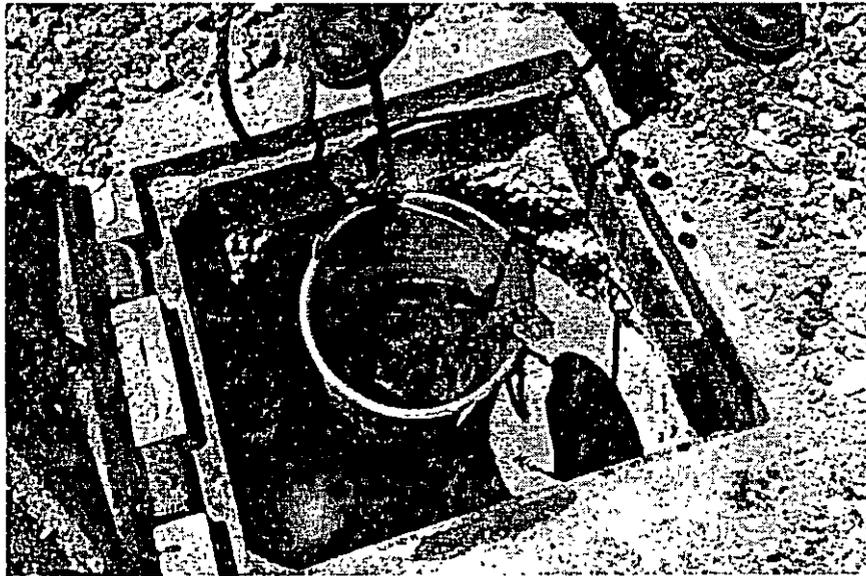
LESSER, 2001



**REMEDIACIÓN DE SUELO Y AGUA
SUBTERRÁNEA CONTAMINADA
POR HIDROCARBUROS**

REMEDIACIÓN FÍSICA	EXTRACCIÓN POR BOMBEO DE PRODUCTO LIBRE
REMEDIACIÓN QUÍMICA	INYECCIÓN DE AGENTES TENSOACTIVOS Y EXTRACCIÓN DE AGUA, HC DISUELTOS Y TENSOACTIVOS
BIORREMEDIACIÓN	ELIMINACIÓN DE HIDROCARBUROS MEDIANTE MICROORGANISMOS

- **Remediación Física**



Extracción manual de producto libre

 LESSER, 2001

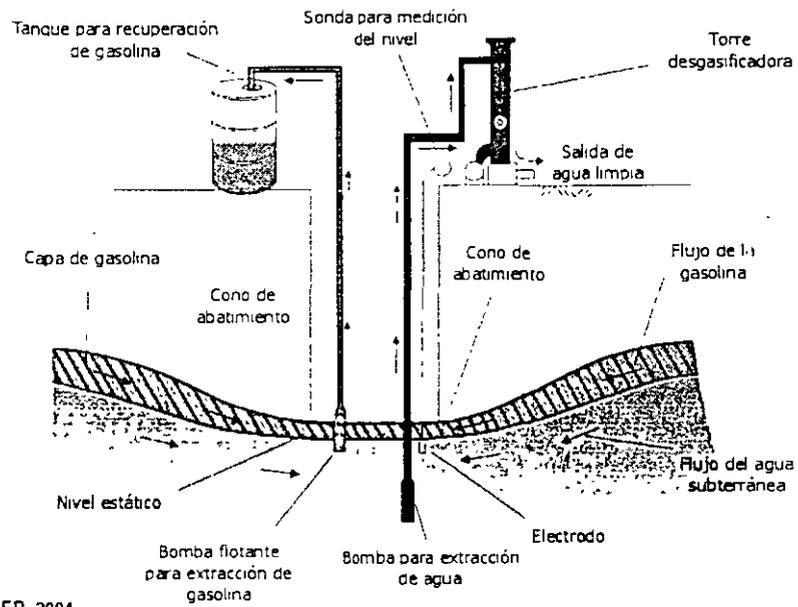


 LESSER, 2001

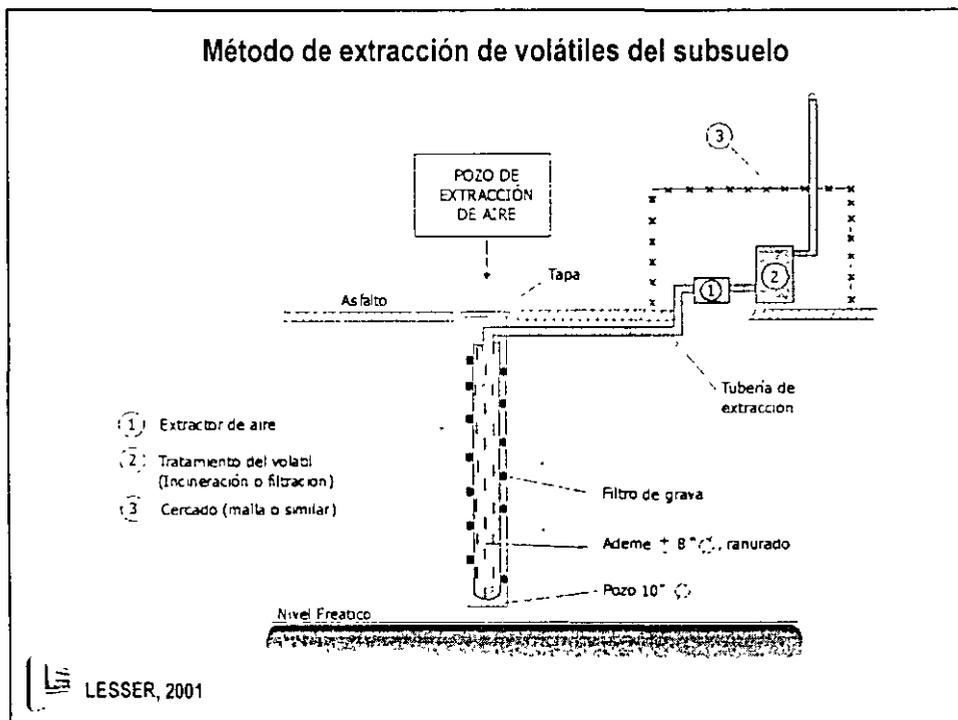
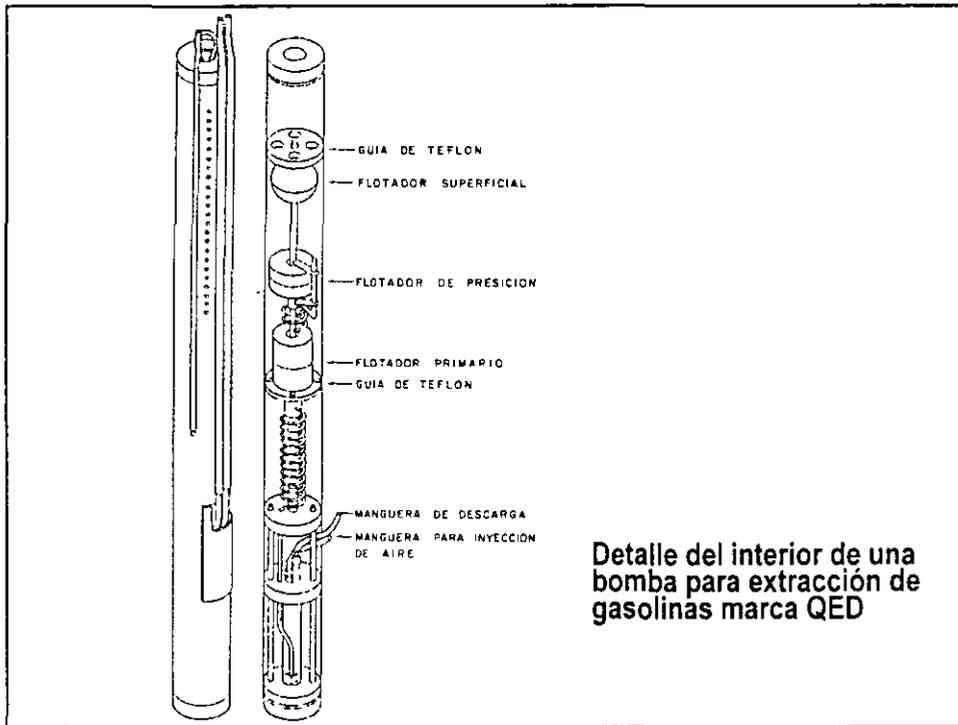


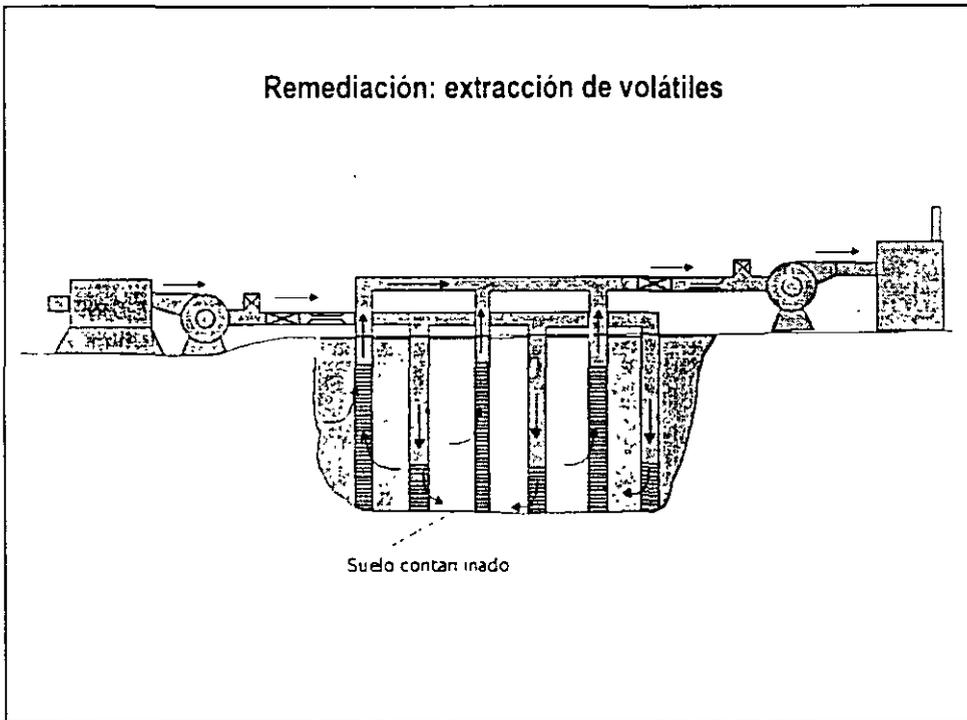
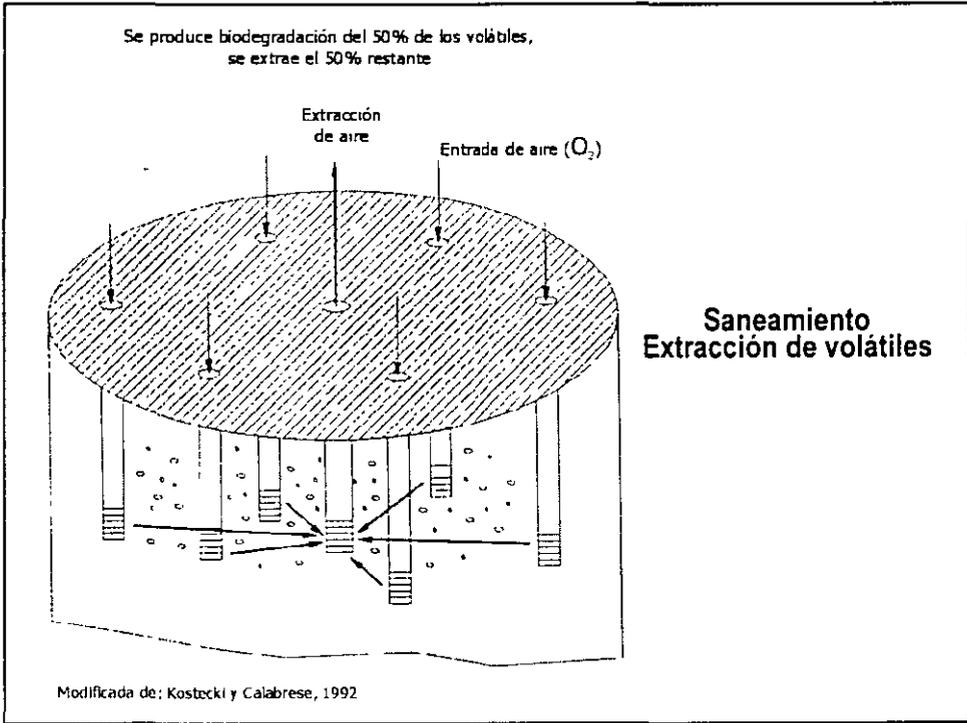
LESSER, 2001

Extracción de hidrocarburos por bombeo y tratamiento en superficie

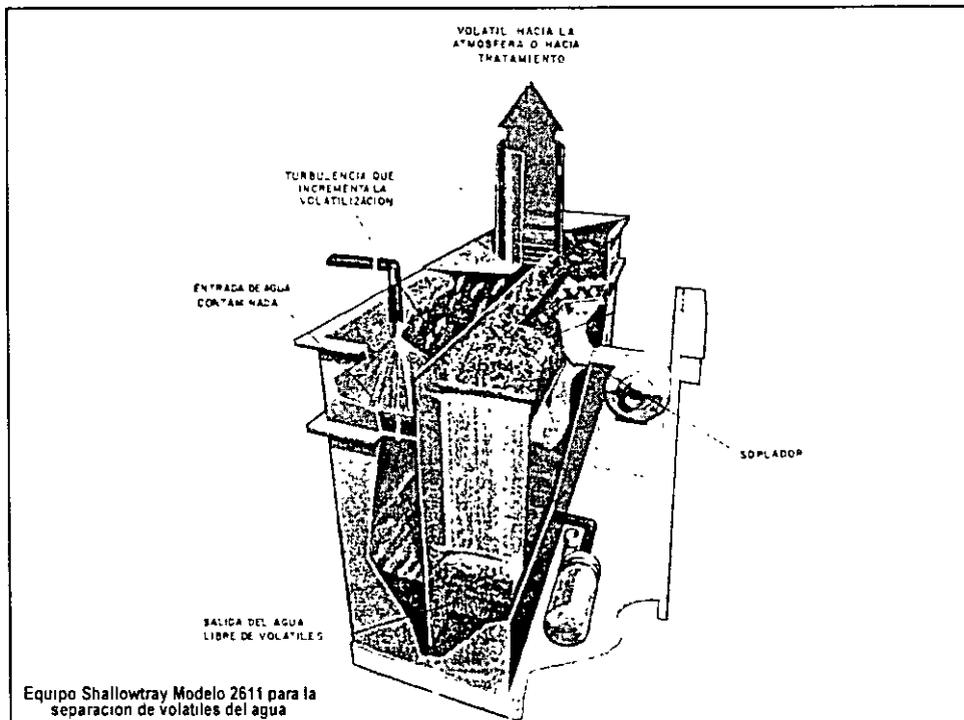
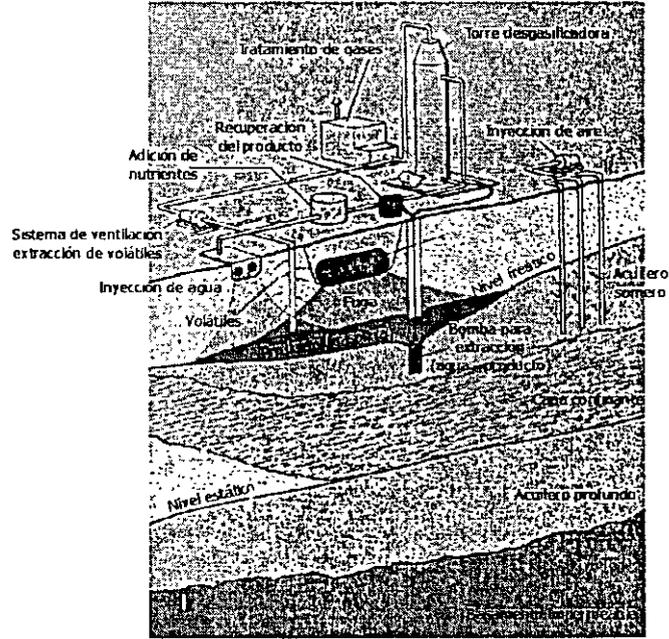


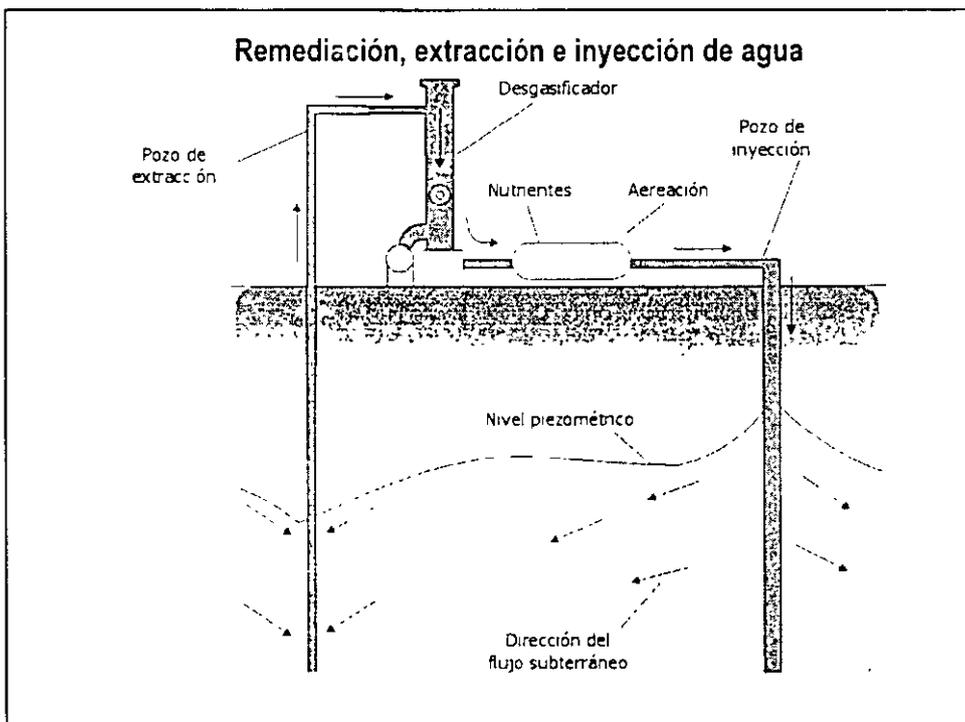
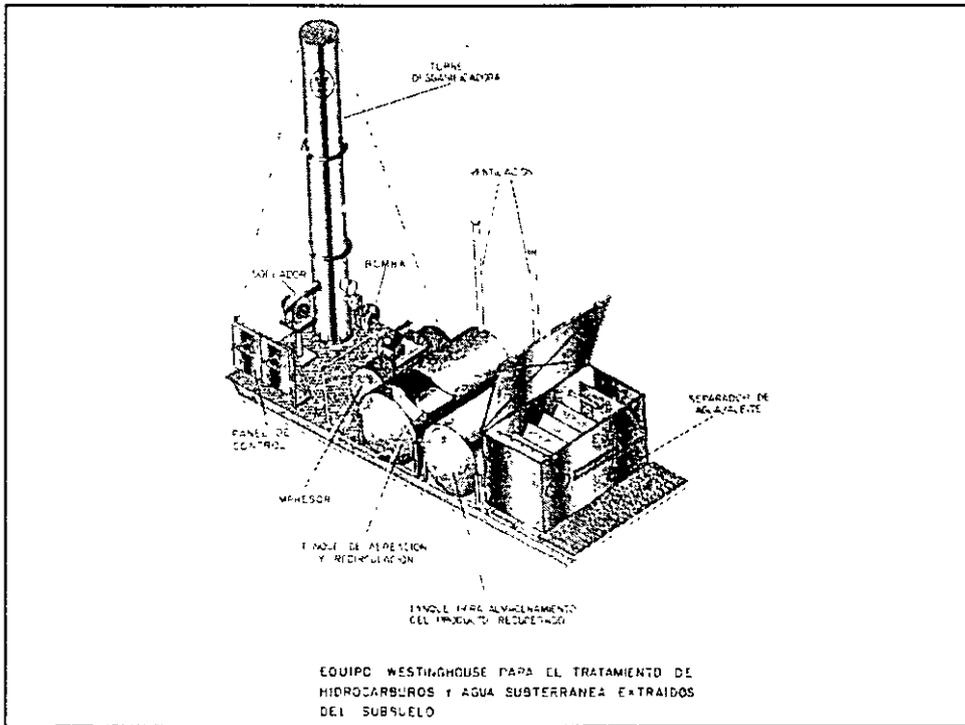
LESSER, 2001



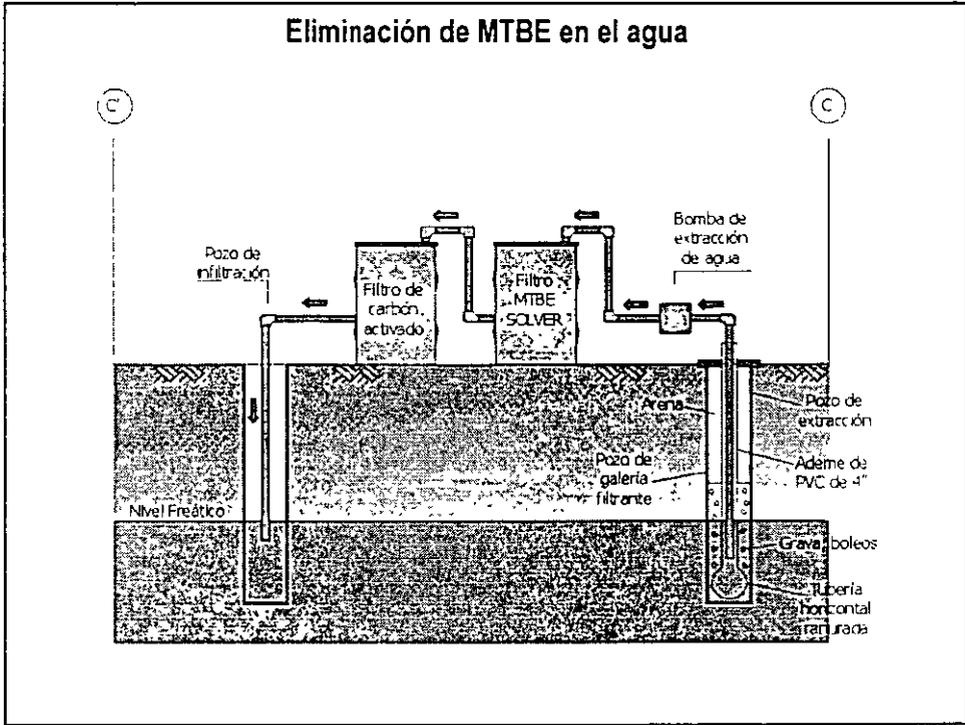


Remediación: Extracción y tratamiento de producto líquido y volátiles



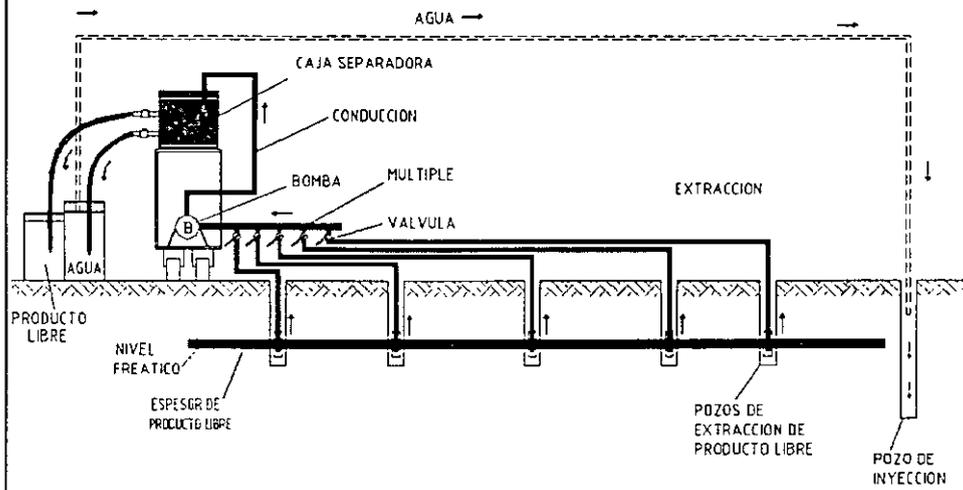


Eliminación de MTBE en el agua



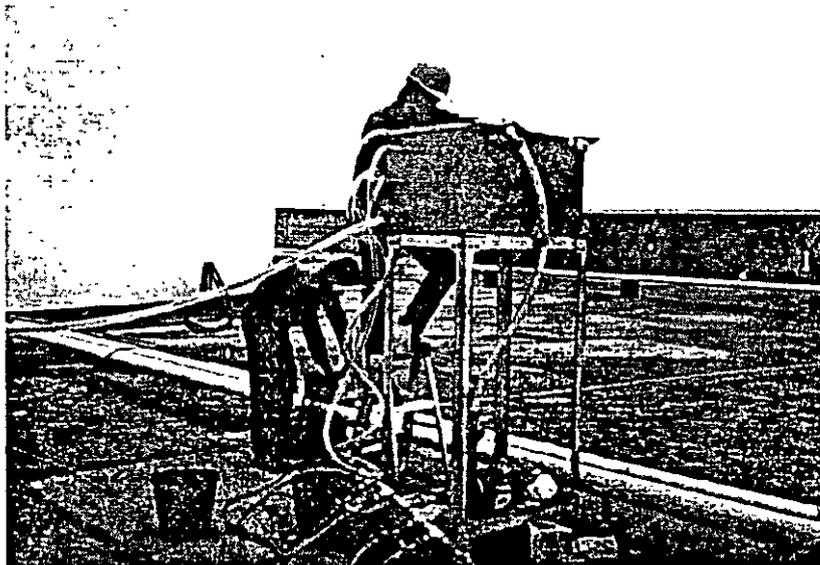
- Ejemplo de una remediación física

Sistema de extracción de producto libre

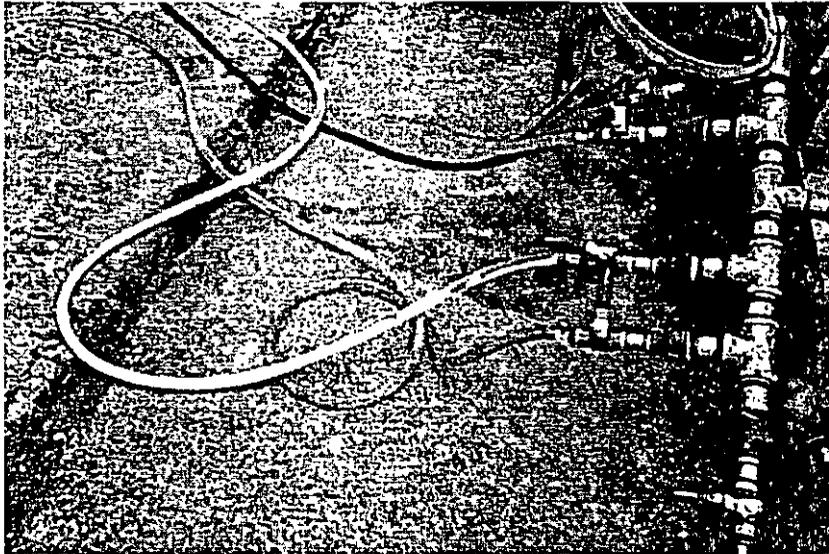


LESSER, 2001

Operación del sistema de extracción de producto libre

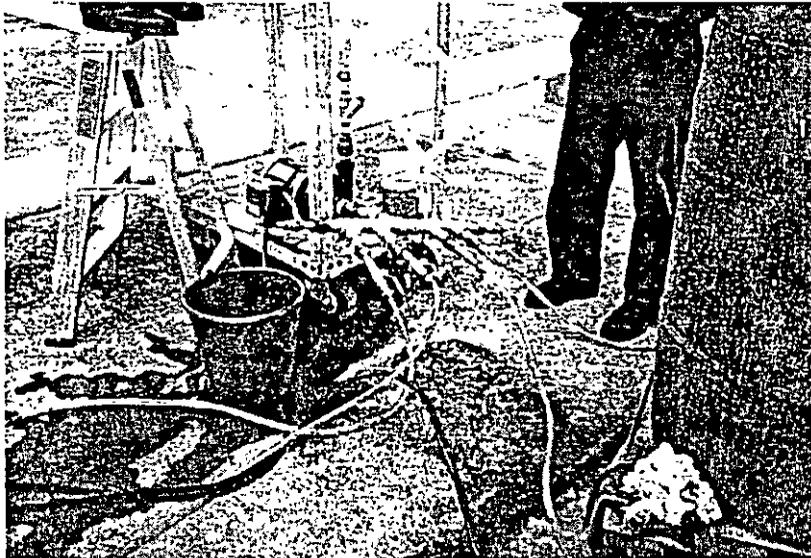


LESSER, 2001

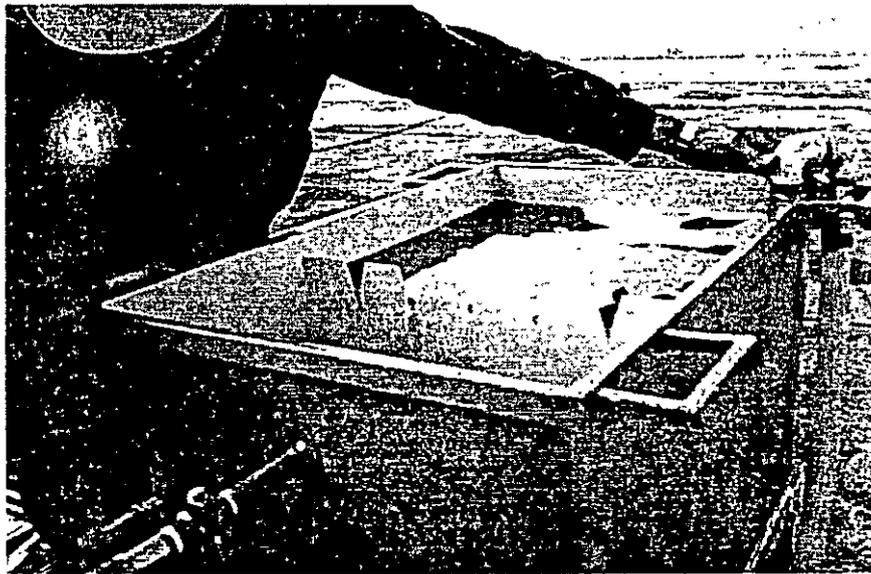


 LESSER, 2001

Múltiple, conexión hacia 5 pozos de extracción



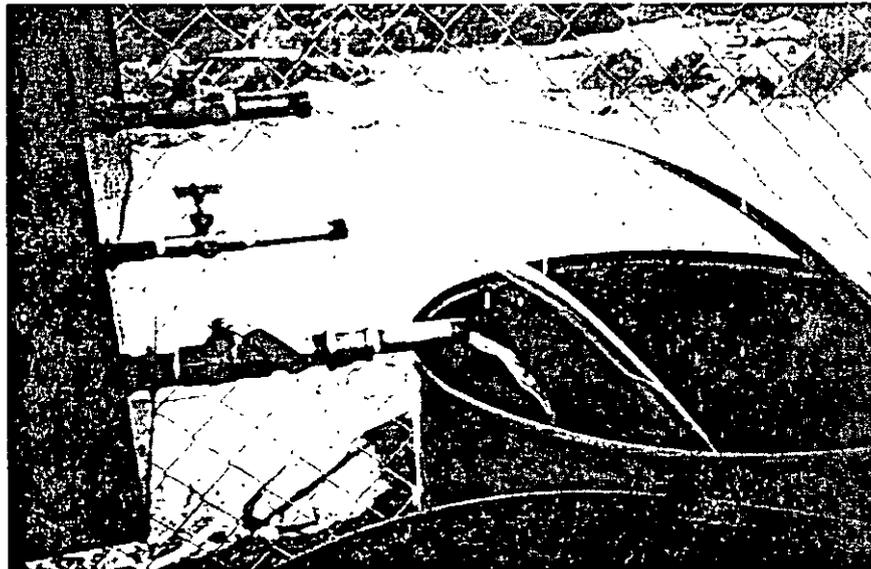
 LESSER, 2001



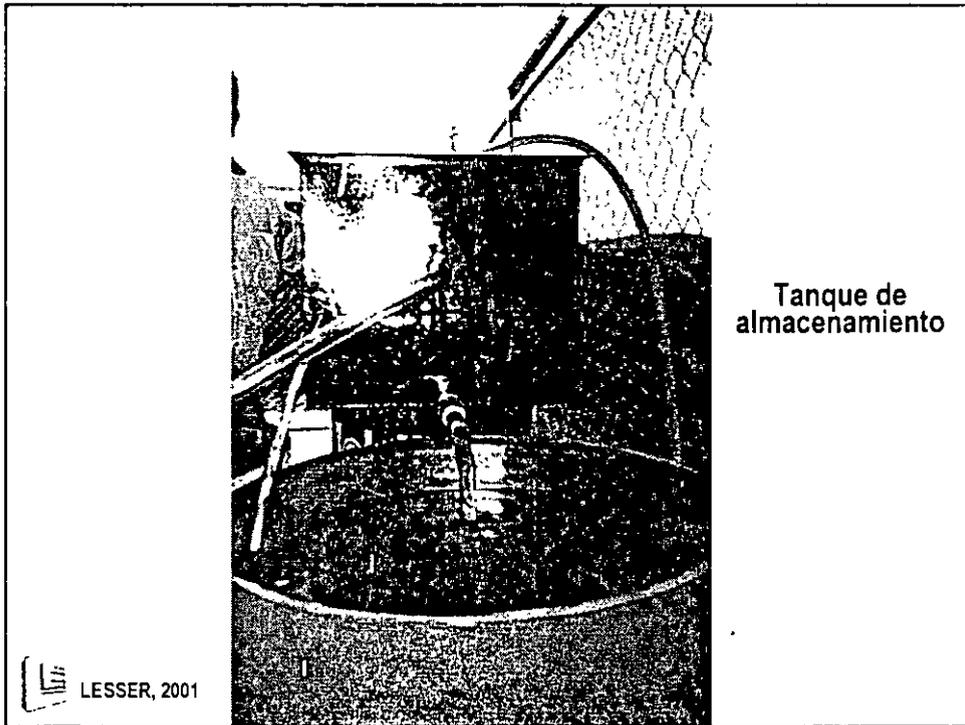
Caja separadora

LESSER, 2001

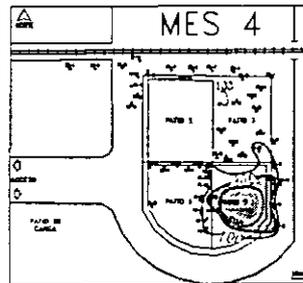
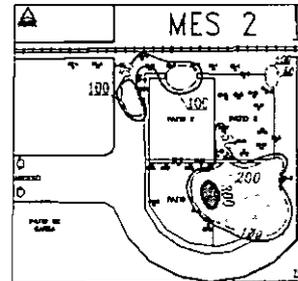
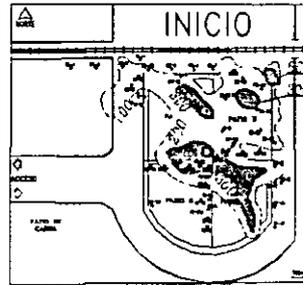
Salidas de la caja separadora



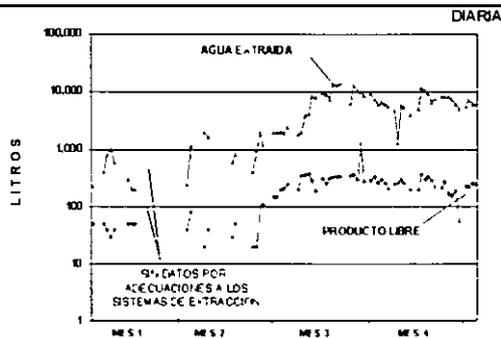
LESSER, 2001



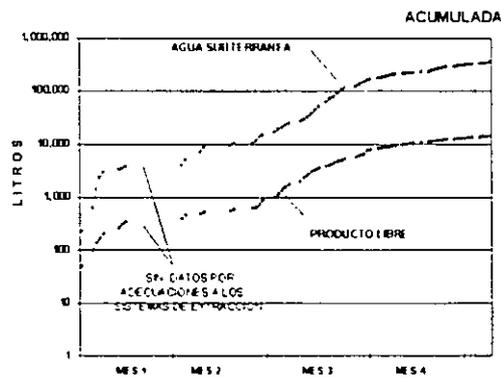
Remediación: extracción de producto libre

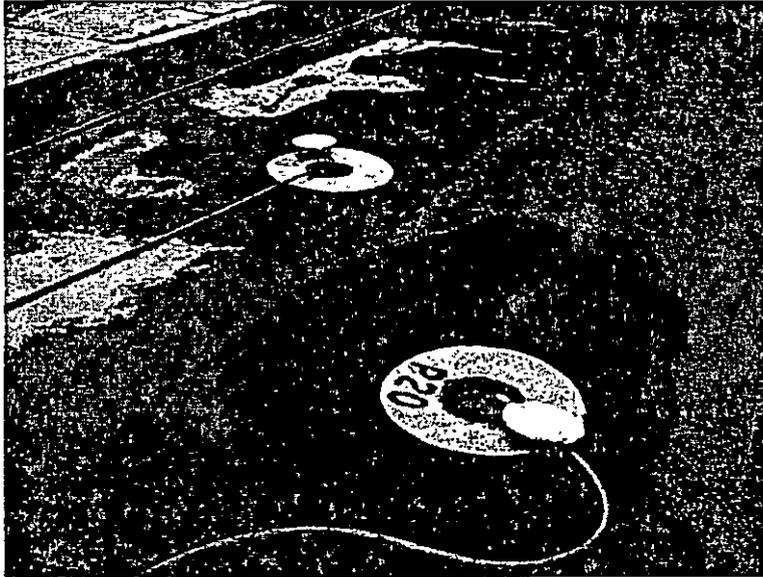


Evolución de la mancha de producto libre



Volumen de extracción de producto libre y agua subterránea





 LESSER, 2001



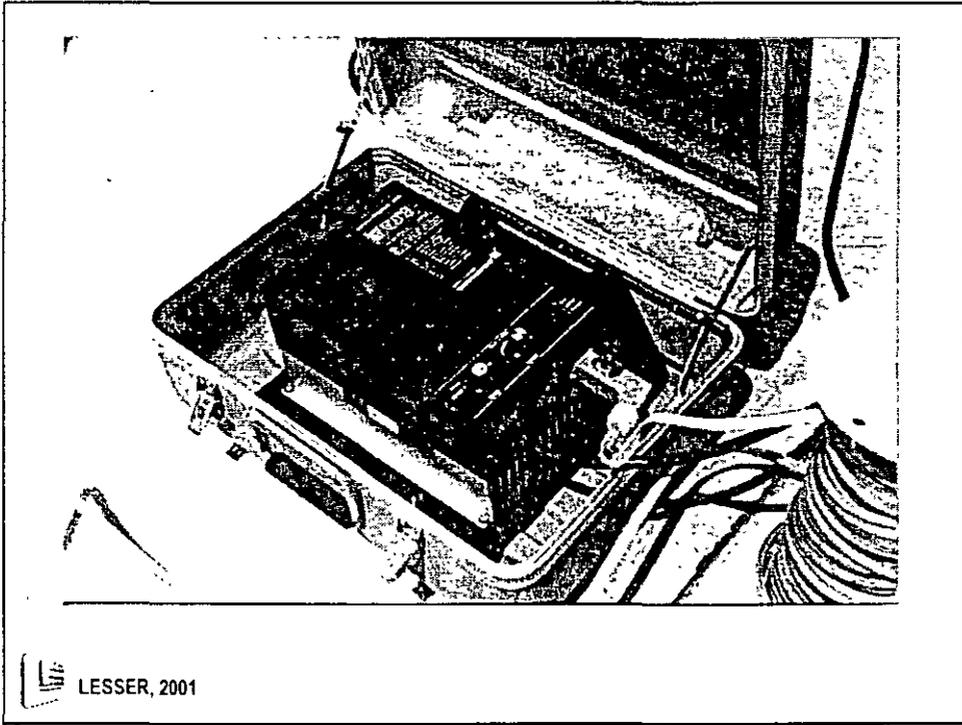
 LESSER, 2001



 LESSER, 2001

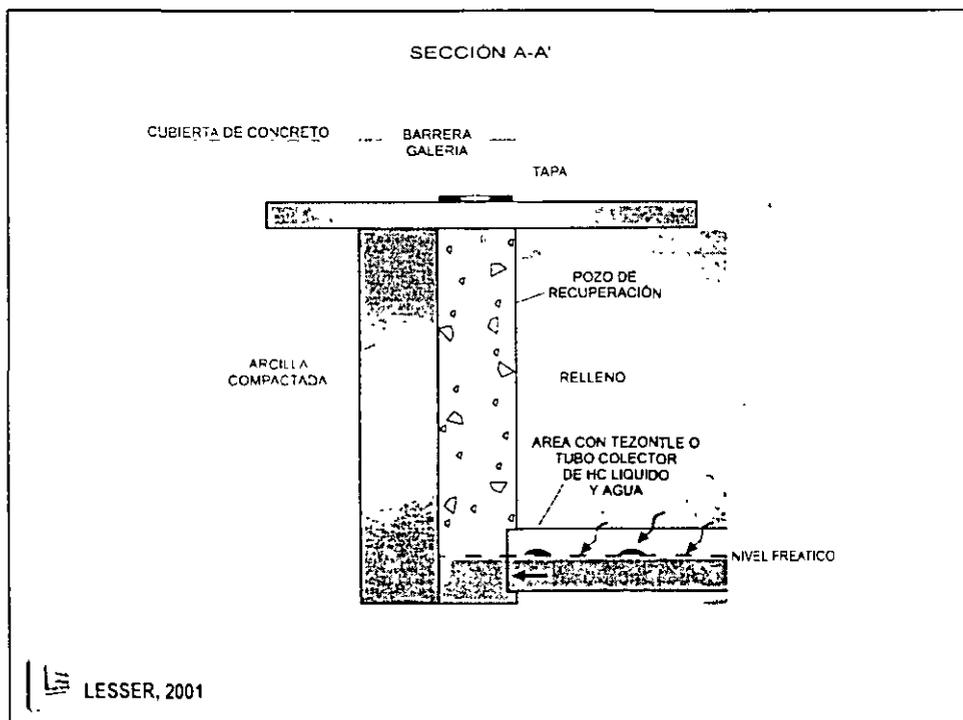


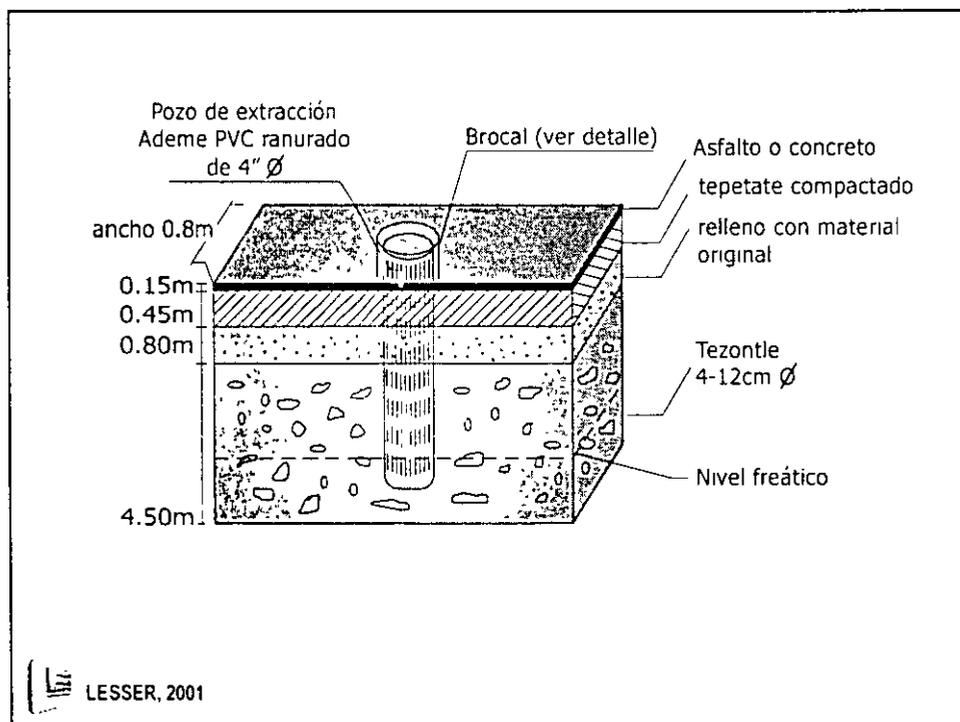
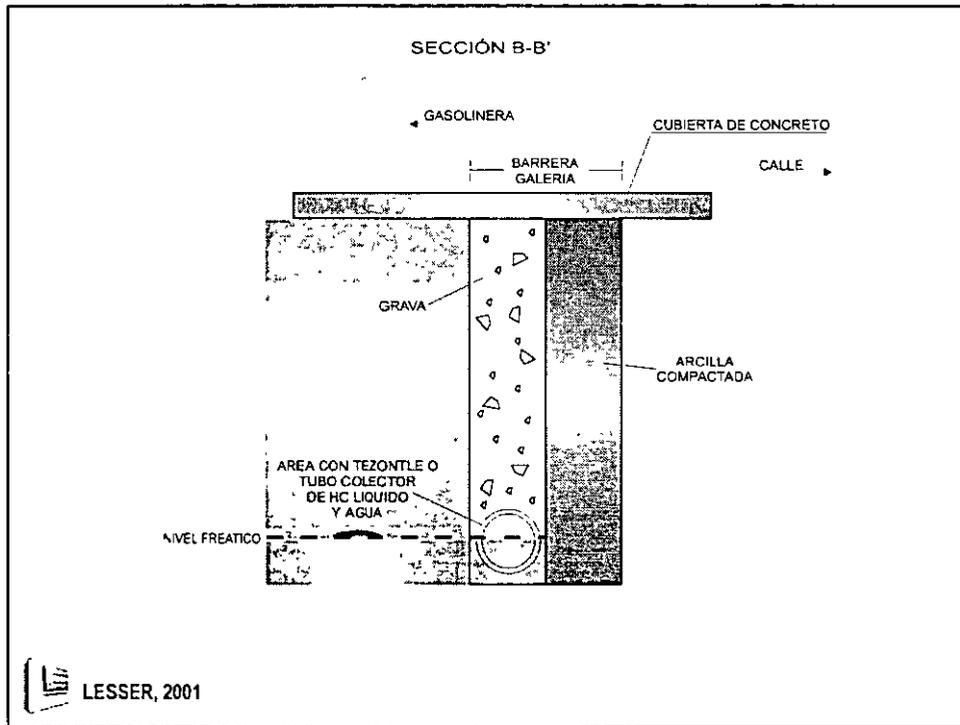
 LESSER, 2001

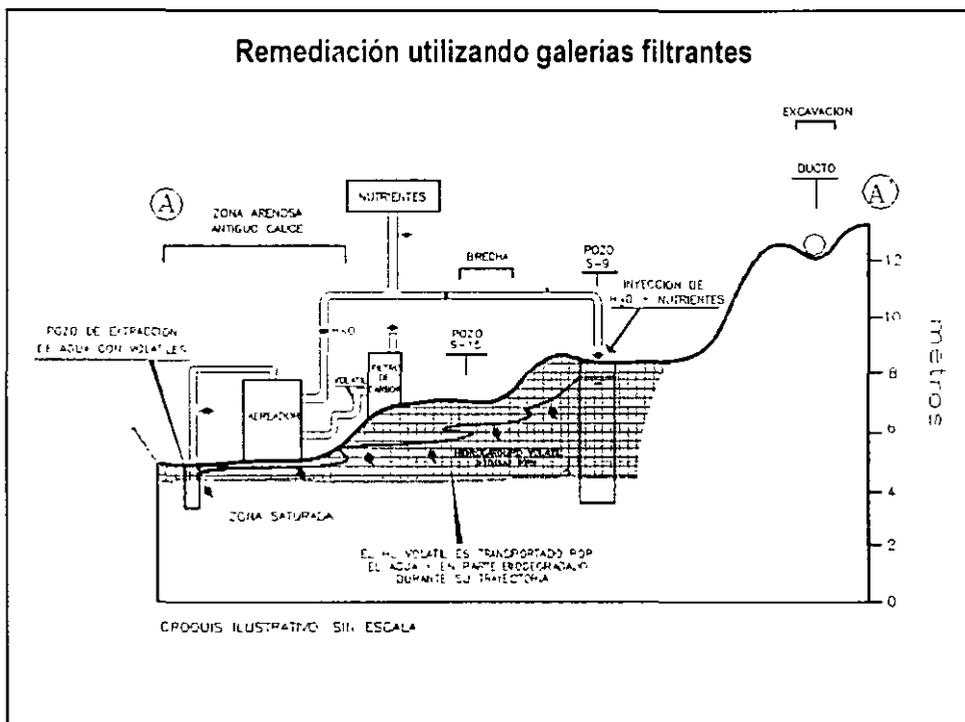
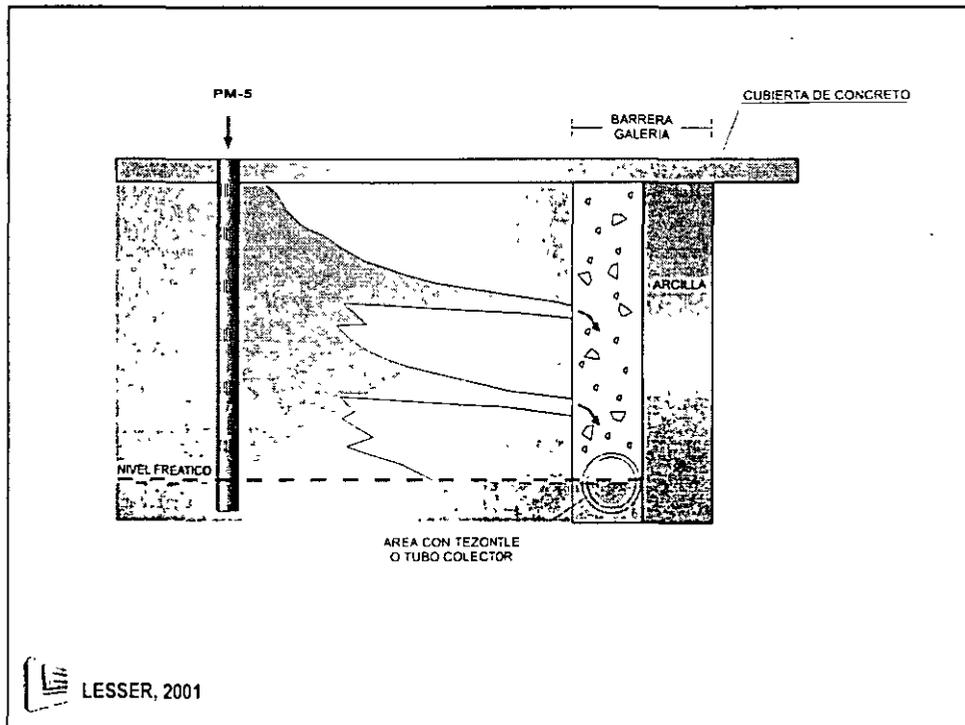


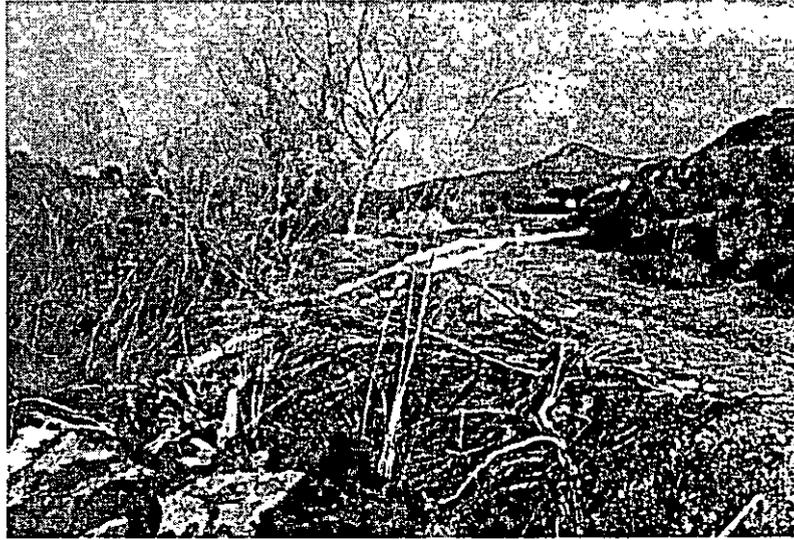
■ Galerías filtrantes

 LESSER, 2001









Trazo de una galería



LESSER, 2001



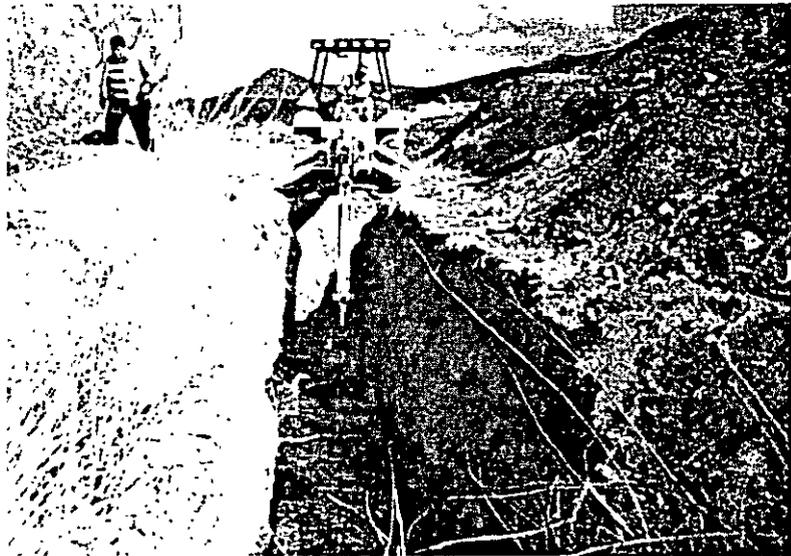
Trazo de una galería



LESSER, 2001

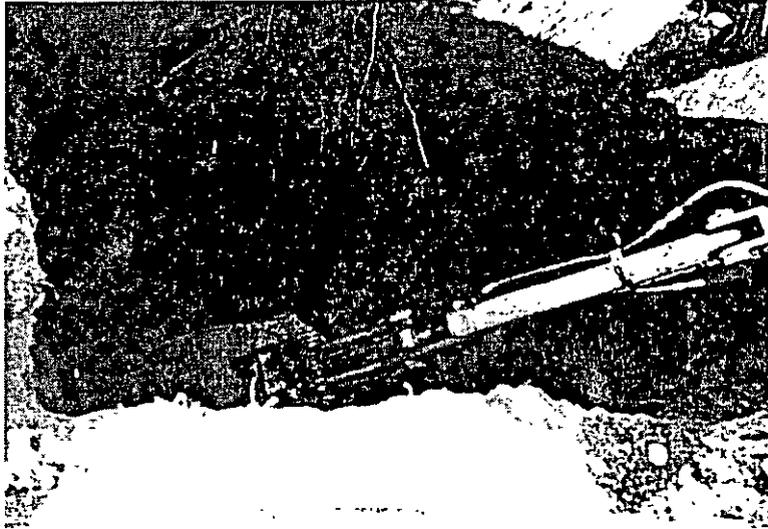


 LESSER, 2001



Excavación de galería

 LESSER, 2001



Excavación de galería



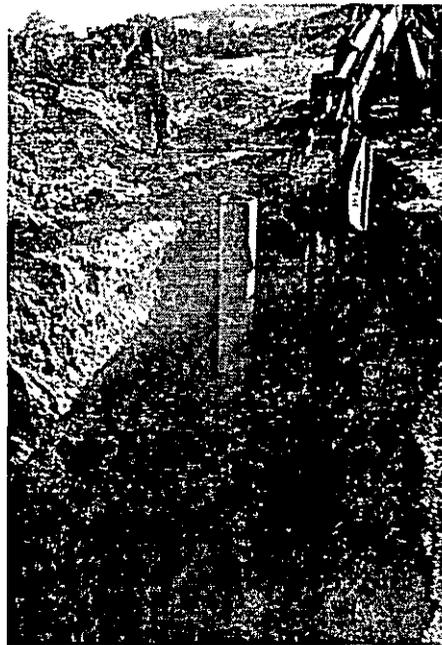
LESSER, 2001



**Colocación de
ademe para
extracción de
producto, dentro
de la galería**

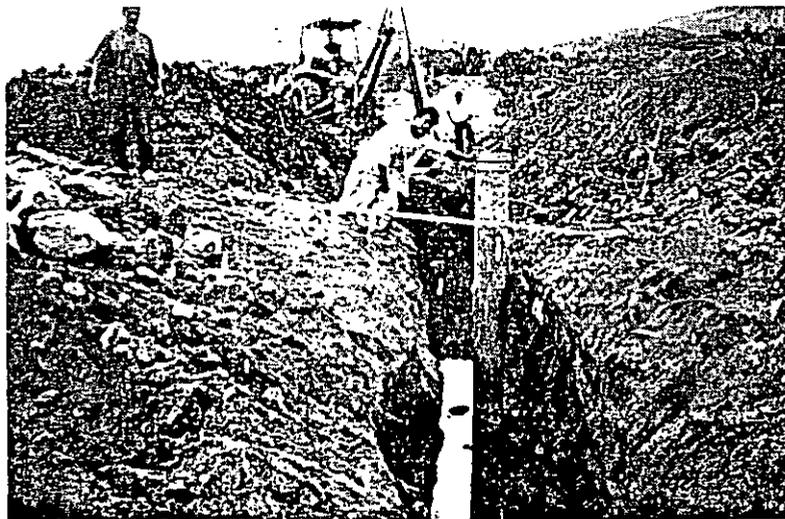


LESSER, 2001



Relleno de la galería

 LESSER, 2001



Relleno de la galería

 LESSER, 2001



Tapado de la galería



LESSER, 2001



Galería cubierta

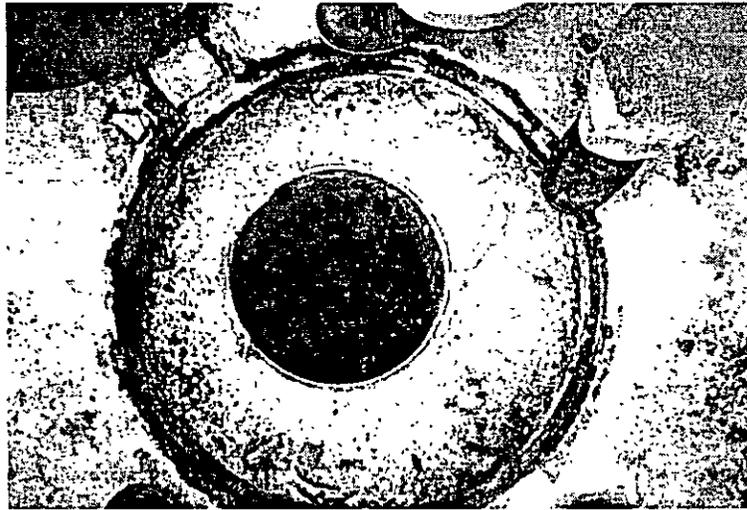


LESSER, 2001



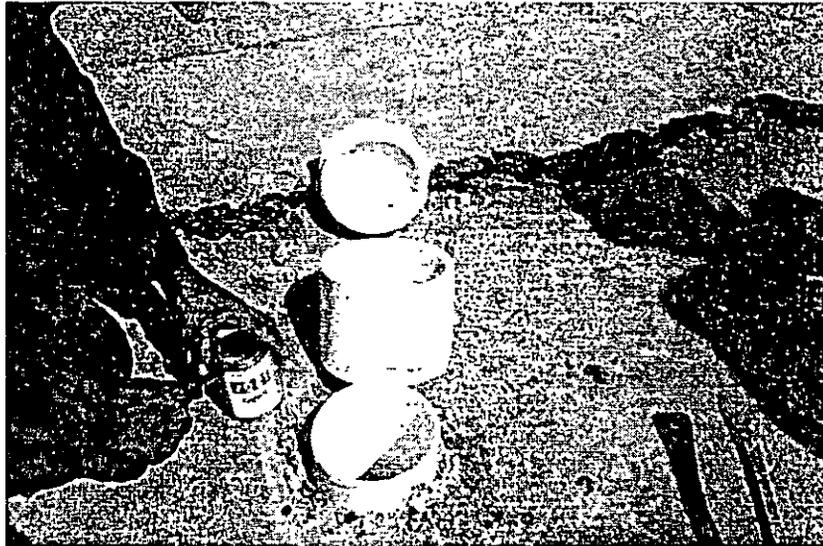
Tapa del pozo sobre la galería

 LESSER, 2001



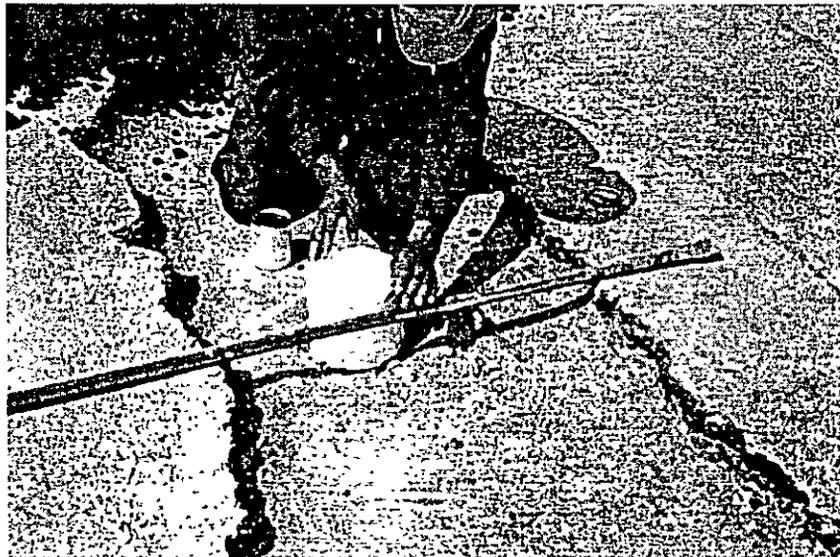
Tapa del pozo sobre la galería

 LESSER, 2001



Tapa del pozo sobre la galería

 LESSER, 2001



Tapa del pozo sobre la galería

 LESSER, 2001



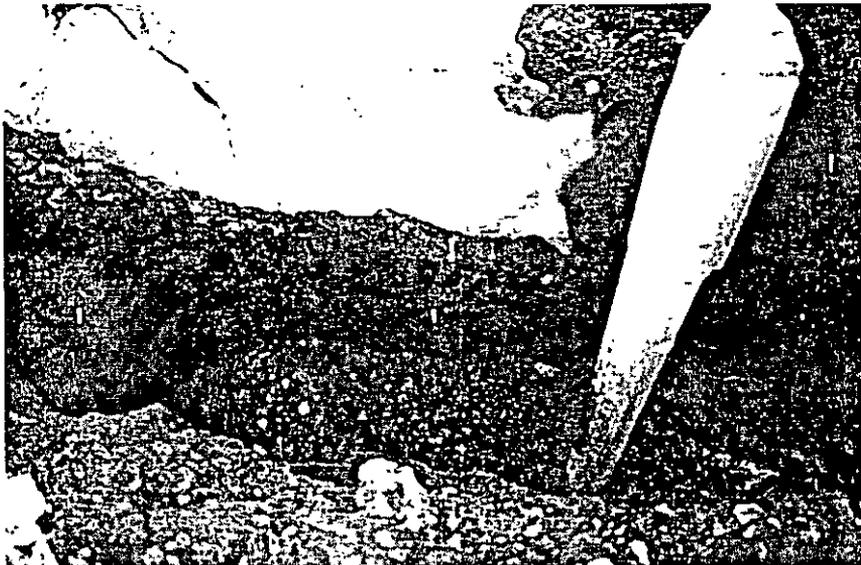
 LESSER, 2001



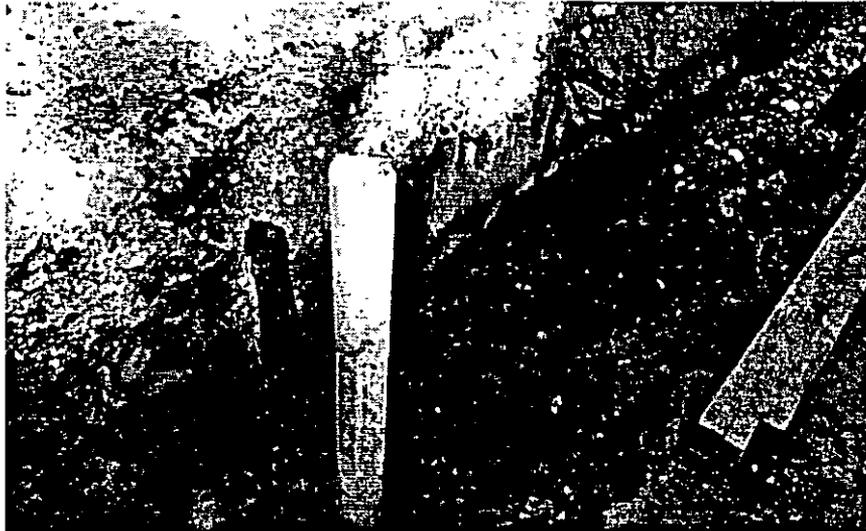
 LESSER, 2001



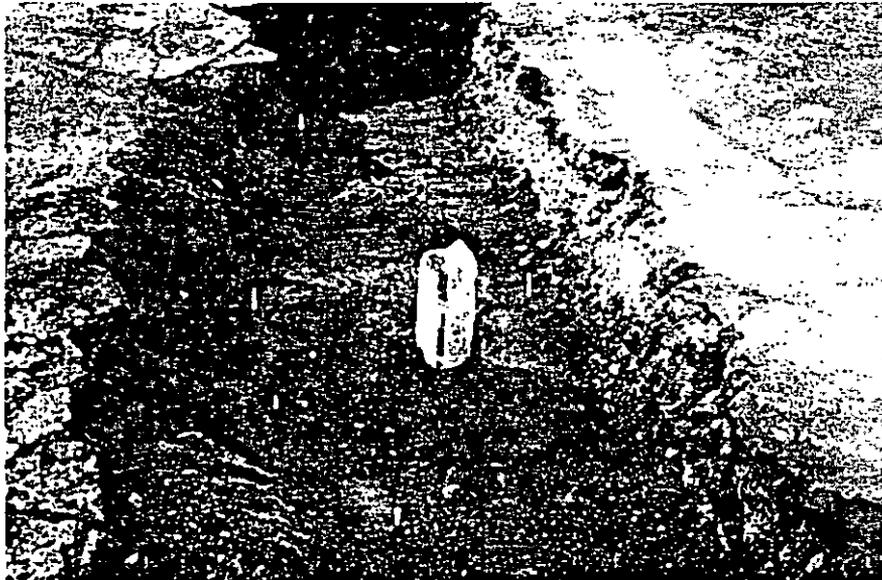
 LESSER, 2001



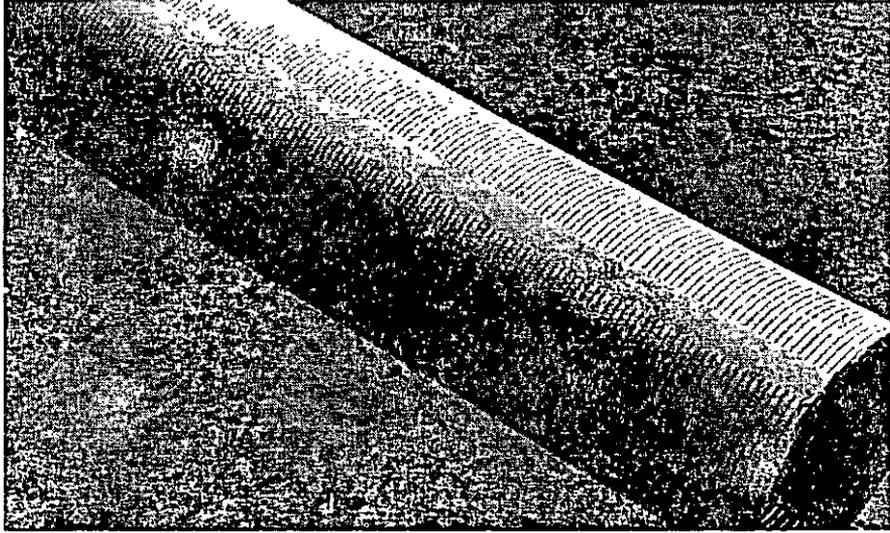
 LESSER, 2001



 LESSER, 2001



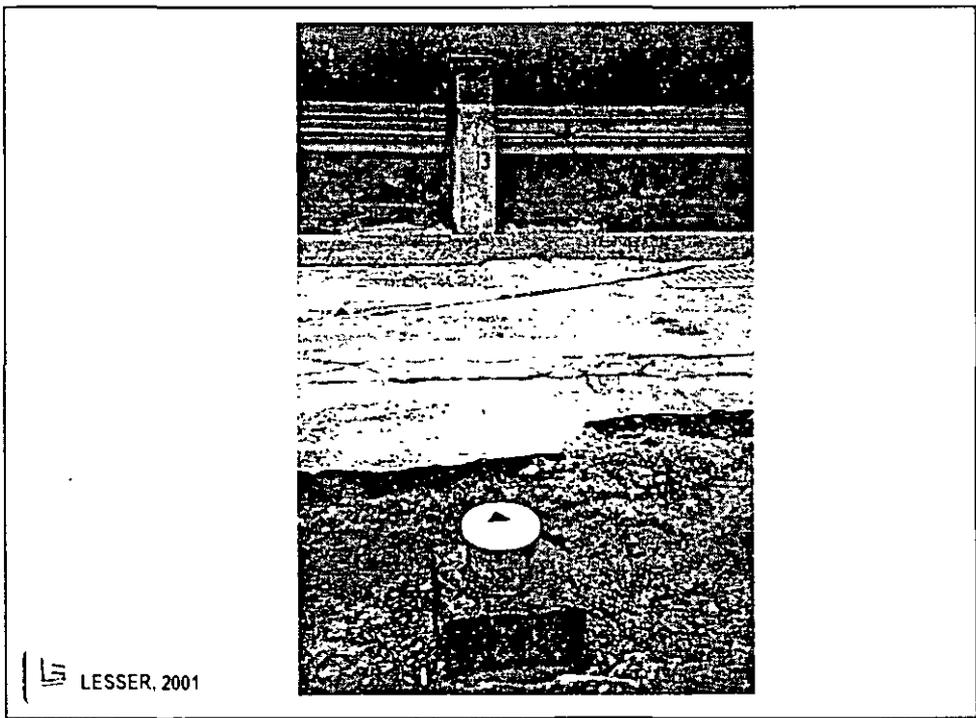
 LESSER, 2001

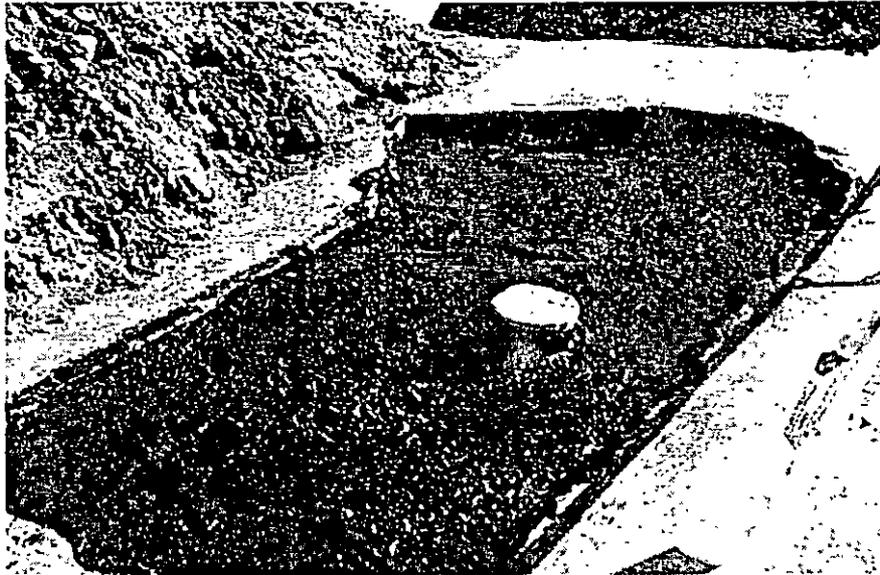


 LESSER, 2001



 LESSER, 2001

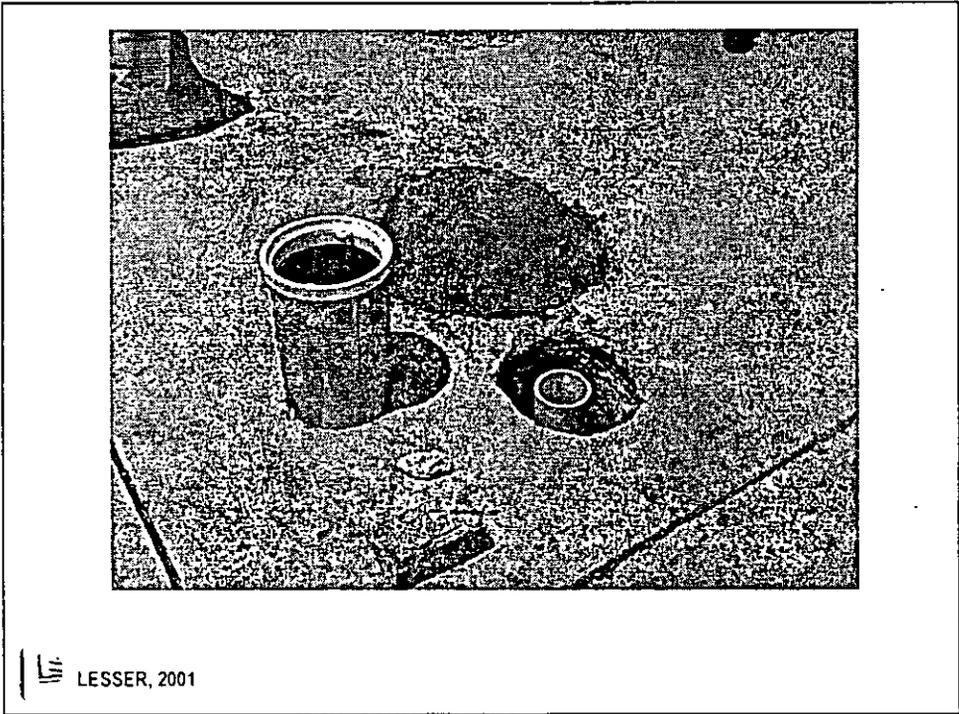
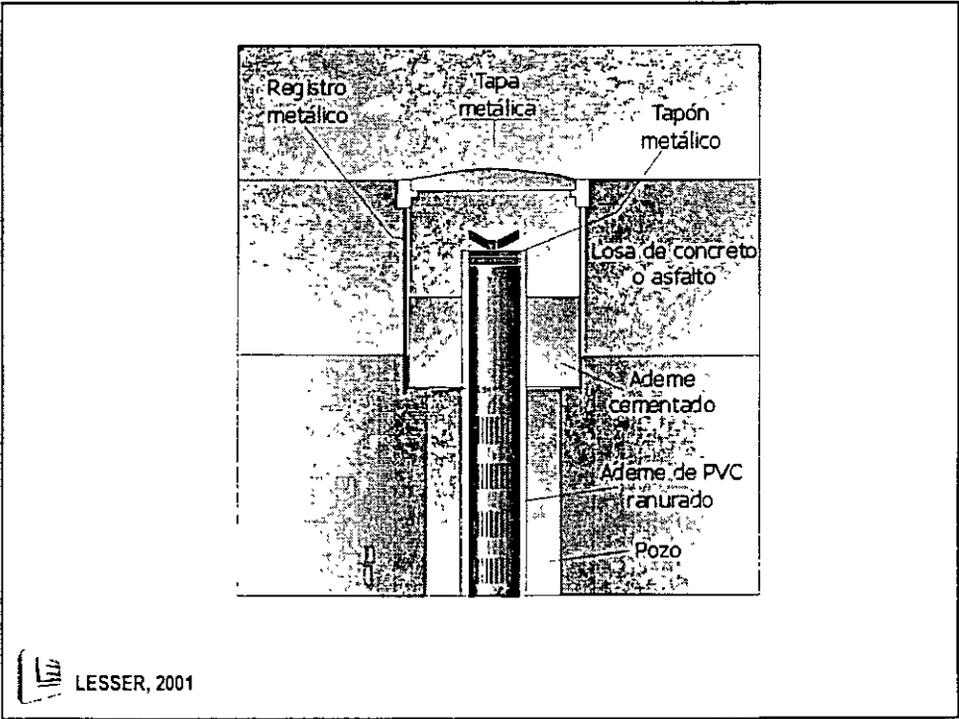




 LESSER, 2001

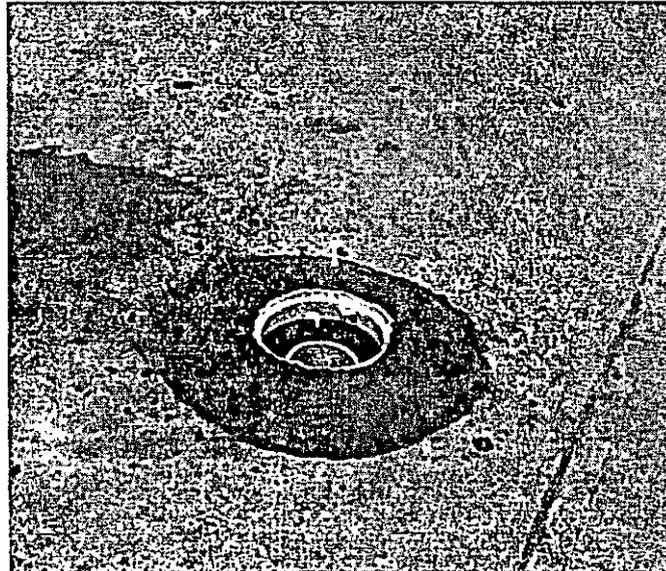


 LESSER, 2001

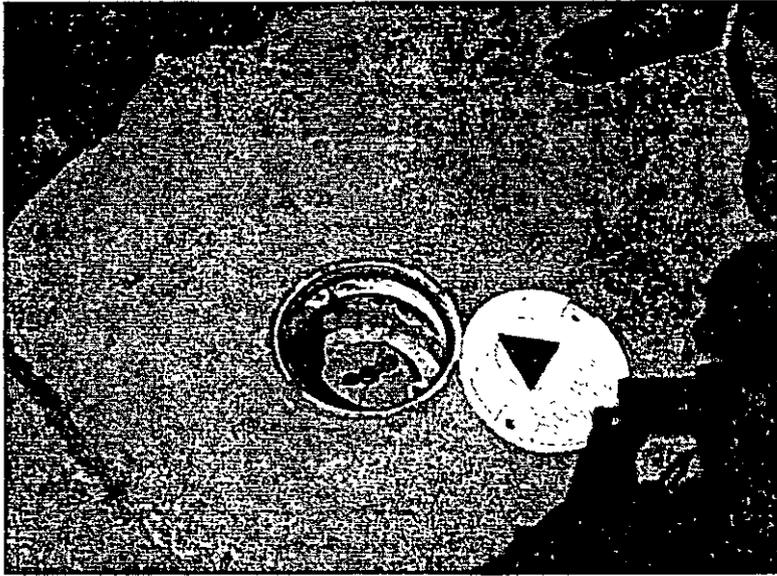




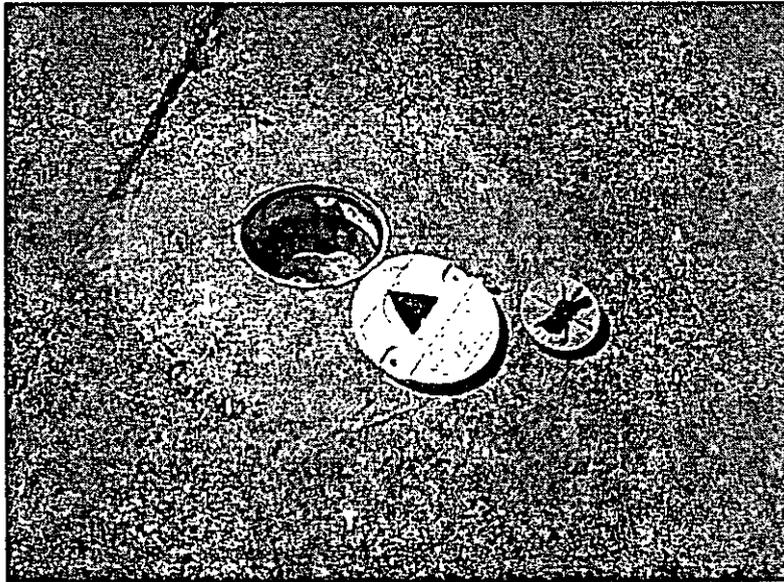
 LESSER, 2001



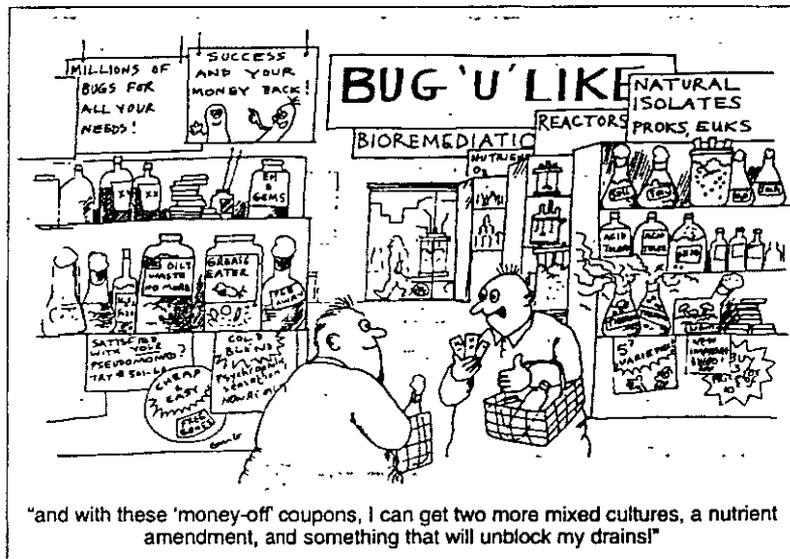
 LESSER, 2001



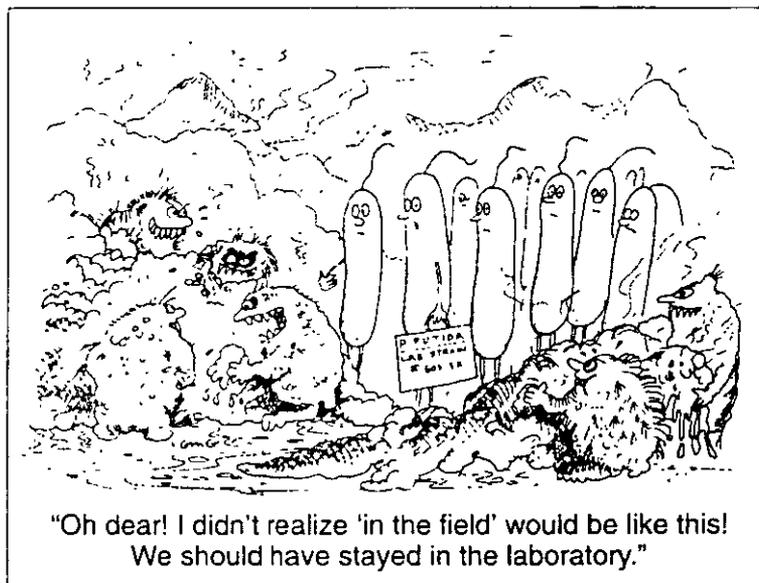
 LESSER, 2001



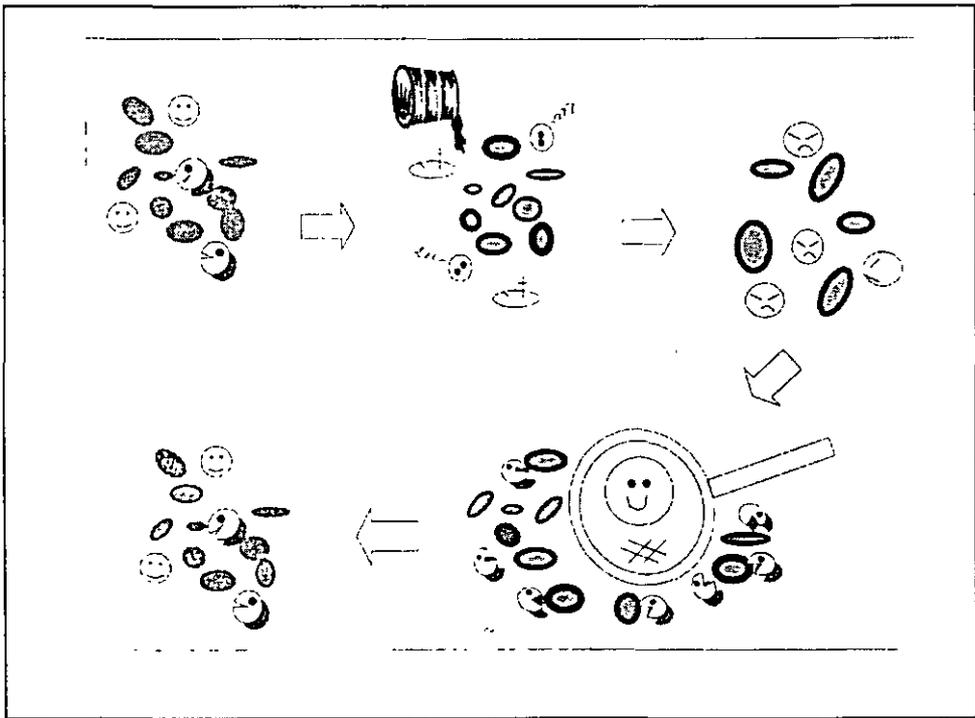
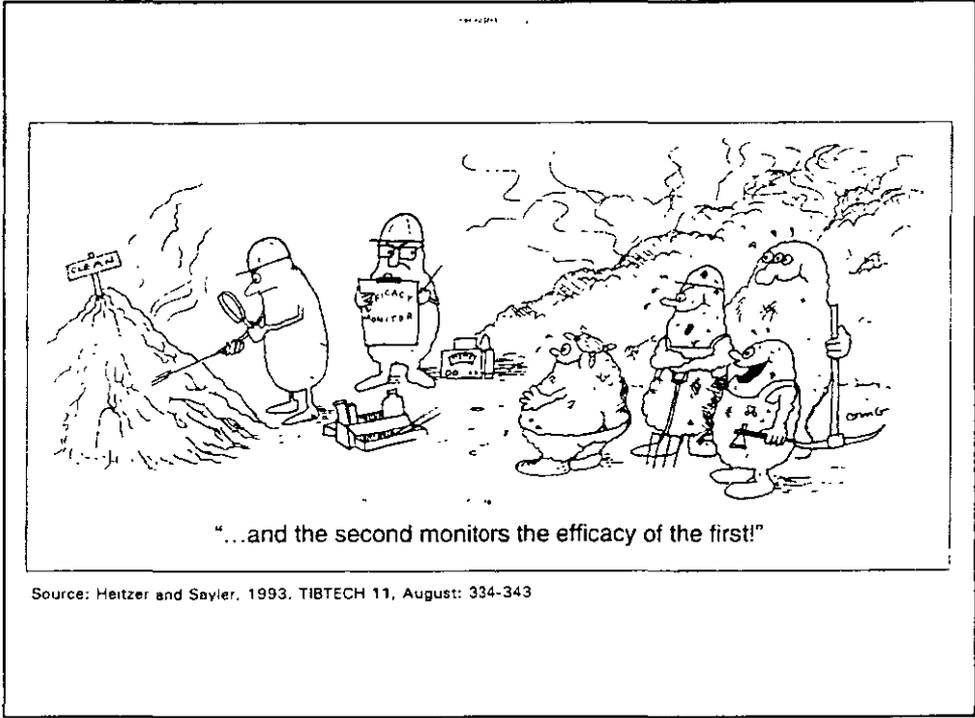
 LESSER, 2001

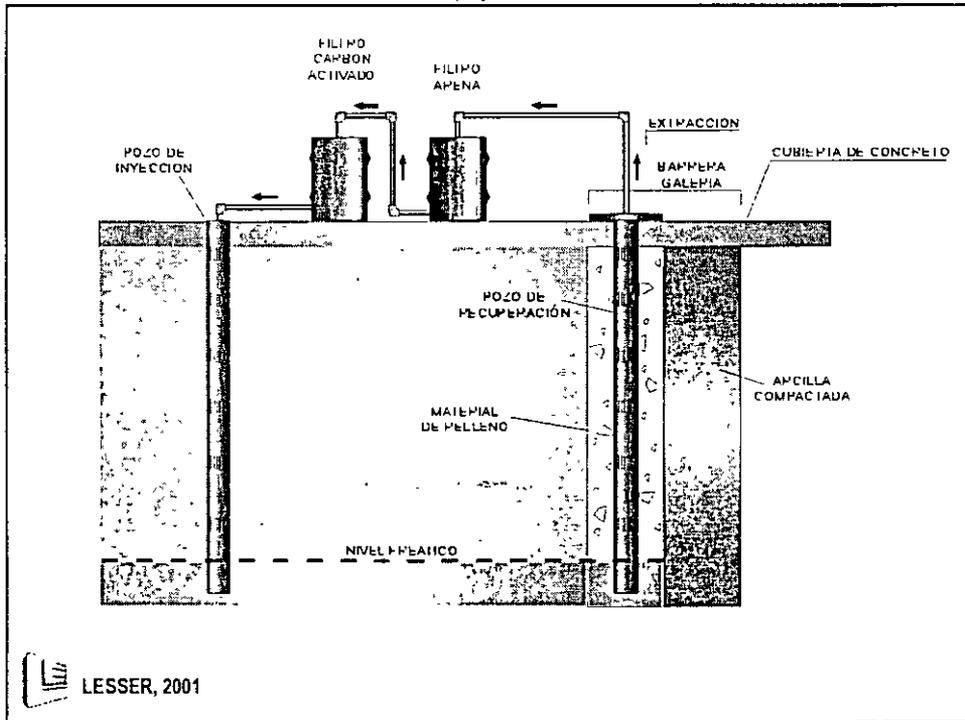


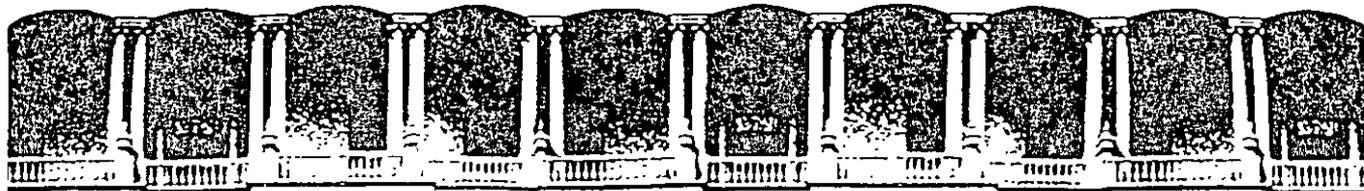
Source: Caplan, 1993 TIBTECH 11, August 320-323



Source: Liu and Sullita, 1993 TIBTECH 11, August 344-352.







**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS

MODULO II CA 113

CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES ORGÁNICOS

TEMA

EL MTBE COMO CONTAMINANTE DE ACUÍFEROS

**EXPOSITORES: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
LUIS ERNESTO LESSER
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

EL MTBE COMO CONTAMINANTE DE ACUÍFEROS

Por: Ing. Juan Manuel Lesser*

Dra. Susana Saval B.**

Luis Ernesto Lesser***

RESUMEN

El MTBE es un aditivo que se le añade a las gasolinas oxigenadas para evitar la contaminación del aire, ya que disminuye la generación de monóxido de carbono y de ozono de las emisiones vehiculares. En los Estados Unidos, su uso comercial se inició en 1979, más tarde, en 1992 la USEPA emitió una norma obligando al uso de este oxigenante en las gasolinas, en substitución del tetraetilo de plomo, en aquellas regiones con problemas severos de contaminación del aire, lo que promovió el uso intensivo del MTBE. En México, se empezó a utilizar a partir de 1990, con la introducción de la gasolina Magna y posteriormente la gasolina Premium.

La solubilidad del MTBE en agua llega a ser de casi 30 veces mayor que la del benceno, que es el hidrocarburo típico de la gasolina, además tiene una gran movilidad lo que ocasiona que se incorpore rápidamente a los acuíferos. En la década de los 90's empezó a ser notable y alarmante la presencia de MTBE en el agua subterránea de consumo humano, particularmente en el Estado de California, preocupación que se extendió rápidamente hacia todas las regiones de los Estados Unidos.

La gravedad de los daños que produce a la salud humana aún no ha sido claramente precisada, ya que los resultados obtenidos en un gran número de investigaciones son muy contradictorios. Un aspecto importante es que el MTBE tiene la ventaja de impartirle al agua un olor y sabor desagradables que lo hacen fácilmente detectable aún en concentraciones muy bajas. esto provoca que el agua sea rechazada por el consumidor, situación que reduce notablemente el riesgo por ingestión.

En este artículo se explica el comportamiento del MTBE como contaminante de acuíferos, así como las técnicas de remediación aplicables, tomando como base sus características fisicoquímicas.

INTRODUCCIÓN

El MTBE (metil-ter-butil-éter) es un compuesto orgánico utilizado como aditivo oxigenante de las gasolinas, cuyo uso fue promovido en los últimos años con el objeto de aumentar su octanaje al reducir notablemente la generación de monóxido de carbono y de ozono, así como la presencia de partículas de plomo, provenientes de las emisiones vehiculares. A principios de la década de los 80's, se le consideró un compuesto revolucionario de alto beneficio en el control de la contaminación del aire, probado, aceptado y recomendado por la USEPA y por otras instancias del gobierno de los Estados Unidos (Clean Air Act Amendment, 1990).

En México el MTBE empezó a utilizarse alrededor de 1990, con la aparición de la gasolina Magna y posteriormente con la gasolina Premium, mismas que desplazaron a la gasolina Nova, cuyo uso se eliminó para evitar las emisiones de plomo a la atmósfera.

Sin embargo, cuando el MTBE se introdujo al mercado, se desconocían las consecuencias ambientales que se tendrían en el subsuelo. Su alta solubilidad y gran movilidad en el agua subterránea, han hecho evidentes los problemas de contaminación que actualmente se están encontrando en estaciones de servicio, tomas clandestinas alrededor de ductos, instalaciones de tanques de almacenamiento y patios de maniobras de combustibles, entre otros.

DATOS GENERALES Y PROPIEDADES DEL MTBE

Origen. El MTBE se produce industrialmente mediante procesos químicos de síntesis a partir del metanol e isobutileno, a diferencia de las gasolinas que son producidas por la refinación del petróleo. El MTBE se adiciona a las gasolinas hasta el momento en que éstas son formuladas para su distribución y posterior venta al público.

Características generales. La fórmula química condensada del MTBE es $\text{CH}_3\text{OC}(\text{CH}_3)_3$, su conformación molecular se presenta en la Fig.1. Es un líquido incoloro, con un olor similar al del aguarrás, tiene un punto de ebullición de 55.2°C y su densidad es de 0.743 g/cm^3 . Se le considera químicamente estable; es volátil, inflamable y explosivo.

Síntomas por la exposición. Al contacto con los ojos y con la piel produce irritación, la inhalación prolongada puede causar tos, insuficiencia respiratoria, vértigo e intoxicación.

Solubilidad en el agua. La solubilidad del MTBE puro en el agua se reporta entre 48,000 y 51,000 mg/l, dependiendo de la fuente de información. El MTBE es cerca de 30 veces más soluble en agua en comparación con el benceno y casi 100 veces más soluble que el tolueno (Tabla 1).

La alta solubilidad del MTBE está dada por la disposición del grupo éter en su molécula, que le confiere un “momento dipolo” debido al par de electrones que están asociados al átomo de oxígeno (Fig. 1). Esto hace que el MTBE se comporte como un compuesto ligeramente “iónico” a diferencia de los hidrocarburos contenidos en la gasolina, que por naturaleza son no-polares.

Si se toma como base que la gasolina contiene aproximadamente 10% de MTBE, se tiene que el MTBE que proviene de un litro de gasolina se puede disolver en 1.5 litros de agua. Cuando se rebasa esta relación, el MTBE, permanece junto con los hidrocarburos formando una capa que flota sobre el nivel estático, debido a que su densidad es menor que la del agua.

Volatilidad. La constante de la Ley de Henry que se interpreta como un coeficiente de distribución aire/agua (K_{aw}), indica que el MTBE es 10 veces menos volátil que el benceno cuando ambos están disueltos en el agua (Tabla 1).

Difusión en el aire. La presión de vapor del MTBE es 26 veces más alta que la del benceno (Tabla 1). Esto significa que aunque el MTBE tenga preferencia por el agua, las pocas moléculas que se desprendan en forma de vapor ejercerán una mayor presión al pretender abandonar el agua, en comparación con la presión que pueden ejercer las moléculas de benceno. Una vez en el aire, el MTBE presenta un coeficiente de difusión similar al del benceno (Tabla 1). Lo anterior ocasiona lecturas de explosividad en la fase gaseosa de suelos contaminados únicamente con MTBE.

Adsorción en el suelo. El MTBE tiene una muy baja afinidad por el carbono orgánico ($\log K_{oc}$ entre 1.0 y 1.1, Tabla 1), por lo que prácticamente no se adsorbe en la materia orgánica del suelo, a diferencia del benceno que tiene una alta afinidad ($\log K_{oc} = 1.6 - 2.3$, Tabla 1). Además, el MTBE presenta un coeficiente de retardación muy bajo, de 1.38, cuando para el benceno es de 3.38. Esto indica que el MTBE se desplaza prácticamente junto con el agua, por lo que casi no se encuentra como contaminante en el suelo (Fig. 2).

Aproximadamente el 8% del MTBE presente en el acuífero puede ser adsorbido por el suelo, mientras que el benceno es absorbido hasta en un 40%.

Difusión en el agua. El MTBE tiene un coeficiente de difusión en agua casi 10 veces mayor al del benceno. Lo anterior contribuye al incremento en el tamaño de las manchas de contaminación en agua subterránea comparado con lo que ocurriría si se tratara de benceno (Fig. 2).

MOVIMIENTO DEL MTBE EN EL ACUÍFERO

El MTBE es fácilmente transportado en un acuífero mediante los mecanismos que rigen el movimiento de solutos en agua subterránea que son: advección y dispersión hidrodinámica, en este último se incluyen dispersión mecánica y difusión molecular.

En el transporte del agua subterránea los factores más importantes en sedimentos no consolidados son: la litología, la estratigrafía y el contenido de carbono orgánico, que a su vez dependen de la porosidad, la permeabilidad y del grado de compactación. La porosidad es la relación entre los espacios vacíos y el volumen total; la permeabilidad se refiere a la facilidad que presenta un medio al flujo del agua. En la porosidad y permeabilidad, influyen también la textura (tamaño de partículas) y su uniformidad, así como su grado de cementación.

La advección se refiere al movimiento del flujo subterráneo, el cual se establece de los puntos de mayor presión hidrostática hacia los de menor presión. La velocidad de circulación del agua subterránea está en función de la permeabilidad y del gradiente hidráulico, éste último determina la pendiente del nivel del agua.

La dispersión mecánica y la difusión molecular, también influyen en el destino de un contaminante en un acuífero. La dispersión mecánica esta influenciada por la tortuosidad de la trayectoria del agua. La difusión molecular se refiere al movimiento natural que se da de las zonas de mayor concentración hacia las de menor concentración.

El MTBE tiene un factor de retardación muy bajo, por ello circula prácticamente a la misma velocidad que el agua subterránea. Lo anterior aunado al hecho de que prácticamente no se adsorbe en el suelo, ocasiona un crecimiento rápido de las manchas de contaminación, cuya extensión es varias veces mayor a la que describen los hidrocarburos de las gasolinas, y muy en especial los BTEX, que son los compuestos a los cuales se les puede dar un seguimiento detallado.

En las Figuras 3a y 3b se ejemplifican las manchas de contaminación que se generan a partir de fuentes puntuales y fuentes continuas, respectivamente. Se observa que el MTBE avanza notablemente más rápido que los hidrocarburos, disminuye su concentración a medida que se va avanzando en la dirección del flujo subterráneo a los diferentes tiempos t_1 al t_2 y al t_3 , y al mismo tiempo va aumentando el tamaño del área contaminada. Lo anterior ilustra los fenómenos de advección y dispersión hidráulica, que finalmente ocasionan una dilución.

TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN

En general, la remediación se refiere a la disminución de la concentración de un contaminante respecto al tiempo, como resultado de la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos. La estabilidad química y el comportamiento del MTBE en agua y suelo, hacen que en general, los métodos de remediación se califiquen como costosos, largos y poco eficientes.

A continuación se describen las características de algunos métodos de remediación que se han probado.

Extracción de vapores.- La aplicación de este método para casos específicos de contaminación con MTBE es muy limitada, podría ser efectivo únicamente en suelos granulares porosos y con baja humedad, es decir, en la zona vadosa. Lo anterior obedece a que en la zona vadosa el MTBE tiende a mantenerse en estado líquido, o bien, en forma volátil, ocupando el espacio poroso, ya que prácticamente no es adsorbido por el suelo.

Atenuación natural.- La atenuación natural es utilizada en los Estados Unidos en sitios contaminados con gasolinas. Incluye los diferentes mecanismos naturales que disminuyen la concentración del contaminante como la dilución por dispersión y biodegradación. La dilución y dispersión se dan muy fácilmente, sin embargo, el MTBE presenta resistencia a la biodegradación natural, por lo que su eficiencia en general se considera reducida. Se han reportado sitios con resultados favorables y desfavorables, dependiendo de si existen o no las condiciones adecuadas para ello.

Biorremediación.- Los procesos bioquímicos incluyen la participación de microorganismos degradadores (biodegradación), sin embargo, se sabe que en general el MTBE es difícilmente degradable, en contraste con el benceno y el tolueno que se biodegradan fácilmente.

A diferencia de los hidrocarburos, la biodegradación del MTBE no depende solamente de la disponibilidad de oxígeno como aceptor de electrones (bioventeo), o de la disponibilidad de sales minerales que favorecen la actividad microbiana (bioestimulación), sino de la especificidad metabólica de los microorganismos involucrados. Esto significa que las vías metabólicas para la degradación del MTBE por naturaleza son muy complejas y específicas, y las reacciones son muy lentas, a diferencia de aquellas involucradas en la biodegradación de los hidrocarburos. En este sentido, la adición de microorganismos aclimatados al MTBE (bioaumentación) sería la única alternativa de biorremediación prometedora, siempre que se asegure una buena actividad degradadora, una proporción adecuada de microorganismos en el subsuelo y un suministro constante y seguro de oxígeno (Fig. 4). Sin embargo, falta por estudiar a nivel de campo varios aspectos que son importantes en virtud de que la gran mayoría de los sitios contaminados con MTBE, también lo están con gasolinas. Algunos de estos aspectos son: 1) La competencia por la sobrevivencia que se daría entre la población microbiana encargada de la biodegradación de MTBE y aquella específica para los hidrocarburos de la gasolina, y 2) la forma en la que se deben proporcionar condiciones óptimas para favorecer la biodegradación en ambos sentidos. Sobre esta base, actualmente se realiza un gran número de investigaciones, principalmente en las universidades de los Estados Unidos.

Barreras permeables de tratamiento pasivo.- Consiste en una barrera de productos adsorbentes, o compuestos oxidantes a través de los cuales el agua con MTBE circula lentamente y a su paso recibe el tratamiento. Su eficiencia varía de baja a media dependiendo de las características del sitio y de los componentes de la barrera (Fig. 5). Actualmente en los Estados Unidos se están realizando muchos trabajos que utilizan esta técnica.

Bombeo y tratamiento.- Esta técnica se basa en la extracción de agua del subsuelo, contaminada con MTBE, para su tratamiento en superficie a través de aereación o adsorción.

Aereación.- El comportamiento ligeramente "iónico" del MTBE en agua hace difícil su separación de ésta, mediante un simple proceso de aereación por lo tanto es una técnica poco eficiente.

Adsorción.- El carbón activado tiene bajo poder de adsorción del MTBE, además de que requiere de cambios continuos. Actualmente existen en el mercado materiales filtrantes, algunos son productos granulados con diferentes proporciones de carbón activado, zeolitas y arcillas, otros son materiales sintéticos, los cuales han mostrado mayor efectividad en la retención del MTBE en comparación con el carbón activado (Fig. 6).

LÍMITES PERMISIBLES DE MTBE

En 1997, la WSWC (Western States of Water Council) en California emitió como **recomendación** un límite de concentración máxima de MTBE entre 0.020 y 0.040 mg/l para agua potable, considerando que ésta es una concentración suficientemente baja como para prevenir los efectos nocivos a la salud, así como para reducir el desagradable olor y sabor (Drinking Water Advisory for MTBE, Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis). Más tarde, en el año 2000, se fijó el límite máximo permisible en 0.013 mg/l el cual aparentemente debe cumplirse de manera obligatoria.

En los Estados Unidos, prácticamente cada estado tiene su propia normatividad para el MTBE, estos valores se presentan en la Tabla 2. De manera general, se observa un intervalo de concentración que va de 0.010 a 0.400 mg/l, sin embargo, se debe hacer notar que algunos estados cuentan con dos límites diferentes, uno estricto y otro más flexible, los cuales se aplican según el uso que se vaya a dar al agua.

TOXICIDAD Y RIESGO A LA SALUD

El efecto más notable que le imprime el MTBE al agua, es el olor y sabor desagradables. aún en muy bajas concentraciones, lo cual provoca que el agua sea rechazada por el consumidor. Ello, indirectamente constituye una medida precautoria en la ingestión de agua por el hombre, ya que al ser rechazada, su consumo y, por lo tanto el riesgo asociado disminuyen.

El MTBE no se incluye dentro de la lista de compuestos cancerígenos a humanos, de la USNTP, CP65C o la IARC (US National Toxicology Panel; California Proposition 65 Committee; International Agency for Research on Cancer), pero sí se incluye en la lista de **probables cancerígenos**, debido a que en estudios de laboratorio han demostrado que es cancerígeno en ratas. Con base en ello, el MTBE se ha clasificado dentro del grupo C y se ha establecido un límite máximo de 0.013 mg/l para agua potable (California's Department of Health Services, DHS, 1999).

DETERMINACIONES ANALÍTICAS

En general, el MTBE se puede analizar de acuerdo a los métodos EPA 8020, EPA 8240 y EPA 8260, de manera simultánea a los hidrocarburos monoaromáticos (BTEX). Sin embargo, se ha establecido que sólo existen dos métodos analíticos aprobados por la USEPA para la detección del MTBE en agua, el EPA 502.2 y el EPA 524.2.

En la Figura 7 se presenta el perfil cromatográfico de una muestra de agua subterránea contaminada con gasolina Magna, que fue analizada de acuerdo al método EPA 8260 (cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas). A los 8 minutos se observa un pico de altura y área muy grandes que corresponde al MTBE, el cual sobrepasa por mucho la respuesta de los picos del benceno, tolueno y los isómeros del xileno. En el mismo cromatograma se observa otro pico que también sobresale, el cual corresponde al TAME (metil-teramil-éter), otro compuesto oxigenante que generalmente acompaña al MTBE, cuyas características fisicoquímicas son diferentes; su solubilidad en agua es de 2,640 mg/l, es muy poco volátil y hasta la fecha no existen estudios referentes a su toxicidad.

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

En marzo del 2001 la EPA recomendó evitar el uso del MTBE en los Estados Unidos, para evitar mayores daños a las reservas acuíferas (California's Department of Health Services, CDHS). Por lo menos en 10 estados se espera que para fines del 2001 se haya eliminado su uso, mientras que en el estado de Washington será hasta el 2003 que se logre este objetivo.

Lo anterior ha llevado a plantear en los Estados Unidos, la sustitución del MTBE por otros oxigenantes, como el etanol o el metanol, aunque en un sentido estricto también ocasionarían daños a la salud, los cuales ya se tienen identificados. La ingestión continua de etanol puede causar alteraciones hepáticas y trastornos mentales, mientras que la exposición crónica a metanol por ingestión o inhalación causa alteraciones hepáticas y al cerebro, así como lesiones visuales y al sistema nervioso central que son irreversibles.

El enfoque de protección ambiental que debe darse respecto al uso de cualquier compuesto, es hacia una estricta obediencia en el manejo de las gasolinas y su vigilancia, básicamente en el mantenimiento de la infraestructura de transporte y en la construcción de fosas verdaderamente impermeables para alejar tanques de almacenamiento en estaciones de servicio.

En México, recientemente se ha reconocido al MTBE como un contaminante en el subsuelo, varios estudios de caracterización de sitios contaminados han arrojado resultados que identifican su presencia en acuitardos y acuíferos. Aún no se ha establecido la política a seguir, y muchos laboratorios ambientales aún no están preparados para dar el servicio analítico. Las autoridades correspondientes han empezado a tomar acciones caso por caso, por lo que se vislumbra que en un futuro muy cercano se iniciará una importante actividad en este sentido.

CONCLUSIONES

A pesar de que el MTBE fue introducido al mercado hace más de 20 años, como un aditivo revolucionario de las gasolinas, que ayudó a mejorar de manera importante la calidad del aire, actualmente se tiende a eliminar su uso en los Estados Unidos debido a los problemas de contaminación de acuíferos que se han detectado. La alta solubilidad del MTBE en agua y otras características físicoquímicas hacen que se incorpore rápidamente a los acuíferos y que migre prácticamente a la misma velocidad que el agua subterránea. Aunque la gravedad de los daños que el MTBE ocasiona a la salud aún no ha sido precisada, la tendencia ha sido considerarlo como un probable cancerígeno a humanos. Sin embargo, el hecho de que el MTBE le pueda impartir al agua un olor y sabor desagradables, lo hacen fácilmente detectable, y con ello es rechazada por el consumidor, situación que disminuye notablemente el riesgo por ingestión.

La remediación de suelo y agua subterránea por MTBE, es más compleja que la eliminación de los hidrocarburos, especialmente BTEX. De las técnicas de remediación que hasta ahora han sido probadas, las que han dado mejores resultados son las barreras permeables de tratamiento pasivo y la adsorción en productos desarrollados específicamente para este objetivo. La biorremediación aún requiere más investigación para llevarla a escala de campo.

La experiencia de los Estados Unidos y la posición de su gobierno enfocada a la prohibición del uso del MTBE como aditivo de las gasolinas a partir del 2001, es un elemento que seguramente en México marcará el camino a seguir los próximos años, dado que varios estudios ambientales han hecho evidente su presencia en el subsuelo.

Literatura consultada

American Chemical Society, 2000. MTBE to What Extent Will Past Releases Contaminate Community Water Supply Wells?. Environmental Science and Tech/News, May 1, 2000.

American Petroleum Institute, 1998. Ten Frequently Asked Questions About MTBE in Water. Technical Bulletin No. 3. Version 1.1.

Cunningham, J. A., H. Rahme, G. D. Hopkins, C. Lebron and M. Reinhard, 2001. Enhanced In Situ Bioremediation of BTEX-Contaminated Groundwater by Combined Injection of Nitrate and Sulfate. Vol. 35, No. 8, 2001/ Environmental Science and Technology.

Jacobs J., Guertin J., and Herron C., 2001. MTBE: Effects on Soil and Groundwater Resource. Lewis Publishers, Boca Raton.

Nichols E.M., Einarson M.D., and Beadle S.C., 2000. Strategies for Characterizing Subsurface Releases of Gasoline Containing MTBE. API Publication 4699. Technical Bulletin No. 11.

Squillace, P. J., J. F. Pankow, N. E. Korte and J. S. Zogorski, 19--. Environmental Behavior and Fate of Methyl ter-Butyl Ether (MTBE) . NAWQA-USGS.

Stout S.A., Davidson J.M., McCarthy K.J., and Uhler A.D., 1999. Gasoline additives – usage of lead and MTBE. Soil & Groundwater Cleanup. Feb/March: 36-37.

The College of Engineering University of Wisconsin-Madison, 1999. Underground Tank Technology Update. Special issue on MTBE. Vol. 13, No. 4 July/August 1999

Western States Water, 2000. The Weekly Newsletter of the Western States Water Council. Issue No. 1358. 26 mayo 2000.

Páginas de internet que fueron consultadas

www.acwanet.com

www.api.gov

www.eohha.ca.gov

www.epa.gov

www.sd.cr.usgs.gov

www.ngwa

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del MTBE, benceno y tolueno

PROPIEDAD	MTBE	BENCENO	TOLUENO
Peso molecular	88.15	78.11	92.13
Temperatura de ebullición (°C)	55.2	80.1	110.6
Densidad (g/cm ³)	0.743	0.879	0.866
Coefficiente de distribución octanol/agua (log K _{ow})	1.08	1.77	2.13
Solubilidad en agua a 20-25°C (mg/l)	48,000 - 51,000	1,750	515
Constante de la Ley de Henry (K _{aw}) adim	0.0238	0.2290	0.2600
Prestión de vapor a 20-25°C (mm Hg)	249.0	95.2	30.0
Afinidad por carbono orgánico (log K _{oc} ; kg ⁻¹)	1.0 - 1.1	1.5 - 2.2	1.6 - 2.3
Factor de retardo (condiciones: 20-25°C, f _{oc} =0.4, porosidad 0.25, densidad real 1.75 kg/l)	1.38	3.38	3.99
Coefficiente de difusión en aire (cm ² /s)	0.079	0.088	0.085
Coefficiente de difusión en agua (cm ² /s)	0.0000940	0.0000098	0.0000094
Límite de inflamabilidad o explosividad (%)	1.6 - 8.4	1.3 - 7.8	1.1 - 7.1

Tabla 2. LÍMITES DE CONCENTRACIÓN DE MTBE EN AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS ESTADOS UNIDOS

LUGAR	CONCENTRACIÓN mg/l
Arizona	0.035
California	0.013
Connecticut	0.100
Delaware	0.180
Florida	0.050
Hawaii	0.020
Kansas	0.020
Louisiana	0.018
Maine	0.035
Minnesota	0.040
Mississippi	0.055
Missouri	0.040 - 0.400*
Montana	0.030
Nevada	0.020 - 0.200*
New Hampshire	0.070
New Jersey	0.070
New Mexico	0.100
New York	0.010
North Carolina	0.200
Ohio	0.040
Oklahoma	0.020
Oregon	0.020 - 0.040*
Pennsylvania	0.020
Rhode Island	0.020 - 0.040*
South Carolina	0.040
Utah	0.200
Vermont	0.040
Washington	0.020
Wisconsin	0.060
Wyoming	0.200

Modificado de: Jacobs J., Guertin J., and Herron C., 2001

* el límite se aplica en función del uso que se vaya a dar al agua

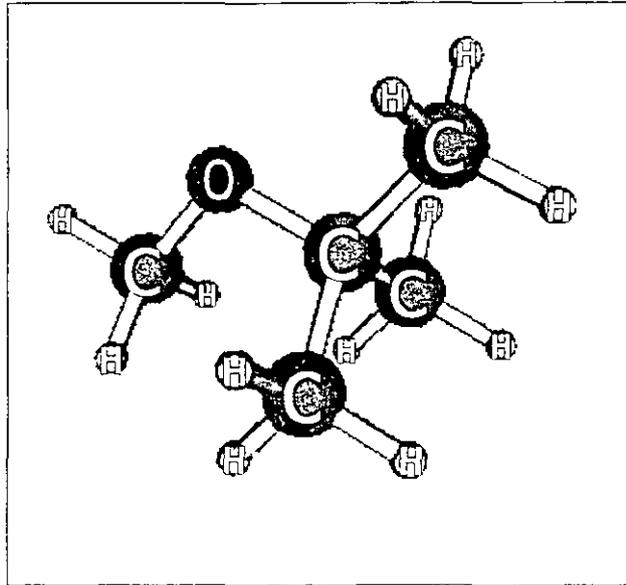


FIGURA 1.-ESTRUCTURA QUIMICA DEL MTBE

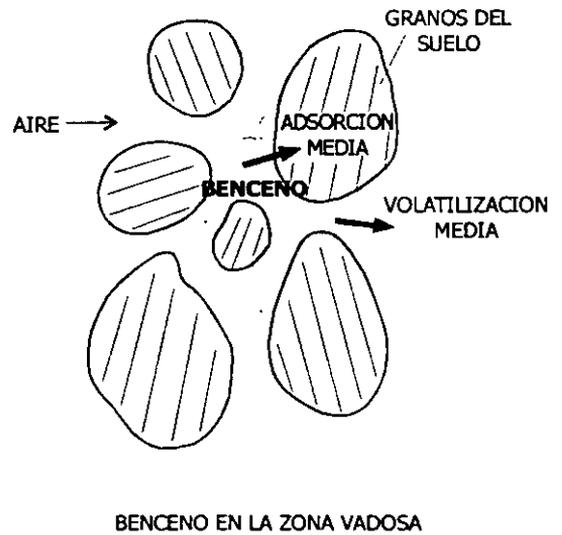
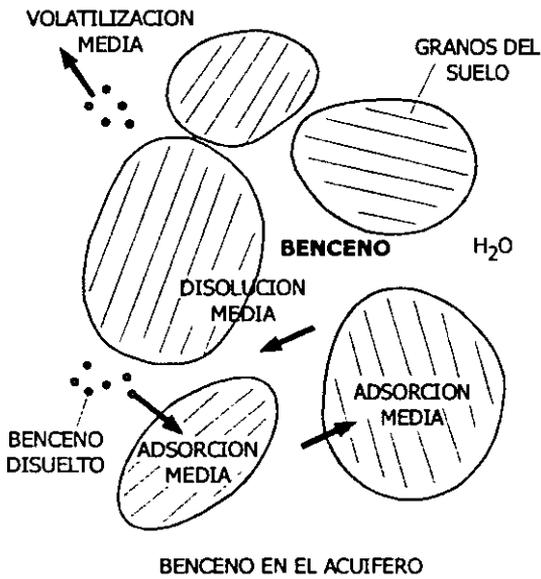
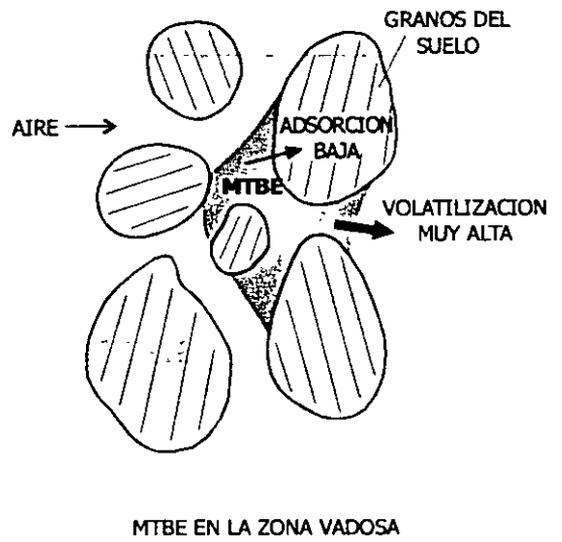
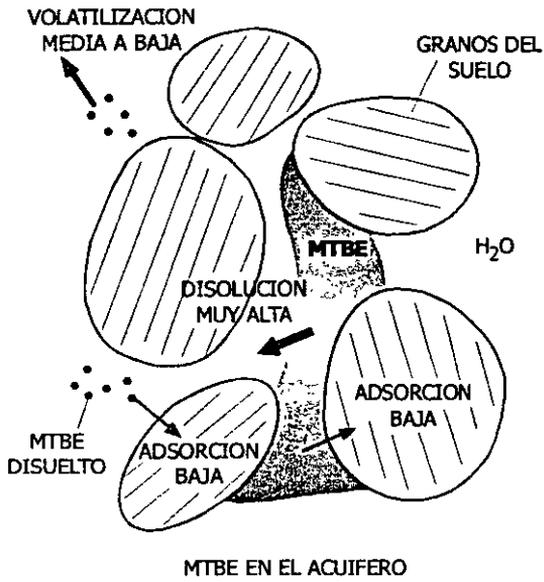


FIGURA 2.-ADSORCION, VOLATILIZACION Y DISOLUCION DEL MTBE Y DEL BENCENO EN EL ACUIFERO (IZQUIERDA) Y EN LA ZONA VADOSA (DERECHA).

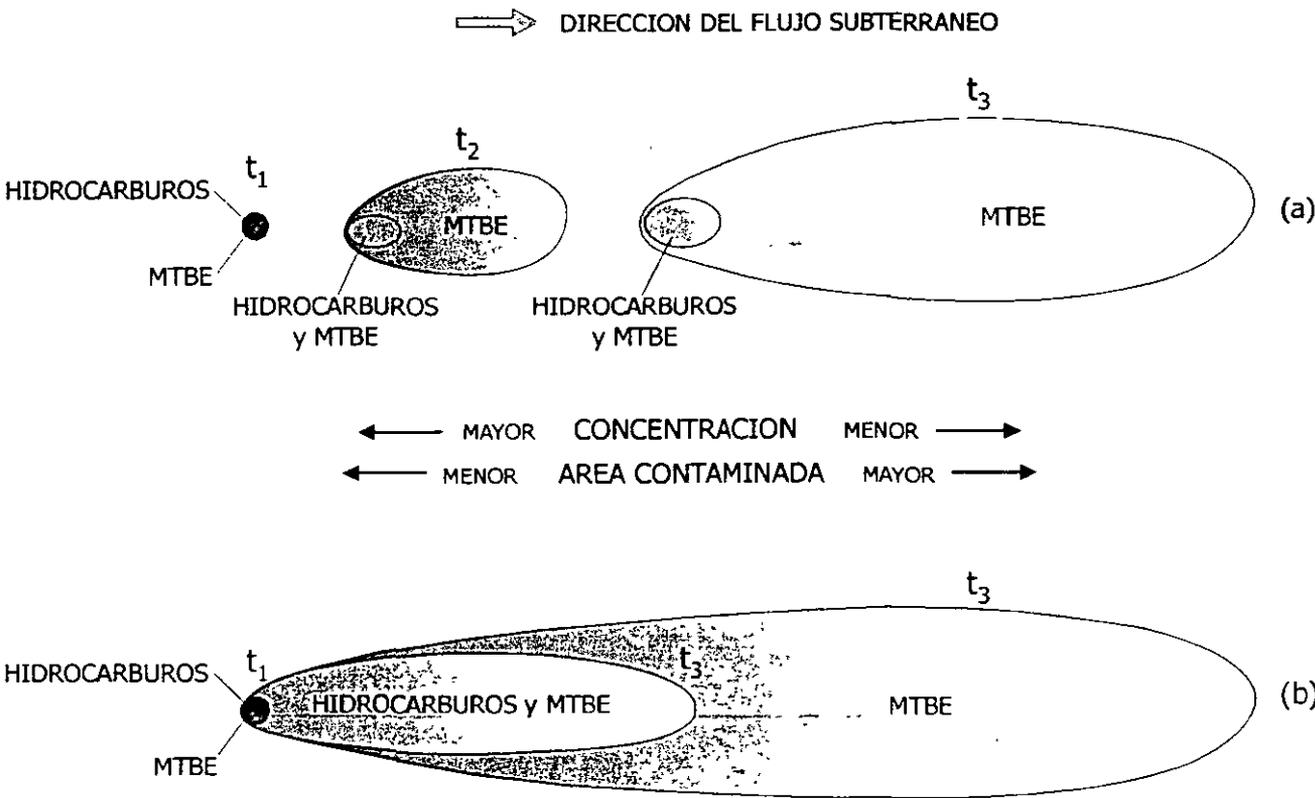


FIGURA 3.-MOVIMIENTO EN EL ACUIFERO DE LOS CONSTITUYENTES DE UNA GASOLINA.
 (a) EN UNA FUENTE DE CONTAMINACIÓN PUNTUAL,
 (b) EN UNA FUENTE DE CONTAMINACION CONTINUA

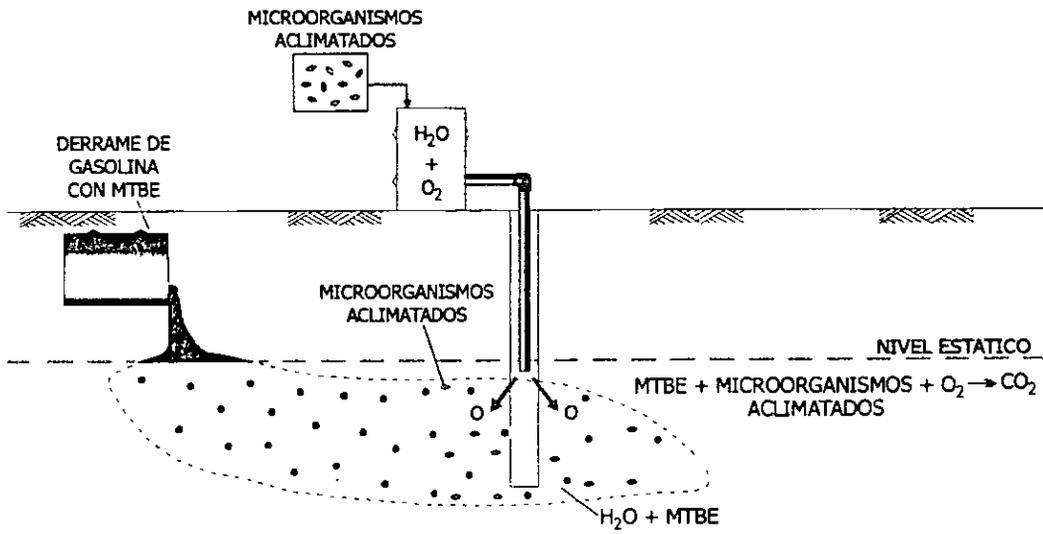


FIGURA 4.-BIOAUMENTACION CON MICROORGANISMOS ACLIMATADOS

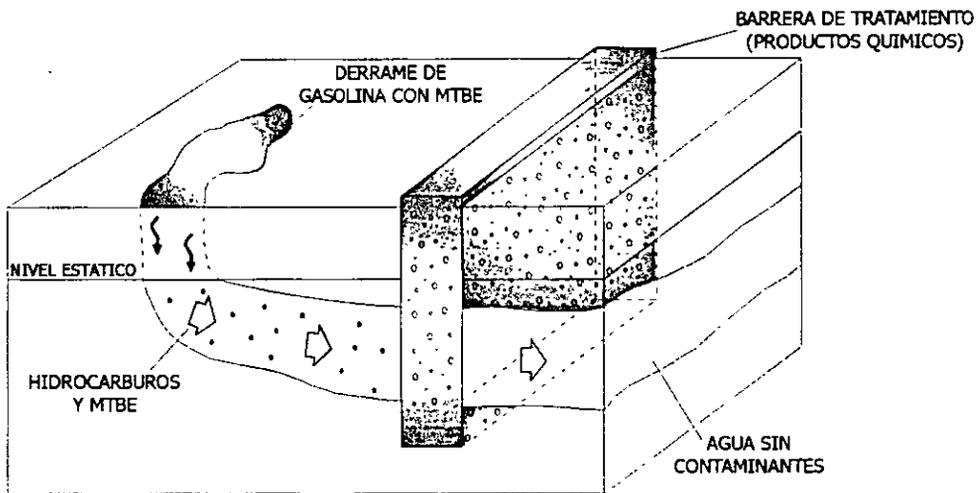


FIGURA 5.-REMIEDIACION UTILIZANDO BARRERA PERMEABLE ACTIVA

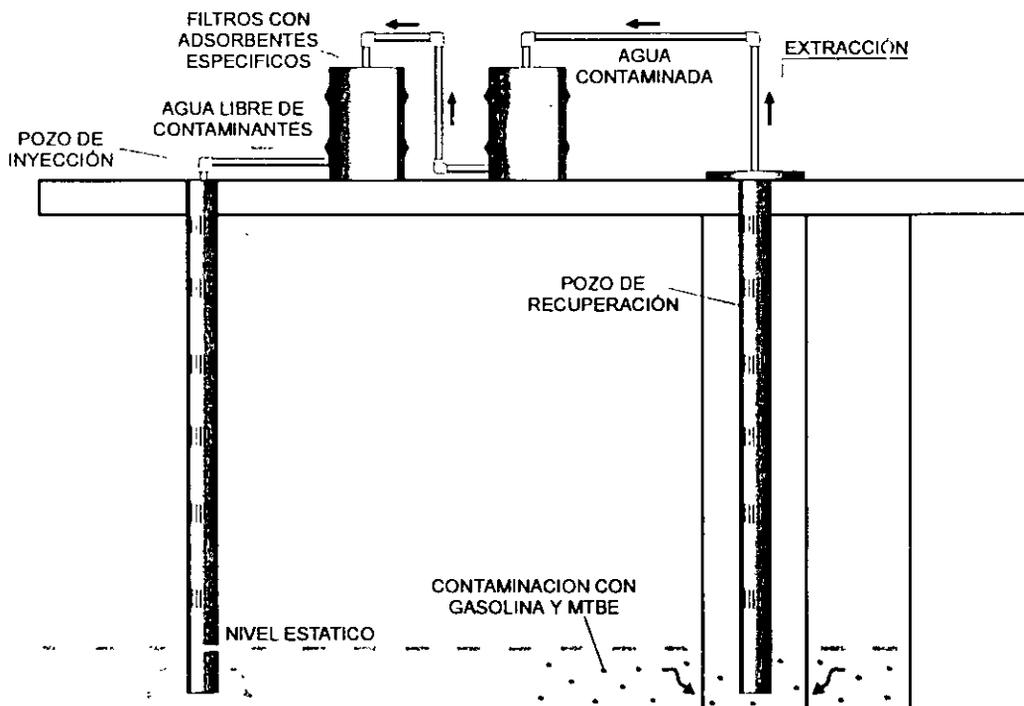


FIGURA 6.-FILTRACION A TRAVES DE ADSORBENTES ESPECIFICOS

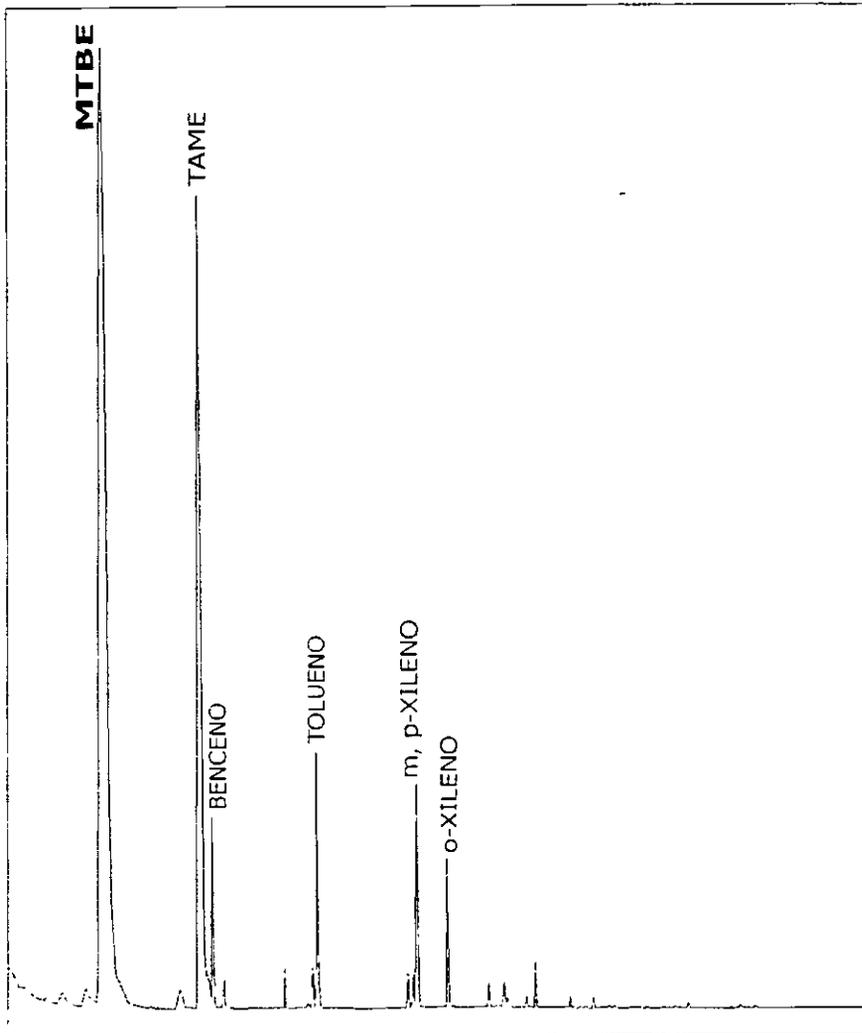
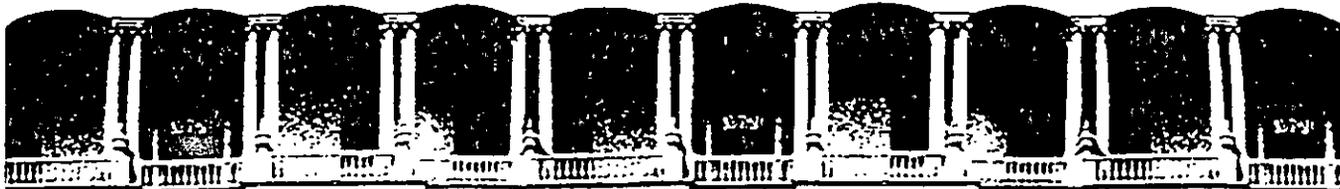


FIGURA 7.-ANALISIS CROMATOGRAFICO DE AGUA CONTAMINADA CON GASOLINA MAGNA



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR PLAGUICIDAS

**EXPOSITOR: M. C. ROCIO ALATORRE
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

Contaminación del agua por plaguicidas

12 de septiembre de 2001

M. EN C. ROCIO ALATORRE.

¿Qué son los plaguicidas?

- Sustancias o mezclas de sustancias que se destinan a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten enfermedades humanas y de animales



¿Por que pueden contaminar el medio ambiente ?

- Persistencia
- Movilidad
- Degradación
- Disipación

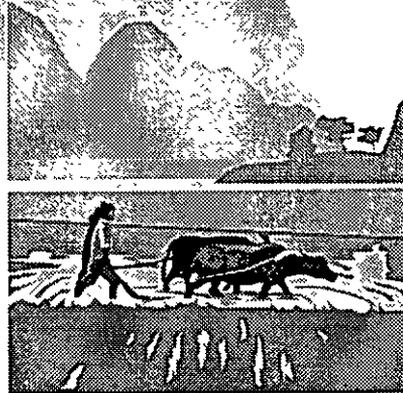
Persistencia

- Capacidad de cualquier plaguicida para conservar sus características químicas en el medio en el cual es transportado o distribuido, durante un periodo de tiempo despues de su emisión



Movilidad

- La movilidad de un plaguicida está dada por sus propiedades fisicoquímicas de absorción o desorción a las moléculas del suelo, y por ende a quedar atrapado o libre para que por escorrentía se filtre a cuerpos de agua y ocurrir contaminación



Degradación

- Es la propiedad que tienen los plaguicidas de descomponerse, a una determinada velocidad, en compuestos más simples



Disipación

- La disipación se refiere a los peligros ambientales potenciales para que los plaguicidas se movilicen hacia los recursos de agua superficial o subterránea



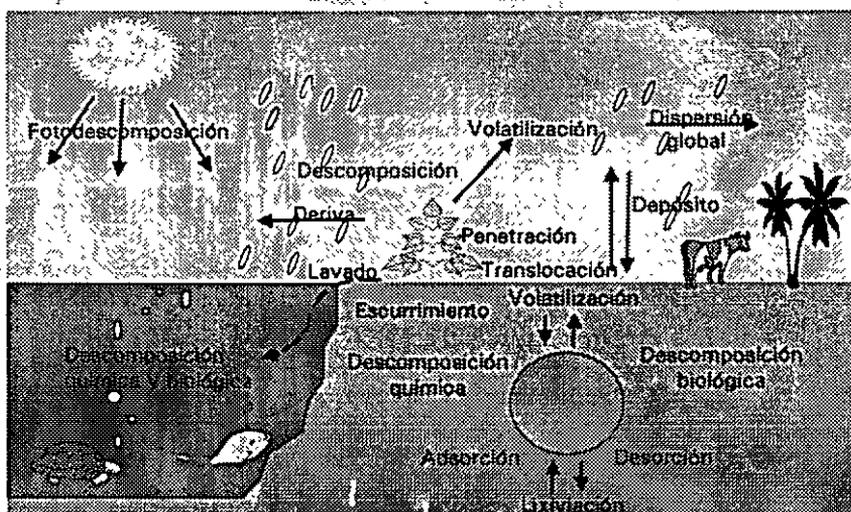
Contaminación en Agua

- El uso irracional de plaguicidas puede provocar contaminación directa en el agua, a través de la escorrentía ocasionada por lluvia, o de la propia infiltración de estas sustancias en los canales de riego

La contaminación del agua depende, entre otros factores, de:

- Tipo de plaguicida
- Consumo
- Topografía
- Características del suelo
- Tipo de cultivo
- Manejo de envases y residuos

Destino y transporte de las sustancias en el ambiente



Propiedades que hacen riesgosos a los plaguicidas

- Solubilidad en agua
- Presión de vapor
- Constante de la Ley de Henry
- Coeficiente de Partición carbono orgánico (Koc)
- Coeficiente de partición octanol/agua (Kow)
- Persistencia

Solubilidad de plaguicidas en agua

- Se refiere a la máxima concentración de plaguicida que se disuelve en una cantidad definida de agua pura y por lo general tiene un rango de 1 a 100,000 mg /L

Propiedades de los plaguicidas

Solubilidad:

- Se refiere a la máxima concentración de una sustancia química que se disuelve en una cantidad definida de agua pura, las condiciones ambientales pueden influir en la solubilidad
- Los plaguicidas muy solubles son menos volátiles, es más fácil su degradación, pero son fácilmente transportados por el riego o lluvia y pueden contaminar agua subterránea

Propiedades de los plaguicidas

- Presión de vapor: Es la velocidad con que se evapora un plaguicida desde el suelo o un cuerpo de agua
- Coeficiente de partición Carbono orgánico (Koc): Es una medida para conocer que tan fuertemente se retiene un plaguicida al suelo y puede contaminarlo
- Coeficiente de partición octanol/agua (Kow): Predice la capacidad que tiene un plaguicida de acumularse en grasa animal.

Solubilidad de plaguicidas en agua

- Los plaguicidas muy solubles en agua se adsorben poco a las partículas del suelo y por lo tanto son rápidamente transportados desde el suelo contaminado hasta los cuerpos de agua superficial y subterránea

PLAGUICIDAS	SUELO
Baja solubilidad	Alta afinidad (se acumula en suelo)
Alta Solubilidad	Baja afinidad (no se acumula en suelo)

Coeficiente de partición de Carbono orgánico (Koc)

Koc	Plaguicida
Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Se fija con firmeza a materia orgánica • Se mueve poco en aguas superficiales
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> • No se fija en materia orgánica • Se mueve en cuerpos de agua

Factores químicos-específicos que afectan los mecanismos de transporte de los plaguicidas

MEDIO	MECANISMO DE TRANSPORTE	FACTORES QUE AFECTAN EL TRANSPORTE
Agua subterránea	Movimiento del agua subterránea (vía conexión hidrolítica entre acuíferos o con agua superficial y materiales hechos por el hombre)	<input type="checkbox"/> Densidad <input type="checkbox"/> Solubilidad en agua <input type="checkbox"/> Koc
	Volatilidad	<input type="checkbox"/> Solubilidad en agua <input type="checkbox"/> Presión de vapor <input type="checkbox"/> Constante de la Ley de Henry
	Adsorción a partículas de suelo o precipitación por salirse de solución	<input type="checkbox"/> Solubilidad en agua <input type="checkbox"/> Kow <input type="checkbox"/> Koc
	Captación Biológica	<input type="checkbox"/> Kow

Factores químicos-específicos que afectan los mecanismos de transporte de los plaguicidas

MEDIO	MECANISMO DE TRANSPORTE	FACTORES QUE AFECTAN EL TRANSPORTE
Suelo (superficial y subsuelo) Sedimento, Lodos	Escurrimiento (erosión de suelos)	<input type="checkbox"/> Solubilidad en agua <input type="checkbox"/> Koc
	Filtración (lixiviación)	<input type="checkbox"/> Solubilidad en agua <input type="checkbox"/> Koc
	Volatilidad	<input type="checkbox"/> Presión de vapor <input type="checkbox"/> Constante de la Ley de Henry
	Captación Biológica	<input type="checkbox"/> Factor de bioconcentración

Factores químicos-específicos que afectan los mecanismos de transporte de los plaguicidas

MEDIO	MECANISMO DE TRANSPORTE	FACTORES QUE AFECTAN EL TRANSPORTE
Agua superficial	Flujo por vía terrestre (vía desague natural o canales hechos por el hombre)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Solubilidad en agua ○ K_{oc}
	Volatilidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Solubilidad en agua ○ Presión de vapor ○ Constante de la Ley de Henry
	Conexión hidrológica entre agua superficial y agua subterránea	<ul style="list-style-type: none"> ○ Densidad
	Adsorción a partículas en suelo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Solubilidad en agua ○ K_{ow}, K_{oc}
	Sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Densidad ○ Solubilidad en agua
	Captación biológica	<ul style="list-style-type: none"> ○ K_{ow} ○ Factor de bioconcentración

Factores químicos-específicos que afectan los mecanismos de transporte de los plaguicidas

MEDIO	MECANISMO DE TRANSPORTE	FACTORES QUE AFECTAN EL TRANSPORTE
Aire	Aerolización	<ul style="list-style-type: none"> ○ Solubilidad en agua
	Deposición atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamaño de partícula
	Volatilidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Constante de la Ley de Henry
Biota	Bioacumulación	<ul style="list-style-type: none"> ○ K_{ow}

Implicaciones de las propiedades físico-químicas de los plaguicidas

Propiedades	Ejemplos de Implicaciones
Solubilidad en agua > 500 mg/l	Peligro de movilización en suelos, contaminación de acuíferos y acumulación en ecosistemas acuáticos.
Presión de vapor > 10 ⁻³ mm de mercurio	Peligro de volatilización y difusión atmosférica.
Persistencia mayor a seis meses reteniendo sus características físicas, químicas y toxicológicas	Peligro de acumulación en los diferentes medios ambientales y de bioacumulación.
Coefficiente de reparto octanol/agua (Log K _{ow}) > 1	Peligro de absorción a través de membranas celulares y acumulación en tejido adiposo.

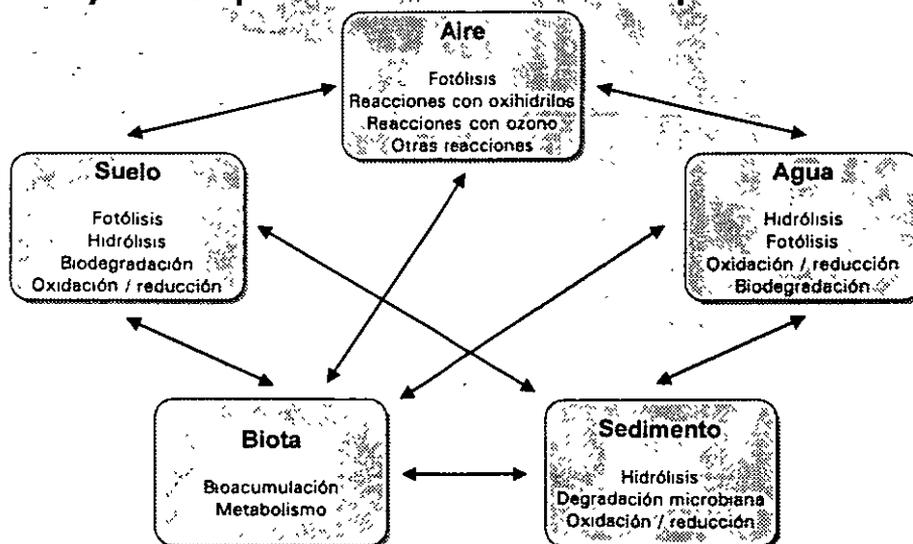
Persistencia

Característica	Tiempo
Ligeramente persistentes	Menos de cuatro semanas
Poco persistentes	De cuatro a veintiséis semanas
Moderadamente persistentes	De veintiséis a cincuenta y dos semanas
Altamente persistentes	Más de un año y menos de veinte
Permanentes	Más de veinte años

Ejemplos de la persistencia y bioacumulación de plaguicidas

Plaguicidas	Persistencia suelos [semanas]	Factor de bioconcentración
Organoclorados		
DDT	546	70 000 (ostra)
Hexaclorobenceno (HCB)	208	60 (ostra)
γ -Hexaciclohexano (γ -HCH)	728	60 (ostra)
Organofosforados		
Malatión	2	0 (camarón)
Paratión	8	9 (n.e.)
Carbamatos		
Carbaryl	2	0 (ostra)
Carbofuran	8-16	0
Varios		
Diclorvos	8	0 (ostras)
Captan	1-12	0
Cloruro de etilmercurio	permanente	3 000 (pez)

Mecanismos que influyen en el destino y transporte de sustancias químicas

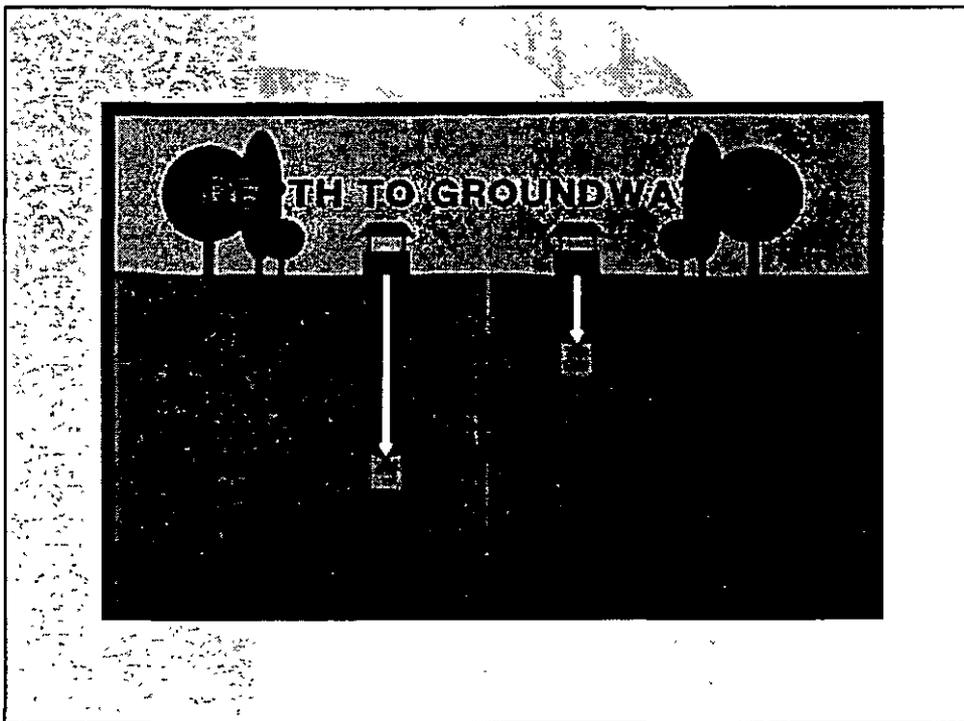


Contaminación del agua

- El uso excesivo de los plaguicidas puede provocar contaminación directa en el agua, a través de las precipitaciones o riego después de una aplicación de producto, ya que este es lavado.
- Debe considerarse otras variables como topografía, características del suelo, naturaleza química del producto, tipo de cultivo, clima, manejo de envases y residuos que pueden facilitar la contaminación del agua.

Destino y transporte de los plaguicidas





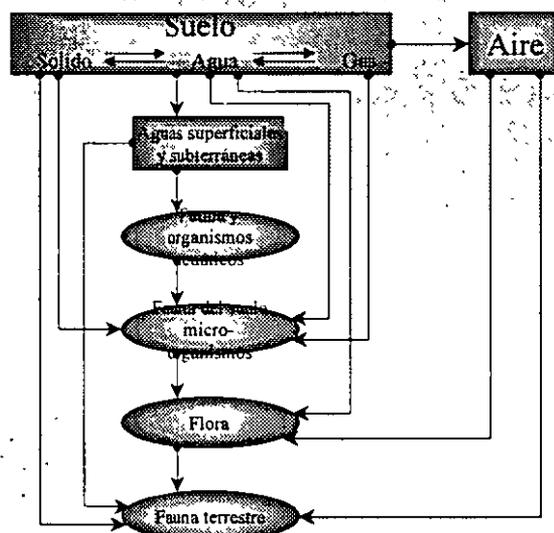
Contaminación del suelo por plaguicida

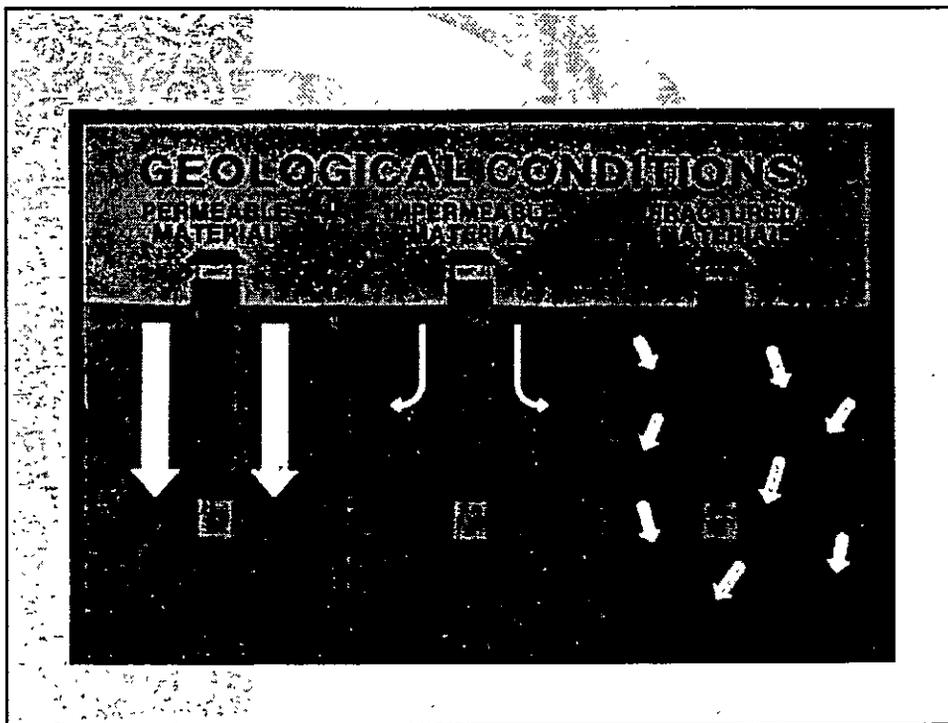
- Los plaguicidas en suelo pueden persistir durante muchos años, dependiendo de su naturaleza química. El uso indiscriminado genera desequilibrios, desaparece fauna benéfica y facilita la aparición de especies que dañan los cultivos a demás de hacerlas mas resistentes a los productos empleados.

Movimiento del plaguicida en suelo

- El plaguicida puede transportarse en el suelo por disolución o arrastre mecánico, que se produce bajo la influencia del agua.
- El grado de lixiviación está influenciado por las características físico químicas del suelo, solubilidad del producto, frecuencia e intensidad de la lluvia.

Rutas de exposición de la flora y la fauna a los contaminantes del suelo





Contaminación del aire por plaguicida

- Una aplicación inadecuada de plaguicida vía aérea contamina la atmósfera y estudios realizados muestran que sólo el 35% del total de producto aplicado se deposita en el área blanco y el resto se deposita en suelo, agua y zonas urbanas colindantes o en organismos no blanco, mientras que el resto puede llegar a ecosistemas distantes.

Fuente: Rodríguez G. Impacto ambiental del Uso de pesticidas

Recomendaciones para prevenir la contaminación por plaguicida

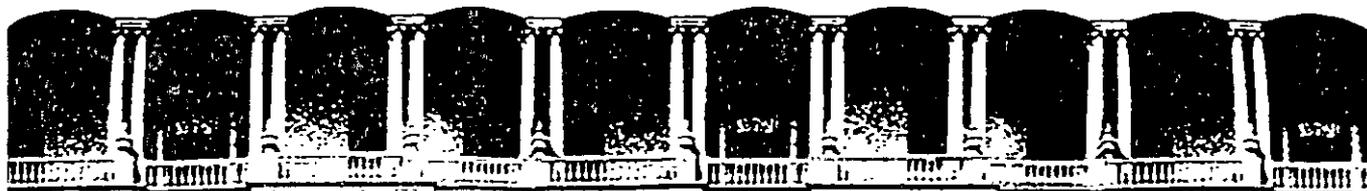
- Comprar solo plaguicida autorizado por la CICOPAFEST para su uso en México.
- No comprar plaguicida a granel, caduco o sin etiqueta.
- Atender las indicaciones técnicas de calibración de equipo, mezclas autorizadas de plaguicida y cantidad aplicada por hectárea.
- Fomentar el control biológico de plagas.

Recomendaciones para prevenir la contaminación por plaguicida

- Practicar el triple lavado de envases vacíos de plaguicidas.
- No quemar a cielo abierto y arrojar a cuerpos de agua los envases vacíos.
- Usar el equipo de protección al aplicar producto.
- No aplicar plaguicida cerca de cuerpos de agua y zonas urbanas.

Importante

- Todas las sustancias químicas entre ellas los plaguicidas son peligrosas si se manejan inadecuadamente.
- Es importante mencionar que los plaguicidas cuentan con propiedades físico-químicas que los hacen riesgosos.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

CONTAMINANTES ORGÁNICOS

**EXPOSITOR: DRA. BLANCA E. JIMÉNEZ CISNEROS
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS

Módulo: Orgánicos

Dra. Blanca E. Jiménez Cisneros
GRUPO: TRATAMIENTO Y REUSO
Instituto de Ingeniería, UNAM

1. CONTAMINANTES ORGÁNICOS

Actualmente, existe una importante polémica sobre el agua generada en la década de los setenta cuando se descubrió en el agua potable la existencia de compuestos orgánicos subproductos de la cloración, denominados trihalometanos. Este suceso dio origen a una continua búsqueda de compuestos. Para 1980, eran setecientos compuestos los detectados, mismos que supuestamente no deberían de estar en el agua potable. De ellos sólo 458 fueron identificados. Un año después, el número detectado aumentó a 1,200 debido al desarrollo de una técnica de concentración basada en la ósmosis inversa que permitió mejorar la sensibilidad de los análisis (Rogers *et al.*, 1987). Más de 600 de éstos son sustancias orgánicas, muchas de ellas biológicamente activas, varias reconocidas como carcinogénicas o promotoras de sustancias carcinogénicas y algunas con propiedades mutagénicas. La Tabla 1 muestra algunas de ellas. Aunque algunas de estas sustancias carecen de efectos, para otras se desconoce si los tienen

Tabla 1 Compuestos orgánicos que se pueden encontrar en el agua potable

a) De la fuente de abastecimiento	<ul style="list-style-type: none">- Sustancias húmicas- Alcanos y alquenos clorados- Nitrosaminas- Hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP)- Ácido nitrotriacético- Fenoles- Detergentes sintéticos- Plaguicidas- Bifenilos policlorados- Esteres de ftalatos- Aceites de petróleo, incluida la gasolina- Clorobenceno- Fenoles clorados- Benceno y alquil aromático- Tetracloruro de carbono
b) Introducidos durante el tratamiento	<ul style="list-style-type: none">- Tetracloruro de carbono- Polielecrolitos (Ej acrilamida)- Trihalometanos- Monomero de cloruro de vinilo
c) Introducidos durante la distribución y transporte	<ul style="list-style-type: none">- Plaguicidas, herbicidas y acaricidas- Fertilizantes- Hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP)

Adaptado de OMS, 1985

Los contaminantes orgánicos se dividen en cuatro categorías:

- Compuestos naturales que producen olor y sabor

- Compuestos sintéticos de origen industrial que causan olor y sabor o son tóxicos
- Precursores naturales para la formación de subproductos durante la desinfección
- Subproductos generados por la desinfección

Los compuestos orgánicos presentes en el agua comúnmente son los ácidos húmicos que existen tanto en forma natural como por la creciente descarga de compuestos orgánicos sintéticos que actúan como precursores, como son los compuestos para la limpieza de textiles y de componentes electrónicos (solventes). Los ácidos húmicos se dividen en dos grandes grupos: fúlvico y húmico. Las fracciones que componen estos grupos son químicamente similares y su clasificación se basa en la diferencia de peso molecular. Los fúlvicos tienen un peso molecular más bajo (200 a 1,000 g/mol) mientras que el de los húmicos es superior (200,000 g/mol). La separación en ambos grupos es arbitraria y no siempre consistente por lo que es común denominarlas en forma global.

Entre los compuestos orgánicos problemáticos se encuentran los trihalometanos y los halógenos orgánicos que se forman mediante reacciones de oxidación y sustitución entre el cloro y los ácidos húmicos. El ozono también produce compuestos secundarios como son los aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y ftalatos. Durante la desinfección con dióxido de cloro existe el riesgo de formar compuestos orgánicos clorados. Entre los compuestos orgánicos de origen sintético que se encuentran en el agua están los herbicidas, plaguicidas, el queroseno y los derivados del benceno.

A continuación se describen algunas características de los grupos de compuestos orgánicos que han sido encontrados en agua con mayor frecuencia.

1.1. Ácidos fúlvicos y húmicos

La materia orgánica que proviene de los organismos vivientes realizan una contribución importante a la calidad natural de las aguas superficiales. La composición de este tipo de materia es muy diverso y los compuestos naturales no son usualmente tóxicos, pero ejercen un mayor control sobre los procesos hidroquímicos y bioquímicos del agua. Algunos compuestos naturales afectan en forma significativa la calidad para ciertos usos, especialmente aquellos que dependen de las propiedades organolépticas (sabor y olor). Durante la cloración del agua de bebida, los ácidos fúlvicos y húmicos actúan como precursores de trihalometanos (como el cloroformo). Además, ciertas sustancias del humus acuático determinan la especiación de ciertos metales pesados y otros contaminantes debido a su alta capacidad complejante.

1.2. Bifenilos policlorados, PCBs

Los bifenilos policlorados (PCBs) son arocloros que difieren entre sí por el contenido promedio de cloro y en los tipos de PCBs que componen la mezcla (la numeración que los acompaña se refiere a la proporción de cloro que contiene: 1016, 1221, 1232, 1242, 1248, 1254, y 1260). Por ser estables y termoplásticos, los PCBs líquidos se usan como dieléctricos en fluidos hidráulicos y como medio de transferencia de calor en turbinas y bombas de vacío. Los PCBs sólidos se usan para impregnar resistencias de carbono y como selladores en aparatos eléctricos.

La máxima producción de PCBs ocurrió en Estados Unidos en 1970 cuando se produjeron 64,000 toneladas. Antes de 1971, los PCBs eran utilizados como fluidos dieléctricos en transformadores y capacitores (75% del total). Su uso como fluido en equipo de transferencia de calor ascendió al 10% y el restante se ocupó en papel copiator sin carbón, plastificante,

compuestos epóxicos resinas sintéticas, aceites puros para máquinas de alto vacío, compresores, tintes para textiles, ceras y pesticidas. Posterior a esta fecha su uso en Estados Unidos se restringió a los fines eléctricos (aislantes, refrigerantes y dieléctricos) y en 1979 quedaron restringidos a un permiso especial. Cabe mencionar, que la exportación no fue prohibida y actualmente lo producen 115 compañías de un total de 1988 que lo empleaban.

En Canadá, nunca se produjo PCBs pero se importaban 40,000 toneladas de Askarel (que contienen entre 40 y 70% de PCBs) En 1991 aún se empleaban 13,000 ton en transformadores y capacitores.

Se estima que entre 70,000 y 200,000 ton de PCBs han sido desechadas y existe evidencia de la migración de estos compuestos a todo el medio ambiente. La concentración frecuente en la atmósfera es de 0.1 a 1.0 ng/m³ (*International Joint Commission*, 1993).

El grado de biodegradabilidad individual de los diversos PCBs varía ampliamente. En general, son de degradación muy lenta y tienden a acumularse en peces. Las especies mono, di, y tricloradas son significativamente biodegradables o biotransformadas, así como volatilizadas. En cambio, los bifenilos policlorados presentan una tendencia a adsorberse en materiales suspendidos y sedimentos, son bioacumulados, poco solubles y se fotodisocian.

Los PCBs se encuentran en fuentes de abastecimiento contaminadas con lubricantes de transformadores, en los cuales se emplea como intercambiador de calor.

1.3. Aceites minerales y productos del petróleo

Estos son los principales contaminantes responsables de los daños ecológicos, generalmente en cuerpos de agua superficiales. A la fecha, más de 800 compuestos han sido identificados como aceites minerales, entre ellos hay compuestos alifáticos de bajo y alto peso molecular, hidrocarburos aromáticos y nafténicos (o productos del petróleo), compuestos heterocíclicos no saturados de alto peso molecular (resinas y asfaltenos) y un numeroso grupo de compuestos del O, N y S. La distribución de los aceites en los cuerpos de agua es diversa, ya que pueden estar disueltos, como películas finas, emulsionados, entre otras. Las interacciones entre estas fracciones son complicadas y diversas, dependen de diversas características fisicoquímicas como la gravedad específica, la tensión superficial, la viscosidad, los puntos de ebullición, etc., además la transformación de los compuestos del petróleo por procesos bioquímicos, microbiológicos, químicos y fotoquímicos ocurre simultáneamente. Debido al alto riesgo ecológico asociado con las actividades de la explotación del petróleo, así como con su uso, se les considera como contaminantes prioritarios.

1.4. Hidrocarburos alifáticos halogenados

Se caracterizan por ser muy volátiles (el 90% se volatiliza en un tiempo de 60 a 110 minutos de agitación) y poco adsorbibles. Los principales son los trihalometanos como el cloroformo, bromo diclorometano, dibromo clorometano y tribromometano (bromoformo) que se asocian con la cloración de agua que contiene materia orgánica. Una lista más amplia se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2 Características de los compuestos alifáticos halogenados

COMPUESTO	USO	COMENTARIO
Diclorometano	Disolvente principalmente para descafeinar el café y decapar pinturas	Toxicidad aguda reducida, el valor guía proporcionado por la OMS es de 20 µg/L
1,2,2-tetracloroetano	Agente de lavado en seco. Componente de cementos y lacas. En la fabricación del tetracloroetileno	Uso como disolvente en disminución por su toxicidad
1,1,1-Tricloroetano (Metil cloroformo)	Sustituto del tetracloruro de carbono. Plaguicida, solvente de limpieza de instrumentos delicados, propulsor de aerosoles y desengrasante de metales	No tiene uso autorizado como plaguicida en México
1,1,2-Tricloroetano	En reacciones de síntesis. Solvente	
1,1-Dicloroetano	Solvente y agente desengrasante. Participa en las síntesis orgánicas. Aromatizante	
1,1-dicloroetileno	Intermediario en la producción del polivinilideno	
1,2-dicloropropano	Disolvente de grasas, aceites, ceras, gomas y resinas. Agente fumigante para nematodos	
1,3-Dicloropropileno	Como plaguicida junto con el dicloropropano	Uso restringido en México como plaguicida
1,2-trans-dicloroetileno	Solvente de materia orgánica, extractor de colorantes. Se emplea en perfumera, termoplastia, medicina y síntesis orgánica	
Bromoformo (tribromometano)	Intermediario en reacciones orgánicas. solvente de grasas, ceras y aceites	Es uno de los cuatro halometanos para el cual la EPA ha fijado como nivel máximo en agua potable 0.1 mg/L
Bromuro de metilo (Bromometano)	Fumigante de insectos en granos. Es agente metilante, refrigerante, herbicida, extinguidor de incendios, desengrasante y extractor de aceites esenciales naturales. Participa en la producción de muchos fármacos	
Cloro-dibromometano	Se usa en síntesis orgánica, como componente de aerosoles, en la fabricación de extinguidores, refrigerantes y plaguicidas	La EPA lo reglamenta como parte de los 4 organoclorados principales
Cloro etano (Cloruro de etilo)	Se usa como reactivo en la fabricación del tetraetil de plomo y como refrigerante y anestésico local	
Cloroformo (Triclorometano)	Fue uno de los primeros anestésicos abandonado debido a su toxicidad. Es ampliamente usado como disolvente principalmente en la industria del laqueado. Participa en la purificación y extracción de penicilina y otros fármacos y en la producción de seda artificial, plásticos y fluorocarbonos	
Cloruro de metileno	Se usa como eliminador de pintura, fumigante, desengrasante, disolvente para ésteres y éteres de celulosa. En la industria de la refrigeración, en la de síntesis química y como componente de aerosoles. Es anestésico	
Bromodichlorometano	En síntesis orgánica	Forma parte de los 4 organoclorados reglamentados en agua potable por la EPA
Hexacloro-1,1-butadieno (Hexaclorobutadieno)	Solvente de elastómeros. Líquido transmisor del calor y fluido hidráulico	
Hexacloro-ciclo-pentadieno	Intermediario en resinas no inflamables, colorantes, plaguicidas, fungicidas y productos farmacéuticos	No tiene uso autorizado en México como plaguicida
Hexacloroetano	Se usa en síntesis orgánica. Como agente retardante de la fermentación, sustituto del alcohol en la fabricación de nitrocelulosa y del caucho. En la protección, medicina	
Tetracloruro de etileno	Se usa ampliamente en el lavado en seco como agente desengrasante. Es intermediario químico y fumigante. Se usa en medicina como antelmíntico	
Tetracloruro de carbono (Tetraclorometano)	Se usa en refrigerantes y propulsores. Es desengrasante de metales, fumigante en agricultura y participa en la producción de semiconductores	No tiene uso autorizado en México como plaguicida. Amplia efectos toxicológicos, carcinógenos y daños al hígado y riñones, el valor guía de la OMS es de 2 µg/L
Tricloroetileno	Se usa como desengrasante de metales. Es solvente de grasas, aceites, ceras, colorantes. En la limpieza en seco. Es líquido, intercambiador de calor (refrigerante). Participa en la síntesis orgánica de fumigantes y medicamentos	No tiene uso autorizado en México como plaguicida

1.5. Hidrocarburos aromáticos monocíclicos

Se encuentran en concentraciones importantes tanto en agua superficial como subterránea debido a que no se evaporan. En acuíferos se han detectado estos compuestos hasta valores del orden de mg/L y en agua potable de 1 mg/L. La Tabla 3 resume sus principales características.

Tabla 3 Características de los hidrocarburos aromáticos monocíclicos

COMPUESTO	USO/FUENTE	COMENTARIO
Benceno	Componente de combustible para motores, solvente de grasas, tintas, aceites, pinturas, plásticos y caucho. Sirve en la extracción de aceites de semillas. Se usa como intermedio químico en la fabricación de estireno, fenoles, ciclohexano, anhídrido maleico, detergentes, explosivos y fármacos.	Contaminante del agua y del aire. En agua pasa por lavado de la atmósfera. Valor guía OMS de 10 µg/L.
Clorobenceno	Se usa en obtención de anilina, fenol, clorotolueno y muchos plaguicidas.	Toxicidad relativamente baja, afectando al hígado, los riñones y el sistema hematopoyético. El valor guía proporcionado por la OMS es de 300 µg/L.
1,2-Dicloro benceno	El principal uso es como solvente en la obtención de tolueno. Es intermedio en síntesis orgánica, herbicida y desengrasante de cuero y lana. Fumigante e insecticida.	No tiene uso autorizado en México como plaguicida. Es contaminante del aire, alimentos y agua. El valor guía OMS es de 1000 µg/L.
1,4-Dicloro benceno	Es insecticida (polilla) y germicida. Es desodorante. Interviene en la fabricación de colorantes y fármacos.	No tiene uso autorizado en México como plaguicida. El valor guía OMS es de 300 µg/L.
1,3-Dicloro benceno	Fumigante e insecticida.	No tiene uso autorizado en México como plaguicida.
Etilbenceno	Intermedio en la producción de estireno. Solvente. Presente en la industria del petróleo y sus derivados.	Se absorbe fácilmente por vía oral o cutánea y por inhalación. No hay datos sobre la toxicidad, teratogenicidad o carcinogenicidad a largo plazo. Valor guía OMS de 300 µg/L.
Tolueno	Se usa en la gasolina para aviación y mezclas de alto octanaje. Solvente de pinturas, grasas, resinas, aceites, caucho, lacas de nitrocelulosa, adhesivos plásticos, explosivos y detergentes.	El valor guía OMS es de 70 µg/L.
1,2,4-triclorobenceno	Se usa como medio de transferencia de calor, fluido eléctrico en transformadores y lubricante. Es agente desengrasante. Es un insecticida potencial contra termitas.	El valor guía OMS (en agua potable) es de 20 µg/L.
2,4-Dinitrotolueno	Se usan en la fabricación de explosivos (trinitrotolueno) y en síntesis orgánica.	
Nitrobenceno	El uso principal es la fabricación de anilina. Solvente de éteres de celulosa. Ingrediente de barnices de metales y crema para calzado. Materia prima en la fabricación de bendicida, quinoleína y azobenceno.	
Hexaclorobenceno	Se usa en síntesis orgánica. Es fungicida para el tratamiento de semillas.	No tiene uso autorizado en México como plaguicida.

1.6. Hidrocarburos aromáticos policíclicos, HAP

Se componen de dos o más anillos de benceno con anillos adyacentes que comparten dos átomos de carbono. Se encuentran con frecuencia en el medio ambiente y se ha detectado su presencia ocasional en agua potable. Entre estos compuestos se encuentran el fluoranteno, 3,4-benzofluoranteno, 1,1,2-benzofluoranteno, 3,4-benzopireno, que se sabe son carcinogénicos y potencialmente dañinos al hombre.

Los niveles "normales" de HAP en aguas subterráneas son de 10 a 50 µg/L y de 50 a 250 µg/L en aguas pluviales relativamente no contaminadas. Se estima que la exposición del hombre a los HAP es de

- 0.1 al 3 % por agua
- 0.9 % aire
- 99% alimentos

El comportamiento de estos compuestos depende en gran medida de su número de anillos y de hecho, se agrupan de acuerdo con este factor. Presentan una fuerte adsorción en materia orgánica y pueden ser biodegradados.

Se ha detectado en el medio ambiente un gran número de hidrocarburos aromáticos polinucleares resultantes de diversos procesos de combustión y pirólisis. El revestimiento de tubería con carbón y brea puede ocasionar aumento significativo de la concentración de éstos compuestos

Se dispone de escasa información sobre la toxicidad de los HAP por vía oral, especialmente después de una exposición prolongada. Se ha confirmado que algunos HAP, entre ellos el benzo[α]pireno, el indeno [1,2,3 Cd] pireno y el benzo [.] fluoranteno son carcinógenos en animales de laboratorio y pueden serlo en el hombre. Sólo se cuenta con datos suficientes para realizar una estimación cuantitativa de la carcinogenicidad de los HAP ingeridos en el caso del benzo[α]pireno que parece ser un carcinógeno local.

Ya que no se dispone de datos suficientes para calcular guías para los demás HAP, la OMS formuló las siguientes recomendaciones para agua potable.

- Debido a la estrecha asociación de los HAP con los sólidos en suspensión, se propone una turbiedad mínima para asegurar la reducción de los HAP.
- Evitar la contaminación con HAP dejando de usar materiales de alquitrán mineral y similares para el revestimiento de las tuberías y depósitos de almacenamiento.
- Cuando se haya producido la contaminación del agua corriente por HAP deberán identificarse los compuestos presentes y la fuente de la contaminación ya que el potencial carcinógeno de los HAP es variable.

Los HAP se eliminan en gran parte mediante los métodos convencionales de tratamiento de agua (p.ej. coagulación y filtración)

Para protección de la salud humana el criterio está establecido como hidrocarburos aromáticos policíclicos y es de 0.028 µg/L para un riesgo de 1 en 100,000. Otros compuestos de los HAP se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Características de los hidrocarburos aromáticos policíclicos

COMPUESTO	USO/FUENTE
1,2-difenilhidrazina	Es precursor en la obtención de bendidina y colorantes. Se usa en la síntesis de fenibutazona. Es un potente antiinflamatorio.
2-Cloronaftaleno	Se usa en la producción de condensadores eléctricos. Es un medio de transmisión de calor. Es plastificante, disolvente de caucho, colorantes (anilina), aceites minerales y vegetales, barnices, gomas, resinas y ceras. Es separador y ablandador de carbono.
3,3-diclorobencidina	El principal uso es la obtención de pigmentos para tintas de impresión. Participa en la fabricación de textiles, plásticos de uretano, crayones. No tiene sustituto en muchos de sus usos.
Acenafteno	Es intermediario en la elaboración de colorantes, productos farmacéuticos, insecticidas, fungicidas y plásticos.
Antraceno	Interviene en la fabricación de colorantes (alizarina, fenantreno, carbazol, y antraquinona). Se encuentra como componente de cortinas de humo, cristales para contadores de escintilación.

Tabla 4 Características de los hidrocarburos aromáticos policíclicos

COMPUESTO	USO/FUENTE
Bencidina	Se emplea en síntesis orgánica, fabricación de colorantes, especialmente el rojo congo y como reforzante del caucho
Criseno	Se emplea en síntesis orgánica.
Dibenzo(a,b)antraceno	Es un fotoconductor orgánico (en vez de selenio) en sistemas de copiado y reproducción.
Fluoranteno	Se produce en el proceso pirolítico de materia orgánica verde, hulla y petróleo a altas temperaturas
Fluoreno	Se produce en la biosíntesis de plantas Se emplea en productos resinosos, insecticidas y colorantes
Naftaleno	Se emplea para combatir la polilla Interviene en la preparación de fungicidas, explosivos, aceites colorantes, lubricantes, resinas sintéticas, taninos sintéticos, disolventes, rompedores de emulsiones, contadores de centelleo y textiles
Pireno	Se emplea en investigación bioquímica.

1.7. Plaguicidas

Es una sustancia o mezcla de ellas que se destina para controlar cualquier especie no deseada (incluidos los vectores de enfermedades humanas y de animales) que causen perjuicio o que interfieren con el mejor aprovechamiento de la producción agropecuaria y forestal que afecten bienes materiales durante el almacenamiento y transporte, así como las que interfieren con el bienestar del hombre y los animales (Diario Oficial, 14 de marzo de 1988). Muchos plaguicidas han ayudado a la humanidad en el control de plagas, pero también han causado un gran número de alteraciones como son cáncer, mutaciones, y abortos espontáneos. Los pesticidas y productos químicos agrícolas no son constituyentes comunes de las fuentes puntuales de contaminación, sino que suelen incorporarse como consecuencia de escurrimientos de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Las concentraciones de estos productos químicos pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado y el deterioro del suministro de agua

Los plaguicidas son productos muy diversos y la mayor parte de las veces, artificiales. Como ejemplo se tiene los organoclorados (DDT, HCH, lindano, clordano, heptacloro, aldrin y dieldrin), organofosforados (malatión y paratión), carbamatos y organometálicos que son muy difíciles de biodegradar

Los plaguicidas organoclorados son compuestos orgánicos de origen sintético que se caracterizan por poseer uno o varios átomos de cloro en su estructura química. Son compuestos muy poco solubles en agua y poco volátiles. Son muy persistentes, se les puede encontrar hasta 52 semanas después del momento de su aplicación, son de difícil descomposición y se integran fácilmente a las cadenas alimenticias. Se absorben por la piel, el tubo digestivo o el aparato respiratorio, y se acumulan en el tejido graso y se eliminan por el riñón. La intoxicación aguda se caracteriza por náuseas, vómito, dolor gástrico y manifestaciones neurológicas que incluyen dolor de cabeza, temblor y mareos

Los organofosforados incluyen principalmente a los fosfatos, fosfonatos y derivados azufrados. La intoxicación con estos compuestos provoca dolor de cabeza, visión borrosa, dificultad para respirar, dolor abdominal, calambres y parálisis.

- Reglamentación de plaguicidas en México

En México no existen normas para el control de los agroquímicos en las descargas por fuentes dispersas. La Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) se limita al control y normalización de la comercialización de estos productos con la finalidad de evitar que su aplicación indiscriminada ocasione daños al ambiente y a la salud del hombre.

En 1978, se publicó el primer *Catálogo Oficial de Plaguicidas*, el cual se actualiza anualmente. En el Catálogo de 1995 se establece la prohibición y el uso restringido bajo supervisión de personal autorizado y capacitado de los plaguicidas listados en la Tabla 5.

Tabla 5 Plaguicidas prohibidos y de uso restringido en México

PLAGUICIDAS PROHIBIDOS	PLAGUICIDAS RESTRINGIDOS
Acetato o propionato de fenil mercurio	1,3-Dicloropropeno
Ácido 2,4,5-T	Alaclor
Aldrin	Aldicarb
BHC ^a	Bromuro de metilo
Cianofos	Clordano
Cloranil	Cloropicrina
DBCP	Dicofol
Dialiafor	Forato
Dieldrin	Fosfuro de aluminio
Dinoseb	Isotiocianato de metilo
Endrin	Lindano
EPN ^a	Metam sodio
Erbon	Metoxicloro
Formotión	Mevinfos
Fluoracetato de sodio (1080)	Paraquat
Fumisel	Pentaclorofenol
Kepono/Clordecone	Quintozeno
Mirex	DDT por su alto riesgo para la salud del humana, su elevada persistencia y sus propiedades de bioacumulación este plaguicida sólo podrá ser utilizado en campañas fitosanitarias por las dependencias del Ejecutivo.
Monuron	
Nitrofen	
Paratión etílico ^a	
Schradan	
Sulfato de Talio ^a	
Toxafeno ^a	
Tiamifos	

^a Plaguicidas de los que sólo se prohíbe su comercialización y uso; del resto se prohíbe la importación, fabricación, formulación, comercialización y uso.

Se entiende por plaguicidas restringidos aquellos que sólo podrán ser adquiridos en las comercializadoras mediante la presentación de una recomendación escrita de un técnico oficial o privado que haya sido autorizado por el gobierno federal, por lo cual, su manejo y aplicación se efectuarán bajo responsabilidad del técnico autorizado que lo recomendó. Al comparar con la normatividad referente a plaguicidas en otros países, encontramos que en México están autorizados y se comercializa con 7 insecticidas/acaricidas, 4 herbicidas y 3 fungicidas prohibidos, retirados o de uso muy restringido en otros países y se clasifican como de uso restringido en México, 6 insecticidas/acaricidas, 1 herbicida y 2 fungicidas, como se muestra en la Tabla 6. Cabe señalar que el endosulfan, insecticida prohibido al menos en 10 países y que se había considerado en el Catálogo de 1991 como de uso restringido, a partir del Catálogo de 1994 fue autorizado.

Tabla 6 Plaguicidas autorizados o de uso restringido en México pero que han sido prohibidos, retirados o muy restringidos en otros países

NOMBRE	TIPO	PAÍSES EN LOS QUE SE ENCUENTRA PROHIBIDO, RETIRADO O MUY RESTRINGIDO
2,4-D	Herbicida	Guatemala, EUA
Aldicarb ^a	Insecticida o acaricida	Austria, Bélgica, Alemania, Israel, Noruega y Filipinas
Captófol	Fungicida	España
Carbanil	Insecticida o acaricida	Alemania
Clordano ^a	Insecticida o acaricida	España
Diclorvos	Insecticida o acaricida	Reino Unido
Dicofol ^a	Insecticida o acaricida	España
Dimetoato	Insecticida o acaricida	Chipre, EUA
Endosulfan	Insecticida o acaricida	Argentina, Dinamarca, Filipinas, Finlandia, Hungría, Noruega, Portugal, Reino Unido, Singapur, Yugoslavia
EPN ^a	Insecticida o acaricida	Alemania, India, Malasia, Nueva Zelanda, Filipinas
Fenitrotion	Insecticida o acaricida	Reino Unido
Folpet	Fungicida	Finlandia
Forato ^a	Insecticida o acaricida	Malasia
Lindano ^a	Insecticida o acaricida	Argentina, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Colombia, Chipre, Ecuador, Alemania, Filipinas, Hungría, Israel, Japón, Nueva Zelanda, Singapur, EUA, URSS, Yugoslavia
Malation	Insecticida o acaricida	Reino Unido
Maneb	Fungicida	URSS
Melomito	Insecticida o acaricida	Malasia
MSMA	Herbicida	Argentina
Paraquat ^a	Herbicida	Finlandia, Hungría, Israel, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, Suecia
Pentacloro-fenol ^a	Fungicida	Reino Unido
Quintozeno ^a	Fungicida	España
Simazina	Herbicida	Reino Unido
Trifluralina	Herbicida	Guatemala, EUA

^a Uso restringido en México

- Evaluación del problema de agroquímicos empleados en México

Los agroquímicos que se emplean en la República Mexicana (Figura 1), de acuerdo con CONADE, (1989) son clasificados en 3 grupos.

- Insecticidas y acaricidas
- Fungicidas
- Herbicidas

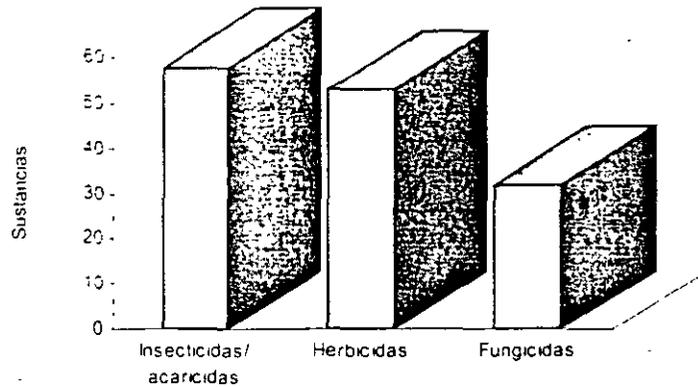


Figura 1 Plaguicidas empleados en México

En total se aplican 143 sustancias. De los productos prohibidos en forma total o parcial en México destacan el paratión etílico que se aplica en 15 estados (en casi 50% del territorio), el BHC en 13 seguidos del EPN en 6 y el Toxafeno en 2 (Figura 2). Entre los estados que se caracterizan por emplear con mayor frecuencia estos productos destacan Tamaulipas con 4, seguido de varios estados con 2 localizados principalmente en el Norte y Centro de la República (Figura 3).

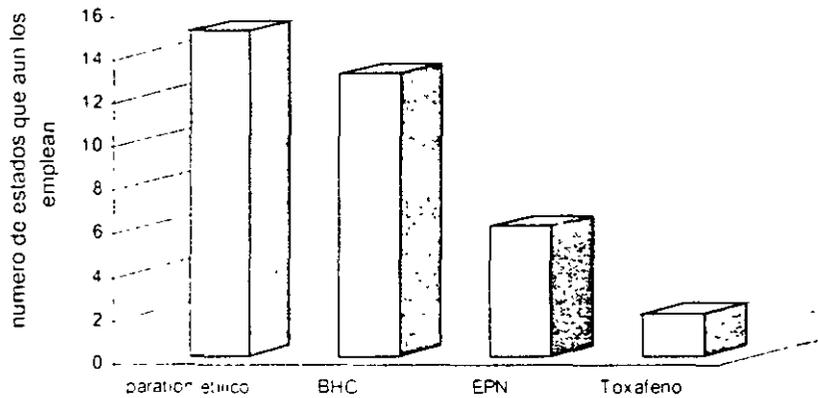


Figura 2 Plaguicidas prohibidos totalmente o sólo su comercialización en México

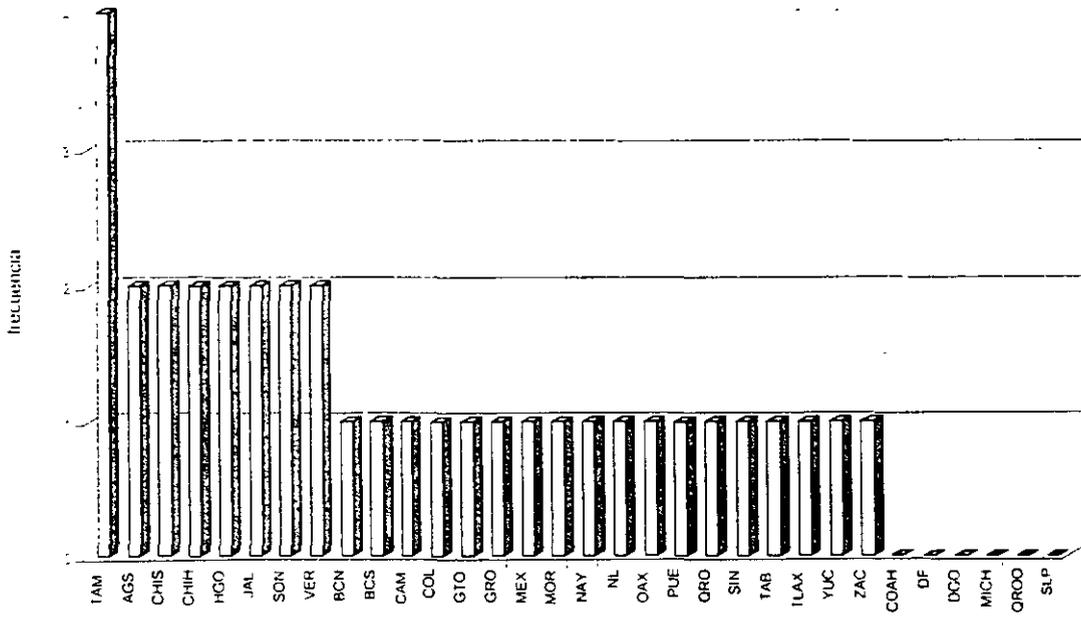


Figura 3 Estados que emplean el mayor número de productos prohibidos (comercialización y uso) en México

En cuanto a los productos catalogados como restringidos (Figura 4) en México sobresale el metoxicloro que se aplica en 22 estados (69% del territorio), el paratión etílico en 15, el aldicarb en 8, el clordano y el paraquat en 7, y por último el dicofol, quitoceno, lindano, mevinfos, aiacolor y forato, en menor frecuencia. Los estados que emplean el mayor número de productos restringidos en México son: Aguascalientes con 8, Baja California Norte con 6, e Hidalgo, Baja California Sur, Chihuahua, Colima y D.F. con 4.

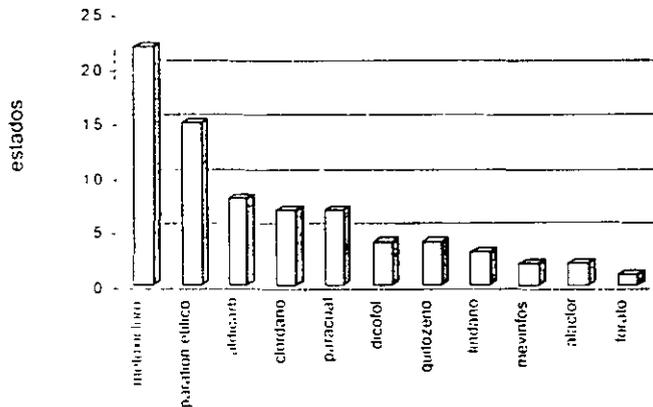


Figura 4 Número de estados de la República en los cuales se emplean plaguicidas restringidos

Ahora bien, si se consideran los agroquímicos que otras legislaciones han marcado como prohibidos ó estrictamente restringidos, resalta el empleo del paratión metílico en todo el territorio, la del carbarilo y el metomilo en el 81% del mismo, así como el dimetoato, maneb y 2,4-D en más del 50% del territorio. La frecuencia de estos productos se muestra en la Figura 5 se observa que en los

estados de Baja California Norte y Chiapas, se emplean hasta 10 de estos productos y 9 en Baja California Sur, Chihuahua, Jalisco y Nuevo León

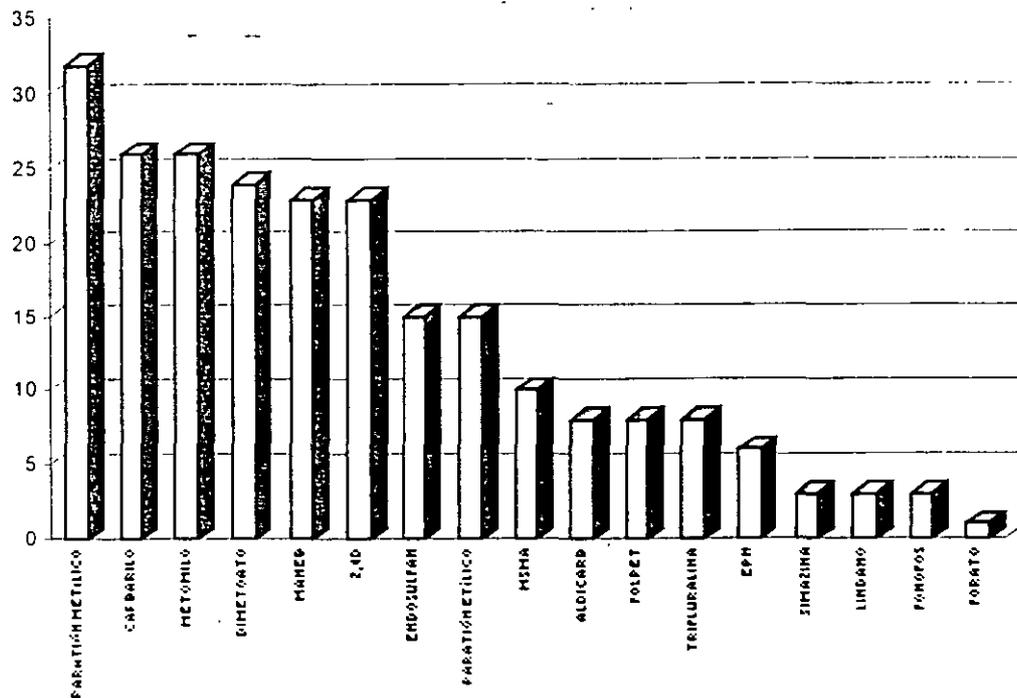


Figura 5 Número de estados de la República en los cuales se emplean plaguicidas prohibidos en otros países

La distribución geográfica de estos productos se muestra en las Tablas 7 y 8. Es aparente que este es un problema expandido a lo largo del país, pero cuya prioridad de atención debe ser diferente si se combina la distribución del problema con la información de los balances por región hidrológica en zonas de escasez, la protección del suministro de agua (principalmente acuíferos) es relevante. Esta información deberá ser afinada considerando las regiones donde el suministro de agua por acuíferos es importante.

Tabla 7 Comparación del número de plaguicidas de uso restringido en México o prohibidos otros países

PLAGUICIDAS	ESTADOS DE LA REPÚBLICA DONDE SE APLICAN
Restringidos en México y otros países	
1 a 3 plaguicidas	Aguascalientes, Baja California Sur, Baja California Norte, Campeche, Chihuahua, Chiapas, Coahuila, Colima, D.F., Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán, Zacatecas
4 a 7 plaguicidas De 8 en adelante	Tamaulipas
Prohibidos en México y en otros países	
1 a 3 plaguicidas	Colima, Quintana Roo, Yucatán
4 a 7 plaguicidas	Aguascalientes, Campeche, Coahuila, D.F., Durango, Hidalgo, Guanajuato, Guerrero, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas
De 8 en adelante	Baja California Sur, Baja California Norte, Chiapas, Chihuahua, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Sonora

ADAPTADO DE Jiménez y Ramos, 1995

Tabla 8 Estados de la República donde se localiza el mayor número de plaguicidas prohibidos nacional e internacionalmente

NÚMERO DE PLAGUCIDAS PROHIBIDOS	ESTADOS DE LA REPÚBLICA DONDE SE APLICAN
0	Durango y Guanajuato
1 a 3	Aguascalientes, Campeche, Coahuila, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Estado de México, Tamaulipas Tlaxcala, Veracruz, Yucatan
4 a 7	Baja California Sur, Baja California Norte, Colima, Chiapas, D.F., Chihuahua, Guanajuato , Hidalgo, Oaxaca,
De 8 en adelante	Zacatecas.

ADAPTADO DE: Jiménez y Ramos, 1995

A continuación se resumen las propiedades de los plaguicidas más utilizados en el control de plagas.

1.7.1. *Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)*

Se usa como herbicida para combatir hierbas latifoliadas de hoja ancha y como regulador en el desarrollo de plantas. Su presentación comercial es en forma de sales ó ésteres del ácido. El 2,4-D es químicamente estable pero sus ésteres liberan al ácido por hidrólisis. Su vida media es de unos días a 6 semanas en el suelo, mientras que en agua, oscila entre una y varias semanas.

El 2,4-D rara vez se encuentra en los alimentos y en escasas concentraciones en el agua. Existen indicios de que el 2,4-D puede ser carcinogénico y se ha reportado que provoca fatiga, dolores de cabeza y hepáticos así como pérdida del apetito. El hombre detecta y rechaza su sabor y olor en concentraciones de 0.05 µg/L. El herbicida se degrada fácilmente.

1.7.2. *Alacloro*

Se utiliza para controlar malezas de hoja ancha principalmente en los cultivos de maíz. Desaparece del suelo por volatilización, fotodegradación y biodegradación. Se ha detectado su presencia en aguas subterráneas y superficiales así como en el agua de bebida, en concentraciones inferiores a 2 µg/L. Se considera carcinogénico.

1.7.3. *Aldicarb*

Es un plaguicida sistémico utilizado para controlar los nemátodos en el suelo y a los ácaros que infestan diversos cultivos. Es muy soluble en el agua y muy móvil en el suelo. Se descompone por biodegradación e hidrólisis, persistiendo durante semanas a meses. Se halla con frecuencia como contaminante de las aguas subterráneas.

El aldicarb es uno de los plaguicidas en uso con mayor toxicidad aguda. Inhibe la acetilcolinesterasa. Se metaboliza produciendo sulfóxido y sulfona. El conjunto de los datos disponibles indica que el aldicarb no es genotóxico ni carcinógeno.

1.7.4. *Aldrina y dieldrina*

En la actualidad se emplean principalmente para combatir termitas. La aldrina y la dieldrina son plaguicidas clorados que se utilizan contra plagas que viven en el suelo, en semillas o cultivos.

para la protección de la madera y, en el caso de la dieldrina, contra insectos de importancia para la salud pública. La aldrina se convierte rápidamente en dieldrina en la mayor parte de las situaciones ambientales y en los organismos por oxidación. Son insecticidas de acción prolongada que se acumulan en la cadena alimentaria

Ambos compuestos guardan una estrecha relación por su toxicología y modo de acción. La dieldrina es un compuesto orgánico del cloro muy persistente, de movilidad reducida en el suelo y que se libera en la atmósfera. Se encuentra ocasionalmente en el agua. La exposición a aldrina y dieldrina contenidas en los alimentos es muy reducida y está disminuyendo. Desde principios de los años 70, varios países han prohibido o limitado su uso en la agricultura.

El dieldrin afecta el sistema nervioso central, su teratogenicidad y mutagenicidad no han sido demostrados y al parecer no son carcinógenos. La aldrina y la dieldrina son muy tóxicas para los animales de experimentación y se han producido casos de envenenamiento de seres humanos. Los órganos más afectados son el sistema nervioso central y el hígado.

1.7.5. Atrazina

Es un herbicida selectivo que se utiliza antes de la aparición de las malezas. Se ha hallado en aguas superficiales y subterráneas debido a su movilidad en el suelo. Es relativamente estable, tanto en suelo como en agua, con una vida media de meses, pero se degrada en el suelo por fotólisis y acción microbiana. No es genotóxica y la información sobre la carcinogenicidad es insuficiente.

1.7.6. Clordano

Es un insecticida de amplio espectro, que se utiliza desde 1947. Pertenece al grupo de los hidrocarburos clorados policíclicos llamados insecticidas con ciclodieno. Se usa para combatir termitas, es insecticida en hogares y jardines y sirve para el control de insectos en suelos. Su producción y empleo ha decrecido. El clordano es una mezcla de estereoisómeros, con predominio de las formas *cis* y *trans*. Es muy resistente a la degradación, muy inmóvil en el suelo y sólo se le ha encontrado en raras ocasiones en el agua. Desaparece fácilmente por liberación en la atmósfera.

Aunque las concentraciones de clordano en los alimentos han ido disminuyendo, la sustancia es muy persistente y muestra gran potencial de bioacumulación. Es tóxico y existen indicios de que es mutagénico. Se llegó a la conclusión de que su carcinogenicidad no está suficientemente demostrada en los seres humanos pero sí en los animales.

1.7.7. Clortalurón

Es un herbicida utilizado antes de la aparición de las malezas, poco biodegradable y móvil en el suelo. Se ha detectado en el agua de bebida en concentraciones inferiores a 1 µg/litro. La exposición a este compuesto a través de los alimentos es muy limitada. Se caracteriza por su baja toxicidad para los animales pero con efectos a dosis altas.

1.7.8. 1,2-dibromo-3-cloropropano (DBCP)

Es un fumigante para suelos muy soluble en el agua. Este compuesto se ha detectado en hortalizas cultivadas en suelos tratados, en el aire en concentraciones bajas, y en el agua (unos cuantos µg/L). Su umbral de sabor y olor es de 10 µg/L.

Es tóxico para la función reproductora en los seres humanos y en varias especies de animales. Es genotóxico en la mayoría de las valoraciones realizadas *in vitro* e *in vivo* y hay pruebas suficientes de su carcinogenicidad para los animales. Información epidemiológica reciente parece indicar un aumento de la mortalidad por cáncer en las personas expuestas a la DBCP en grandes concentraciones.

1.7.9. Diclorodifeniltricloroetano, DDT o 4,4-DDT

El DDT puro es estable al calor, no se descompone abajo de los 195°C pero el DDT comercial se descompone fácilmente a 100°C. La estructura del DDT permite varias formas isoméricas distintas, y los productos comerciales están constituidos principalmente por *p,p*-DDT.

El DDT es el más permanente de todos los insecticidas comúnmente usados, debido a su insolubilidad en el agua, baja presión de vapor, y resistencia por la luz y la oxidación. Es un insecticida de acción prolongada, estable en la mayoría de las condiciones ambientales y con metabolitos resistentes a la acción microbiana. También es el más importante de los plaguicidas, detuvo la epidemia del tifo en 1944 en Nápoles y limpió la isla de Cerdeña de los mosquitos de malaria. A finales de la década de los 40 se llegó a creer que erradicaría las moscas pero se descubrió entonces que los insectos desarrollaban resistencia al producto. Como resultado se aumentaron las dosis aplicadas y se crearon programas de investigación para buscar otros compuestos. Se sintetizó entonces el lindano, clordano y el dieldrín. Pero, el problema de la adaptación no fue remediado por lo que se recurrió a otras familias, mucho más tóxicas, como las de los organofosforados y los carbamatos. A pesar de ello, los organoclorados y en especial el DDT siguen siendo usados para combatir la malaria, la fiebre amarilla y el mal de Chagas. En agricultura, se emplean para el control de plagas de algodón, maíz, cacahuate y tabaco.

El DDT puede acumularse en los peces en cantidades 10,000 veces superiores a las concentraciones presentes en el agua circundante. A pesar de que está prohibido en algunos países, en los tropicales aún se emplea no sólo en agricultura sino también en la lucha antivectorial. En México es de uso restringido.

La ingesta diaria aportada por los alimentos puede llegar a 0.286 mg/persona, la mayor parte proviene de alimentos de origen animal. En dosis pequeñas, el DDT se absorbe casi totalmente después de la ingestión o inhalación y se almacena en el tejido adiposo. Las concentraciones de DDT en la sangre de la población en general de distintos países, fluctúa entre 0.01 y 0.07 µg/L y se han observado concentraciones en la leche materna de 0.01 a 0.1 µg/L.

Afecta al sistema nervioso central y periférico así como al hígado. Es tóxico para mamíferos, muy persistente y se acumula en las cadenas alimenticias. Es carcinógeno.

El DDT se trata por dehidrocloración en solución alcalina con trazas de Fe, Al o Cr para formar un producto no insecticida, 1,1-dicloro 2,2-bis(*p*-clorofenil) etileno. Puede ser oxidado a *p,p'*-diclorobenzofenona en una reacción que es catalizada por la luz ultravioleta.

1.7.10. Heptacloro y heptaclorepóxido

Es un insecticida de amplio espectro, cuyo uso se ha prohibido o restringido en muchos países. En la actualidad, aún se utiliza para la lucha contra las termitas mediante inyección subsuperficial en el suelo.

El heptacloro es bastante persistente en el suelo, donde se transforma principalmente en su epóxido, que es muy resistente a la degradación y altamente tóxico. El heptacloro y el heptaclorepóxido se unen a las partículas del suelo y se mueven muy lentamente. Se considera que la principal fuente de exposición al heptacloro son los alimentos. Ambos se han encontrado en agua de bebida en concentraciones de nanogramos por litro.

La exposición prolongada al heptacloro se ha asociado con lesiones hepáticas y efectos tóxicos en el sistema nervioso central. Ha demostrado ser teratogénico, mutagénico y carcinogénico en animales

1.7.11. Lindano

El lindano (γ -hexaclorociclohexano, γ -HCH) es un insecticida utilizado desde hace mucho tiempo. Aparte de sus usos agrícolas con plantas y animales, se emplea también en salud pública y como preservante de la madera.

Es un insecticida de amplio espectro perteneciente al grupo de hidrocarburos clorados policíclicos. Se usa para el tratamiento de animales en edificios (contra ectoparásitos), ropa, agua (contra los mosquitos), plantas y suelo. Se degrada lentamente produciendo isómeros alfa o delta. La principal fuente de contaminación del agua es su aplicación directa para el control de mosquitos, seguido de su empleo en actividades agrícolas, forestales y, en menor grado, el vertido de descargas industriales.

El lindano es un compuesto persistente con una afinidad por el agua relativamente baja y una reducida movilidad en el suelo: se volatiliza lentamente en la atmósfera. La exposición de los seres humanos, que tiene lugar principalmente a través de los alimentos, está disminuyendo.

Después de un empleo prolongado e inapropiado para tratar la sarna en el hombre, se ha observado la irritación del sistema nervioso central así como de efectos tóxicos secundarios (náuseas, vómitos, espasmos, respiración superficial acompañada de cianosis y discrasia sanguínea). Su teratogenicidad, mutagenicidad y cancerogenicidad no están bien definidos.

1.7.12. Metoxicloro

El metoxicloro es un insecticida utilizado en las hortalizas, las frutas, los árboles, el forraje y los animales de granja. Se disuelve mal en el agua y es sumamente inmóvil en la mayor parte de los suelos agrícolas.

Es un compuesto cuya toxicidad aguda es relativamente baja y que no provoca efectos teratogénicos en ratas ni mutagénicos en bacterias. En condiciones normales de uso el metoxicloro no parece ser perjudicial para el medio ambiente. No obstante, se ha detectado ocasionalmente en el agua de bebida. Se cree que la ingesta diaria a través de los alimentos y el agua de bebida es inferior a 1 μ g por persona.

1.7.13. Pentaclorofenol (PCF)

El pentaclorofenol (PCF) se utiliza principalmente como conservador de madera. En las zonas en que se lleva a cabo el tratamiento de ésta, pueden hallarse altas concentraciones en aguas subterráneas y superficiales. La población en general se ve expuesta a este compuesto a través

del agua de bebida y los alimentos y de la exposición a artículos tratados con él (por ejemplo, textiles o productos del cuero y el papel) y, ante todo, por la inhalación de aire contaminado con PCF en interiores.

El PCF de calidad técnica no purificado contiene varios microcontaminantes, en particular dibenzo-*p*-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados, cuyo congénere más relevante desde el punto de vista toxicológico es la hexaclorodibenzo-*p*-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados. Los microcontaminantes parecen ser las partes activas principales que determinan la toxicidad no aguda del PCF que se encuentra en el comercio.

La toxicidad aguda en el hombre se manifiesta por un aumento de temperatura, respiración acelerada y, finalmente paro cardíaco. Se absorbe tanto en el tracto intestinal como a través de la piel y se excreta sin modificaciones en la orina.

1.7.14. Permetrina

Es un insecticida piretroide sintético, ampliamente utilizado para la protección de cultivos y en salud pública. Se emplea para la lucha contra las larvas de mosquito en los depósitos de agua y para el control de la infestación de tuberías maestras por invertebrados acuáticos.

La permetrina se caracteriza por su acentuada afinidad con el suelo y los sedimentos y su reducida afinidad con el agua, y es poco probable que desaparezca por liberación en la atmósfera. Puede ser objeto de fotodegradación y biodegradación y puede persistir durante días o durante semanas. Por lo general, se utiliza en forma de mezcla de isómeros *cis* y *trans*, el isómero *cis*, que es el componente activo, es más tóxico que el *trans*.

Este insecticida no se acumula en los mamíferos debido a su rápida metabolización. La exposición a él a través de los alimentos y de los usos domésticos y de salud pública es probablemente elevada. La permetrina es poco tóxica para los mamíferos y no es genotóxica.

A continuación se presenta la Tabla 9 con los plaguicidas que no se encuentran comúnmente en el agua, pero que sí hay valor guía (OMS, 1995).

Tabla 9 Plaguicidas poco frecuentes en el agua pero existe valor guía

NOMBRE	USO	EFEECTO	VALOR GUÍA (OMS, 1995)
MCPA	Herbicida utilizado después de la aparición de las malezas	No hay información suficiente sobre su carcinogenicidad en seres humanos.	2 µg/L
Pendimetalina	Herbicida utilizado antes de la aparición de malezas, poco móvil y persistente en el suelo	No tiene una actividad mutagénica importante así como su carcinogenicidad	20 µg/L
Pindato	Herbicida por contacto utilizado con cereales (maíz, arroz, etc.)	No es genotóxico y al parecer tampoco carcinógeno	100 µg/L

Los valores guía para plaguicidas se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10 Valores guía de los plaguicidas en agua potable

COMPUESTO	VALOR GUÍA (µg/L)	OBSERVACIONES
Alacloro	20.0 ^a	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
Aldicarb	10.0	
Aldrina/ dieldrina	0.03	
Atrazina	2.0	
Bentazona	30.0	
Carbofurano	5.0	
Clordano	0.2	
Clortolurón	30.0	
DDT	2.0	
1,2-dibromo-3-cloropropano	1.0 ^b	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
2,4-D	30.0	
1,2-dicloropropano	20.0 (P)	
1,3-dicloropropano		NDS
1,3-dicloropropeno	20.0 ^b	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
Dibromuro de etileno (DBE)		NDS
Heptacloro y Heptacloroepóxido	0.03	
Hexaclorobenceno	1.0 ^b	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
Isoproturón	9.0	
Lindano	2.0	
MCPA	2.0	
Metoxicloro	20.0	
Metoalacloro	10.0	
Molinato	6.0	
Pendimetalina	20.0	
Pentaclorofenol	9.0 (P)	
Permetrina	20.0	
Propanil	20.0	
Piridato	100.0	
Simazina	2.0	
Herbicidas clorofenoxidos distintos del 2,4-D y el MCPA		
2,4-DB	90.0	
Dicloroprop	100.0	
Fenoprop	9.0	
MCPB		NDS
Mecoprop	10.0	
2,4,5-T	9.0	

NDS: No hay datos suficientes para recomendar un valor guía basado en criterios sanitarios

ADAPTADO DE: OMS 1995

1.8. Éteres

Se hidrolizan lentamente, algunos pueden ser adsorbidos en materia orgánica. Casi no se volatilizan y la fotólisis no los destruye. Se recomienda como valor guía para protección de la vida acuática 238.000 µg/L como cloroalquiléteres. La Tabla 11 presenta los principales contaminantes de este grupo.

Tabla 11 Características de los éteres prioritarios

COMPUESTO	USO/FUENTE
2,3,7,8-tetraclorodibenceno-p-dioxina	Poco usual se considera precursor de herbicidas.
2-Cloro etil vinil éter	Se usa en la obtención de anestésicos, sedantes y en la elaboración de éteres de celulosa.
4-Bromofenil fenileter	Existe muy poca información sobre este compuesto. Se ha identificado en diferentes tipos de aguas.
bis (2-cloro etil) éter	Se usa en la manufactura de pinturas, barnices, lacas, jabones y removedores. Es solvente de ésteres de celulosa, naftalenos, aceites, grasas, pectinas y gomas.
Bis(2-cloro etoximetano)	Se usa como fumigante y en el lavado en seco. No tiene uso autorizado en México como plaguicida.
Bis(2-cloro isopropil)éter	Se usa ampliamente en síntesis orgánica, en la industria textil en la producción de polímeros e insecticidas como agente desengrasante y solvente. Participa en la preparación de resinas de intercambio iónico.
	Se usa como disolvente de ceras, grasas, pinturas y barnices. Es quitamanchas.

1.9. Ésteres del ácido ftálico

Los ésteres del ácido ftálico (Tabla 12) se norman como grupo para protección de la vida acuática en agua dulce en 940 µg/L y 3 µg/L para toxicidad aguda y crónica, respectivamente. En agua salada se establece 2.9 mg/L y para salud humana, 313 mg/L.

Tabla 12 Características de los ésteres del ácido ftálico

COMPUESTO	USO/FUENTE
Butilbencil ftalato	Plastificante para resinas polivinílicas y celulósicas, intermediano orgánico.
di-n-butil ftalato	Se usa como plastificante en los sistemas de emulsión del acetato de vinilo y de los ésteres de celulosa. También se usa como repelente de insectos.
di-n-octil ftalato	Se usa en la fabricación de plásticos.
Dietilftalato	Solvente de ésteres de celulosa. Vehículo para los plaguicidas en aerosol, como fijador y disolvente en perfumería.
Dimetilftalato	Se usa en la fabricación de plásticos de ésteres de celulosa y como repelente de insectos.

1.10. Fenoles

Son un grupo de compuestos orgánicos subproducto de la manufactura del acero, la destilación del coque, refinación del petróleo y de operaciones químicas. Deben ser removidos antes de descargarse a las fuentes de agua. Los fenoles también son asociados con el decaimiento de los productos de la madera, biocidas y las descargas de aguas municipales. La presencia de los fenoles en procesos de la industria alimenticia, donde se utiliza en grandes cantidades el agua, puede contaminar los alimentos y las bebidas.

1.10.1. Clorofenoles

Los clorofenoles presentes en el agua de bebida son resultado de la cloración de los fenoles, productos secundarios de la reacción del hipoclorito con ácidos fenólicos, biocidas o productos de la degradación de herbicidas fenotóxicos. Los clorofenoles que con mayor frecuencia se hallan en el agua de bebida como productos secundarios de la cloración son el 2-clorofenol (2-CF), el 2,4-diclorofenol (2,4-DCF) y el 2,4,6-triclorofenol (2,4,6-TCF) y por lo común son inferiores a 1 µg/L. Información de cada uno de ellos se encuentra en la Tabla 13.

1.10.2. 2,4,6-triclorofenol

Se forma durante la cloración en aguas que contienen fenol u otras sustancias orgánicas de origen natural. En agua potable es común encontrar entre 0.003 µg/L y 1 µg/L (OMS, 1985) Dosis elevadas incrementan la temperatura del cuerpo y producen convulsiones. Pero el principal problema comprobado es que ese compuesto provoca leucemia y carcinomas hepatocelulares en ratas, y es mutagénico. Es eliminado del cuerpo con rapidez.

Tabla 13 Características de los fenoles

COMPUESTO	USO/FUENTE	COMENTARIO
2,4,6-triclorofenol	Se usa para producir 2,3,4,6-tetrafenol y pentaclorofenol Es germicida, bactericida, conservador de madera y defoliante	
2,4-Diclorofenol	En síntesis orgánica es un intermediario frecuente	
2,4-Dimetilfenol (2,4-Xilenol)	Se usa en la producción de antioxidantes fenólicos, desinfectantes, solventes, fármacos, insecticidas, fungicidas, plastificantes, óxido de polifenileno, lubricantes y gasolina	
2,4-Dinitrofenol	Se usa en la obtención de colorantes, especialmente colores de azufre, ácido picrico y ácido picrámico. En la conservación de tabloneros y en la fabricación del revelador fotográfico amidol	
2-Clorofenol	Se usa en síntesis orgánica para la obtención de colorantes	
2-Nitrofenol	Se usa en síntesis orgánica y en la elaboración de plaguicidas	
4,6-Dinitro- cresol	Es ampliamente usado en la agricultura como herbicida y plaguicida. En la industria de colorantes	No se produce en los Estados Unidos
4-Nitrofenol	Se usa en la síntesis de materia colorante y plaguicidas	
Fenol	Se usa en la fabricación de explosivos, fertilizantes, pinturas, removedores de pinturas, caucho, asbesto, conservador de madera, resinas sintéticas, textiles, drogas, fármacos, perfumes, baquelita y otros plásticos Es desinfectante de petróleo, piel, papel, jabón, juguetes y agricultura	La concentración de fenol en agua potable no debe exceder de 300 mg/L.
p-Cloro-m-cresol	Se usa como un germicida externo y conservador de pinturas, tintes textiles, pieles y cosméticos.	No existen criterios
Pentaclorofenol	Es comercialmente producido como bactericida, herbicida, mo'usquicida y fungicida Su uso principal es para conservar la madera y sus derivados	No tiene uso autorizado en México como plaguicida

1.11. Nitrosaminas

Las nitrosaminas son compuestos tóxicos cuyo uso como plaguicidas en México es muy limitado. Sin embargo, son productos presentes en las descargas industriales. La Tabla 14 presenta sus características

Tabla 14 Características de las nitrosaminas

COMPUESTO	USO/FUENTE	COMENTARIO
n-nitroso-di-n-propilamina (Di-n-propilnitrosamina)		
N-nitroso di-n-fenilamina (difenilnitrosamina)	Se emplea como retardador de la vulcanización del caucho Es plaguicida	Como plaguicida no tiene uso autorizado en México
N-nitroso di-n-metilamina (Dimetilnitrosamina)	Se usa en la elaboración de dimetilhidrazina. Se usa también en la industria como disolvente y como nematocida en la inhibición de acrílonitrilo en la elaboración de plásticos de caucho	No tiene uso autorizado en México como plaguicida

1.12. Ácido nitrilotriacético, ANA

Se utiliza principalmente en los detergentes para lavar la ropa como sustituto de los fosfatos y en el tratamiento del agua de las calderas para evitar la acumulación de incrustaciones minerales. Las concentraciones en el agua de bebida no sobrepasan, por lo común, unos pocos microgramos por litro.

Los animales no metabolizan el ANA, que se elimina con rapidez, aunque se puede retener brevemente una cierta cantidad en los huesos. La toxicidad aguda de este compuesto para los animales es baja, aunque se ha demostrado que produce tumores renales en los roedores tras exposición prolongada a dosis altas. Este compuesto no es genotóxico, y se cree que los tumores notificados se deben a citotoxicidad resultante de la quelación de cationes divalentes como el zinc y el calcio en el tracto urinario.

1.13. Acrilamida

El monómero residual acrilamida está presente en coagulantes que se utilizan para el tratamiento del agua de bebida. En general, la dosis máxima autorizada del polímero es de 1 mg/L. Con un contenido máximo del monómero de 0.05%. En la práctica, las concentraciones son de 2 a 3 veces menores. Las poliácridamidas se usan también como recubrimiento de depósitos y pozos de agua potable. Debido a la utilización de poliácridamida en la elaboración de los alimentos, éstos pueden ser una fuente adicional de exposición.

Tras su ingestión, la acrilamida se absorbe fácilmente a través del tracto gastrointestinal. La acrilamida puede atravesar la placenta. Es neurotóxica, afecta a las células germinales y da lugar a un deterioro de la función reproductora.

A partir de la información disponible, se llegó a la conclusión de que la acrilamida es un carcinógeno genotóxico.

1.14. Ftalato de di(2-etilhexilo), FEDH

Se utiliza principalmente como plastificante. Se encuentra en las aguas superficiales y subterráneas y en el agua de bebida en concentraciones de unos pocos microgramos por litro. En las aguas superficiales y subterráneas contaminadas, se han notificado concentraciones de centenares de microgramos por litro. La exposición individual puede variar considerablemente debido a la amplia gama de productos que lo contienen siendo los alimentos la principal vía de exposición.

1.15. Compuestos orgánicos del estaño

El grupo de las sustancias químicas denominadas compuestos orgánicos del estaño está integrado por un gran número de sustancias con distintas propiedades y aplicaciones. Los más utilizados son los compuestos disustituidos, que se usan como estabilizantes de los plásticos, en particular de las tuberías de agua de cloruro de polivinilo (PVC), y los trisustituidos, que se utilizan ampliamente como biocidas.

En especial, los dialquilos del estaño son compuestos disustituidos que se liberan por lixiviación de las tuberías de agua de PVC durante un breve período después de su instalación. Son inmunotoxinas de toxicidad baja.

El óxido de tributilestaño (OTBE) se utiliza ampliamente como biocida en los conservantes de la madera y las pinturas protectoras. Es extremadamente tóxico para la vida acuática y su uso se está reduciendo en algunos países. Sólo se dispone de datos limitados sobre la exposición a él.

1.16. Acrilonitrilo

Se usa en la industria de fibras sintéticas, acrilostireno, plásticos, butadieno estireno, y adhesivos. También se usa como plaguicida y fumigante para cereales. No tiene uso autorizado en México como plaguicida.

1.17. Acroleína

Se usa como intermediario en la producción de glicerina y en la producción de metionina y sus derivados. Se usa en la síntesis química de 1,3,6 hexanetriol y glutaraldehído. Es agente antimicrobiano en la manufactura del papel.

1.18. Isoforona

Se usa comercialmente como disolvente de lacas, polivinilo, resinas de nitrocelulosa, plaguicidas herbicidas, aceites, grasas y gomas. También se usa en la síntesis de 3,5-xilenol, 2,3,5 trimetilciclohexanol y 3,5-dimetilanilina.

A continuación se presenta la Tabla 15 que resume los valores guía de componentes orgánicos diversos que contaminan el agua:

Tabla 15 Valores guía de los componentes orgánicos

COMPUESTO	VALOR GUÍA, (µg/L)	OBSERVACIONES
Alcanos clorados		
Tetracloruro de carbono	2	
Diclorometano	20	
1 1-dicloroetano		NDS
1 2-dicloroetano	30 ^a	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
1.1.1-dicloroetano	2000 (P)	
Etenos clorados		
Cloruro de vinilo	5 ^a	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
1.1-dicloroetano	30	
1 2-dicloroetano	50	
tricloroetano	70 (P)	
tetracloroetano	40	
Hidrocarburos aromaticos		
Benceno	10 ^a	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
Tolueno	700	ASO
Xilenos	500	ASO
Etilbenceno	300	ASO
Estireno	20	ASO
Benzo(a)pireno	0.7	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
Bencenos clorados		
monoclorobenceno	300	ASO
1 2-diclorobenceno	1000	ASO

Tabla 15 Valores guía de los componentes orgánicos

COMPUESTO	VALOR GUÍA, (µg/L)	OBSERVACIONES
1,3-diclorobenceno		NDS
1,4-diclorobenceno	300	ASO
Tndlorobencenos (total)	20	ASO
Diversos		
Adipato de di(2-etilhexilo)	80	
ftalato de di(2-etilhexilo)	8	
Acrilamida	0.5 ^b	Para un riesgo adicional de 10 ⁻⁵
Epiclothidrina	0.4 (P)	
Hexaclorobutadieno	0.6	
Ácido edético (EDTA)	200 (P)	
Ácido nitrotriacético	200	
Dialquilo de estaño		NDS
Oxido de tnbutilestaño	2	

NDS: No hay datos suficientes para recomendar un valor guía basado en criterios sanitarios

ASO: Concentraciones de la sustancia iguales o inferiores al valor guía basado en criterios sanitarios pueden influir en la apariencia, el sabor o el olor del agua

1.19. Tóxicos prioritarios

Un tóxico es cualquier sustancia química capaz de causar daños, debilitar o matar a cualquier organismo vivo. Los efectos que producen son función del tipo de sustancia, concentración y metabolismo. En general son teratogénicas (que produce anomalías durante el periodo de gestación que producen monstruosidades en animales o plantas), mutagénicas (produce cambios genéticos), carcinogénicas o venenosas. Una característica relevante es que son acumulables, es decir, su efecto se manifiesta sólo después de un cierto periodo de exposición. Entre una concentración tolerable y letal hay un nivel intermedio donde se presentan efectos secundarios. Este valor inferior corresponde al umbral del valor límite (UVL) y representa la máxima concentración a la cual un organismo puede ser expuesto continuamente sin sufrir trastornos. El UVL se utiliza para definir los estándares de contaminación.

El concepto de tóxico prioritario nació por un conocido episodio ambiental a finales del siglo XIX, cuando William T. Love inició la construcción de un canal para unir el río Niágara con las cataratas del mismo nombre. Por diversas razones no se concluyó la obra y quedó una zanja de 1.6 km de largo que fue llamada "El Canal del Amor". Poco a poco, las industrias químicas emplearon el canal para la disposición de sus desechos y, en una década, el canal recibió aproximadamente 20,000 toneladas de compuestos peligrosos. En febrero de 1978 la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) encontró la presencia de 27 compuestos orgánicos sintéticos y 10 metales. Paralelamente se detectaron muchos casos de intoxicación por lo que se declaró la zona como de desastre y se evacuaron 949 familias. Este incidente inició el interés por el control de los tóxicos sintéticos, un nuevo grupo de contaminantes.

Actualmente, existe una lista bien definida de compuestos que constituyen una prioridad de control en la estrategia del agua en Estados Unidos, toda vez que éste país ha superado aceptablemente los problemas de contaminación biodegradable y microbiológica. La lista fue establecida al considerar que el hombre sintetiza comúnmente más de 80,000 sustancias y ante la imposibilidad de controlarlas todas se efectúa una selección para determinar cuáles son de mayor interés. La diferencia de criterios ha llevado a que se definan diferentes números y tipos de compuestos en diversas regiones. La Comunidad Europea ha identificado 1,500 sustancias que son susceptibles de incluirse en la lista de tóxicos, de las cuales 1,000 son producidas en cantidades inferiores a 100 ton/año; 186 mayores de 100 ton/año, 44 mayores de 10,000 ton/año y 25 exceden las 100,000 ton/año. La EPA seleccionó 126 (Tabla 16), la Comunidad Europea menciona 129 ("Lista negra I")

la OMS y la Comisión del Rin mencionan alrededor de 80. La Comisión para el Aseguramiento de la Calidad del Agua de los Grandes Lagos señaló en 1985 una lista de 12 tóxicos persistentes de interés para esta zona (Tabla 17).

Tabla 16 Contaminantes tóxicos prioritarios listados por la EPA y recomendación para el tratamiento y disposición de los lodos que generan durante su tratamiento

PLAGUICIDAS		HIROCARBUROS AROMATICOS MONOCICLICOS	
1 4,4 - DDD (2,2-Bis 4-clorofenil) - 1,1-dicloroetano	A	64 1,2-Diclorobenceno	C
2 4,4 - DDE (2,2-Bis 4-clorofenil) - 1,1-dicloroetano	A	65 1,3-Diclorobenceno	B
3 4,4 - DDT (1,1-Bis 4-clorofenil) - 2,2-bis 4-clorofenilo	A	66 1,4-Diclorobenceno	A
4 Aldrin (3,3,4,4-tetracloro-1,4-diacetato-1,4-diaceto-5,6,6-tricloro-2,2-dimetil-2,5-dioxano)	A	67 2,4-Dinitrofenol	B
5 Dieldrin (1,1,1,2,2,2-hexacloro-3,4,5-tricloro-2,4,6-trinitrobenzeno)	A	68 2,5-Dinitrofenol	B
6 Alfa-BHC	A	69 Benceno	D
7 Beta-BHC		70 Clorobenceno	D
8 Gamma-BHC		71 Etilbenceno	D
9 Deltamethrin		72 Hexaclorociclohexano	A
10 Deltamethrin	A	73 Nitrobenzeno	C
11 Dieldrin	A	74 Tolueno	D
12 Endosulfano sulfato			
13 Endrin	A	Fenoles	
14 Endrin aldehído	A	75 2,4,6-Triclorofenol	A
15 Gamma-BHC	A	76 2,4-Diclorofenol	A
16 Heptacloro	A	77 2,4-Dimetilfenol (2,4-Litrol)	A
17 Heptacloro heptocloro		78 2,4-Dinitrofenol	
18 Toxaleno (6-cianodifenil) - 1,2,3,4-tetracloro-3,7-dimetil-2,5-dioxadiazoleno		79 2-Clorofenol	
		80 2-Nitrofenol	
Bfenilos policlorados (PCBs)		81 4-S-Dinitroclorobenceno	
19 PCB 1016		82 4-Nitrofenol	A
20 PCB 1221		83 Fenol	A
21 PCB 1232		84 2-Cloro-3,4,5-tricloro-1,2,4-tricloro-6-cloro-3,4-dicloro-6-cloro	A
22 PCB 1242		85 Perclorobenceno	A
23 PCB 1248			
24 PCB 1254 (Aroclor)		Hydrocarburos aromaticos policiclicos	
25 PCB 1260		86 1,2-Difenilmetano (1,2-diclorobenceno)	A
		87 2-Diclorofenol	A
Hydrocarburos alifaticos halogenados		88 3,3-Diclorobenceno (1,2-diclorobenceno)	A
26 1,1,1,2-Tetracloroetano	A	89 3-Acetofenilacetato	A
27 1,1,1-Tricloroetano (Metil cloroformo)	A	90 Acetanilido	A
28 1,1,2-Tricloroetano	A	91 Acetanilido	A
29 1,1-Dicloroetano	A	92 Anilacetato	A
30 1,1-Dicloroetano (Cloruro de vinileno)	A	93 Benzina	A
31 1,2-Dicloroetano	A	94 Benzoinacetato	A
32 1,2-Dicloropropano	A	95 Benzoinoleno	A
33 1,2-Dicloropropano (1,2-dicloropropano)	A	96 Benzoinformilacetato (Benzoinacetato)	A
34 1,2-Dicloropropano (Cloruro de propileno)	A	97 Benzoinperileno	A
35 Bromoetano	A	98 Cloruro	A
36 Bromoetano (Sulfuro de metilo)	A	99 Cloruro de acetilacetato	A
37 Clorobromoetano	A	100 Fluoracetato	A
38 Clorobromoetano (Cloruro de etilo)	A	101 Fluoracetato	A
39 Clorobromoetano (Cloruro de etilo)	A	102 Fluoracetato	A
40 Cloruro de metileno (Clorobromoetano)	A	103 Indeno (2,3-dicloro)	C
41 Clorometano	A	104 Nafeno	A
42 Clorometano (Cloruro de metilo)	A	105 Pireno	A
43 Bromocloroetano	A		
44 Hexaclorociclohexano (Metil cloroformo)	A	Metalos	
45 Hexaclorociclohexano	A	106 Arsénico	
46 Hexaclorociclohexano	A	107 Bario	
47 Tetracloroetano	A	108 Calcio	G
48 Tetracloroetano (Tetracloroetano)	A	109 Cromo	G
49 Tetracloroetano	A	110 Cinc	G
		111 Cobalto	G
Eteres halogenados		112 Cobre	G
50 2,2,3,3-Tetracloro-1,1-dicloroetano	A	113 Hierro	G
51 2-Cloro-1,1-dicloroetano	A	114 Mercurio	G
52 4-Bromocloro-1,1-dicloroetano	A	115 Níquel	G
53 4-Cloro-1,1-dicloroetano	A	116 Plata	G
54 Bis 2-cloro-1,1-dicloroetano	A	117 Plomo	G
55 Bis 2-cloro-1,1-dicloroetano	A	118 Selenio	G
56 Bis 2-cloro-1,1-dicloroetano	A	119 Vanadio	G
		120 Zinc	G
Esteres del ácido ftálico			
57 Bis 2-etilhexanoftalato (Dioctilftalato)		Nitrosaminas	
58 Butilenoftalato		121 N-nitrosodimetilamina	A
59 Diisobutilenoftalato		122 N-nitrosodietilamina	A
60 Diisobutilenoftalato		123 N-nitrosodipropilamina	A
61 Diisobutilenoftalato			
62 Diisobutilenoftalato		Otros compuestos	
		124 Hexaclorociclohexano	D
Hydrocarburos aromaticos monociclicos		125 Nitrobenzeno	D
63 1,2,4-Triclorobenceno	A	126 Nitrofenol	D

Tratamiento del lodo y disposición

- A Quemado con un solvente combustible con control de gases
- B Quemado con carbonato de sodio
- C Quemado con un monóxido con control de gases
- D Quemado con control de gases, mediante un horno

- E Adición de ácido sulfúrico a los lodos de compuestos insolubles en agua en el tratamiento
- F Cloración y disposición en el tratamiento
- G Material que puede ser reciclado
- H No tiene acción por un método de oxidación

FUENTE: Jiménez *et al.*, 1994

Tabla 17 Contaminantes críticos del agua de los Grandes Lagos

-	Bifenilos policlorados totales (PBC)
-	DDT y sus metabolitos
-	Dieldrín
-	Toxafeno
-	2,3,7,8-Tetraclorodibenceno -p- dioxina
-	(2,3,7,8 -TCDD)
-	2,3,7,8.-Tetraclorodibenzo furano (2,3,7,8-TDF)
-	Mirex
-	Mercuro
-	Alcanos de plomo
-	Benzo (α) pireno
-	Hexaclorobenceno

En México, no ha sido definida una lista a este respecto; sin embargo con el objeto de que cuente con una lista de sustancias tóxicas de atención prioritaria en sus cuerpos de agua, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a partir de un estudio bibliográfico, propuso un total de 52 sustancias, de las cuales el 77% corresponden a plaguicidas y el 23% son de origen industrial (Tabla 18). Esta selección tiene como fundamento su frecuencia a escala nacional, la persistencia en zonas agrícolas, su toxicidad, la bioacumulación, la bioconcentración y la movilidad de los contaminantes en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Asimismo, México tiene un acuerdo en el marco del Tratado de Libre Comercio (TLC) para la reducción de ciertas sustancias tóxicas como los BPC, el clordano, el DDT y el Hg, así como un compromiso de vigilancia y reducción del Pb y el Cd con la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

Tabla 18 Sustancias tóxicas prioritarias en agua propuestas para México

COMPUESTO TÓXICO	
1	1,1,1-Tricloroetano
2	2,4-D
3	Aldicarb
4	Benceno
5	Captófol
6	Carbanil
7	Cianuros
8	Clordano
9	Cloroforno
10	Clorotalonil
11	Clorcóluron
12	Cloruro de metilenc
13	Cobre/compuestos de
14	Dalapon
15	Dazomet
16	Diclorvos
17	Dicofol
18	Dietilftalato
19	Diflubenzuron
20	Dimetoato
21	Endosulfan
22	EPN
23	Fenitroton
24	Fenol
25	Fluometuron
26	Folbet
27	Forato
28	Fosetil-al
29	Imazapir
30	Imazetapir
31	Isoforona
32	Lindano
33	Maneb
34	Metomilo
35	MSMA
36	Naftaleno
37	Oxadiazon
38	Paraquat
39	Pentaclorofenol
40	Prometrina
41	Quinometionato
42	Quitozeno
43	Setoxidin
44	Simazina
45	Terbutrina
46	Tetracloruro de carbono
47	Thiabendazol
48	Tolueno
49	Tricloroetileno
50	Trifluranna
51	Triforina
52	Vinclozolin

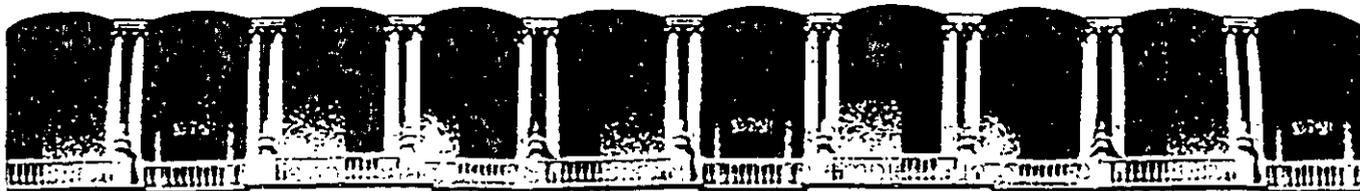
FUENTE Arévila, Ramos y Jiménez, 1996

Otro problema que presentan los contaminantes tóxicos es la complejidad para analizarlos así como la valoración de peligrosidad. Las técnicas de análisis son sofisticadas y particularmente caras. En la Tabla 19 se resumen las técnicas por aplicar a cada grupo analítico en función del grado de información requerida.

Tabla 19 Métodos de análisis y detección para los contaminantes tóxicos prioritarios

CONTAMINANTE	MÉTODO ESPECÍFICO
PLAGUICIDAS (4,4'-DDD, 4,4'-DDE, 4,4'-DDT, Aldrin, Alfa-BHC, Alfa-endosulfano, Beta-BHC, Beta-endosulfano, Clordano, Delta-BHC, Dieldrin, Endosulfano sulfato, Endrin, Endrin aldehído, Gama-BHC, Heptacloro, Heptacloro hepóxido, Toxafeno)	Cromatografía de gases
METALES (Antimonio, Arsénico, Berilio, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Niquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio, Zinc)	Absorción atómica
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS (1,2-Diclorobenceno, 1,3-Diclorobenceno, 1,4-Diclorobenceno, 1,2,4-Triclorobenceno, Clorobenceno, Hexaclorobenceno, 2,4-Dinitrotolueno, 2,6-Dinitrotolueno, Nitroaromáticos, Nitrobenceno)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
AROMÁTICOS PURGABLES (Benceno, Etilbenceno, Tolueno)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS (1,1,2,2-Tetracloroetano, 1,1,1-Tricloroetano, 1,1,2-Tricloroetano, 1,1-Dicloroetano, 1,1-Dicloroetileno, 1,2-Dicloroetano, 1,2-Dicloropropano, 1,2-Dicloropropileno, 1,2-trans-Dicloroetileno, Bromoformo, Clorodibromometano, Cloroetano, Cloroformo, Cloruro de metileno, Cloruro de vinilo, Diclorobromometano, Tetracloroetileno, Tetracloruro de carbono, Tricloroetileno, Hexaclorobutadieno, Hexaclorociclopentadieno, Hexacloroetano, Hidrocarburos clorados)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
ÉTERES (2,3,7,8-Tetraclorodibenceno-p-dioxina, Pesticidas, PCB's, 2-Cloroetil vinil éter, 4-Bromofenil fenil éter, 4-Clorofenil fenil éter, Bis(2-cloroetil) éter, Bis(2-cloroetoxi)metano, Bis(2-clonopropil)éter, Halocarburos purgables, Haloéteres)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
ÉSTERES DEL ÁCIDO FTÁLICO (Bis(2-etilhexil)ftalato, Butilencilftalato, Di-n-butilftalato, Di-n-octilftalato, Dietilftalato, Dimetilftalato)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
FENOLES (2,4,6-Triclorofenol, 2,4-Diclorofenol, 2,4-Dimetil fenol, 2,4-Dinitrofenol, 2-Clorofenol, 2-Nitrofenol, 4,6-Dinitro-o-cresol, Fenol, Pentaclorofenol)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (1,2-Difenilhidrazina, 2-Cloronaftaleno, 3,3'-Diclorobencidina, Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Bencidina, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoroanteno, Benzo(ghi)perileno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno(1,2,3-cd)pireno, Naftaleno, Pireno)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
NITROSAMINAS (N-nitroso-di-n-propilamina, N-Nitrosodifenilamina, N-Nitrosodimetilamina)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones
OTROS COMPUESTOS (Acilonitrilo, Acroleína, Isoforona)	Detección con cromatografía de gases y espectrofotometría de iones

FUENTE EPA, 1980



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD HUMANA: DEFINICIÓN DE
CRITERIOS DE LIMPIEZA**

**EXPOSITOR: M. I. HÉTOR G. ZEGARRA M.
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

Evaluación de riesgo a la salud humana: definición de criterios de limpieza

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas en el estado del arte del saneamiento de suelos contaminados es la determinación de **límites de limpieza** que garanticen que el suelo ya no está contaminado. Estos límites se establecieron debido a que en el suelo nunca se alcanzarán concentraciones *cero* del contaminante porque no es factible en términos técnico - económicos. Aunado a esto, el desarrollo tecnológico ha permitido cuantificar concentraciones muy bajas distintas de *cero* de hasta partes por millón o por billón del contaminante (0.0001 o 0.000001 %).

Para resolver la cuestión de *¿qué tan limpio es limpio?*, en algunos países en años anteriores, se desarrollaron *criterios interinos de límites de limpieza* que permitieron el desarrollo de las actividades de remediación. Sin embargo estos criterios carecieron de fundamentos científicos defendibles y se reportaron *límites de limpieza* que variaron arbitrariamente en órdenes de magnitud, por ejemplo, desde decenas hasta millares de mg de hidrocarburo por kilogramo de suelo de acuerdo con la ubicación geo-administrativa, incluso dentro de un mismo país.

Actualmente esta variando lo que entendemos por *contaminación, nivel de limpieza y remediación*, implementándose un paradigma que se mueve de límites estrictos generales sin fundamentos científicos demostrados a niveles particulares establecidos con base en criterios científicos y técnicos para proteger a la salud humana (Rifai, 1998). La evaluación del riesgo ha surgido como una de las herramientas más ampliamente utilizadas para estimar el riesgo a la salud que constituye un sitio contaminado y determinar los límites a los cuales no existe la posibilidad de que la población expuesta sufra de efectos tóxicos causados por la presencia de contaminates. A través de los documentos publicados por la agencia ambiental de los EE.UU. y con el impulso de la ASTM, se ha adoptado en por lo menos 44 estados / territorios de la unión americana la metodología RBCA (Risk-Based Corrective Action) o adaptaciones de ésta para suelos contaminados (EPA, 1999).

De acuerdo con un estudio que evalúan el impacto económico de la aplicación de niveles de limpieza específicos, se ha observado una reducción del 40% tanto en costos como en el número de sitios que se consideraban contaminados (Quigley, 1995). Esto permitiría optimizar los recursos finitos destinados a la remediación de suelos al identificar sitios prioritarios de mayor riesgo. Aunado a esto, la aplicación de esta metodología puede ser una herramienta que concrete criterios requeridos por el marco legal actual, como ocurre en otros países con mayor experiencia y desarrollo en la remediación de suelos.

El presente trabajo busca introducir al lector en el paradigma y en los conceptos de la evaluación del riesgo y su aplicación en la determinación de límites de limpieza.

Entendemos por **riesgo** a:

"La posibilidad de sufrir un daño por exposición a un peligro"

Esta posibilidad del evento comúnmente se evalúa por un valor de probabilidad de ocurrencia de su efecto con consecuencias dañinas. Para el presente caso de riesgo toxicológico o a la salud, el daño está determinado tanto por efectos cancerígenos como por tóxicos no cancerígenos, mientras que el peligro lo establece la sustancia emitida. Como indica la definición propuesta, el peligro es la fuente del riesgo, pero solamente existe la probabilidad de ocurrir si hay exposición. Esta simple definición es suficiente para su concepción, aunque se han propuesto varias definiciones más elaboradas (ver recuadro 1). El análisis de riesgo es una disciplina que involucra la interacción de distintas especialidades para favorecer la identificación, evaluación, control y reducción de riesgos.

Recuadro 1. Definiciones de riesgo

La Comisión Preparatoria de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (1978), definió el riesgo como: la frecuencia esperada de un efecto nocivo producido por la exposición a un agente químico. El potencial para la realización de consecuencias adversas e indeseables para la vida humana, la salud, la propiedad o el ambiente. La estimación del riesgo usualmente se basa en el valor esperado de la probabilidad condicional de que ocurra un evento ocasionando la consecuencia del evento dado (Society for Risk Analysis, 1999).

Posibilidad de sufrir un daño por un peligro. Probabilidad que algo cause daño combinado con el potencial de severidad del daño (Cohrssen y Cello, 1989)

Probabilidad de ocurrir un evento con efectos nocivos (Suter, 1993)

La probabilidad o oportunidad que una acción, circunstancia o evento indeseable o deseado resulte en pérdidas y daños (EPA, California Comparative Risk Project Report)

Una medida de la oportunidad de que un daño a la vida, salud, propiedad o al ambiente ocurra (EPA, glosario de Software for Environmental Awareness, Great Lakes: National Program Office, 1997 y Office of pollution prevention and toxics)

Su desarrollo involucra el uso de distintas herramientas de la ingeniería y de la ciencia, diferenciándose cuatro fases principales:

- I. Identificación del peligro
- II. Evaluación del riesgo
- III. Manejo del riesgo
- IV. Comunicación del riesgo

Metodología

Aunque el análisis de riesgo tiene un sentido más amplio, para fines del presente documento se relacionará con el riesgo de la salud humana.

I. Identificación del peligro

En esta primera etapa se intenta responder la pregunta: ¿Existe un peligro?. Para contestarla se requiere consultar estudios toxicológicos y epidemiológicos, bioensayos con animales in vivo, pruebas en cultivo de tejidos y celulares in vitro, así como la relación estructura actividad. Para el caso de derrames de hidrocarburos se deben

considerar a todos los constituyentes que se encuentran presentes en la mezcla de hidrocarburos y sus aditivos, aquellos que por sus propiedades se consideren *peligrosos* se denominarán *constituyentes de preocupación potencial*. Es importante recordar que a través del tiempo los distintos derivados del petróleo han cambiado su composición en cuanto a la presencia de sus fracciones (monoaromáticos, polinucleoaromáticos, alifáticos, etc.) como de sus aditivos (tetra etilo de plomo, MTBE, TAME, etc.).

Un ejemplo de algunos compuestos derivados del petróleo que se han identificado como compuesto de preocupación potencial se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Ejemplo de posibles sustancias peligrosas

HIDROCARBUROS POLINUCLEOAROMÁTICOS	HIDROCARBUROS MONOAROMÁTICOS	Aditivos
Acenafteno	benceno	MTBE
Fenantreno	etilbenceno	Tetra Étilo de Plomo
Fluoreno	tolueno	
Fluoranteno	xilenos	
Antraceno		
Pireno		
Benzo(a)antraceno		
Metilnaftaleno		

II. Evaluación del riesgo

El objetivo de esta fase es estimar la severidad y probabilidad del daño a la salud humana por la exposición a determinada sustancia. Cuatro distintas, pero relacionadas, etapas se emplean en esta fase:

1. Evaluación de la contaminación
2. Evaluación de la toxicidad
3. Evaluación de la exposición
4. Caracterización del riesgo

1. Evaluación de la contaminación: En esta etapa se estima la concentración, ubicación y el área de la contaminación en ambientes residenciales, agrícolas, recreativos, industriales o comerciales.

Con la finalidad de evaluar la contaminación se debe realizar una adecuada recolección y evaluación de los datos.

1.1. Recolección de datos: Esta se basa en un plan adecuado de muestreo que considera el área afectada, la cual puede ocupar parte o todo el predio e incluso un área exterior a las fronteras del predio. El muestreo fuera del área contaminada puede afectar al análisis de riesgo por disminuir la concentración característica del sitio. A menudo, la determinación del área contaminada requiere para determinar su profundidad del muestreo representativo de la contaminación a varias profundidades.

Se debe considerar en la selección del método de laboratorio determinado para evaluar a la contaminación, que la cuantificación debe realizarse por especie o grupo de compuestos de interés. Las prácticas más usuales indican el uso de métodos cromatográficos - incluso acoplados a espectrómetros de masa - que permitan identificar o realizar una especiación por compuestos de interés y no así los métodos que agrupen a los compuestos como en el Método EPA 418.1 que cuantifica Hidrocarburos Totales del Petróleo o el método de Grasas y Aceites.

1.2 Evaluación de datos: La evaluación de los datos requiere de la participación de especialistas en la determinación del área contaminada y de su profundidad. A los valores reportados como "No Detectados" - menores al nivel de detección del método analítico - se le asigna un valor igual a la mitad del límite de detección reportado por el laboratorio (recomendado por EPA, 1992).

A juicio del especialista, se recomienda el empleo de este valor en vez del *nivel de detección* o *cero*, por considerar la posible presencia del compuesto en una concentración por debajo de la del límite de detección, pero que debido a las características de la contaminación en el sitio no se le puede asignar *cero*. La designación para los compuestos "No detectados" afectará el valor de exposición como se detallará más adelante en la *Evaluación de la exposición*.

2. Evaluación de la toxicidad: En esta fase se presenta y discute por cada compuesto la información de dosis de respuesta cuantitativa para cada constituyente de preocupación potencial. Las fuentes de información de la toxicidad de cada *constituyente de preocupación potencial* debe basarse en estudios científicamente comprobados.

Para tóxicos **no - cancerígenos** se requiere información sobre la *dosis de referencia* (RfD), que comúnmente va acompañada del efecto crítico en el cual se basó la RfD, Factor de incertidumbre (UF), Factor de Modificación (FM) y del nivel de confianza, así como de la referencia de la fuente de información. Los valores de RfD se basan en periodos de exposición crónicos, debido a los largos periodos de tiempo de exposición en los escenarios. La exposición subcrónica en cambio considera periodos de dos semanas a siete años. Un escenario en el cual se pueden emplear RfD subcrónicos es en el caso de trabajadores de la construcción. Para el caso en particular de la ruta de inhalación comúnmente se reporta una concentración de referencia (RfC) en vez de la RfD, su concepto es equivalente.

Por otro lado, para los **cancerígenos** se requiere el *factor de la pendiente de cáncer* que puede complementarse con información del tipo de cáncer observado, la especie animal empleada en el estudio y la clasificación del peso de la evidencia. Para la ruta de inhalación también se puede emplear la Unidad de Factor de Riesgo:

Tanto para tóxicos no cancerígenos como para los compuestos cancerígenos los valores deben estar referidos dependiendo de la ruta evaluada (por inhalación, dérmica

u oral). Para el caso de la toxicidad dérmica que se reporta como dosis adsorbida, es necesario ajustar la toxicidad oral. Se ha recomendado emplear un 5% de eficiencia de adsorción aunque otros valores incluyen 80% para compuestos orgánicos volátiles, 50% para compuestos orgánicos semivolátiles y 20% para inorgánicos.

Otra forma común de evaluar a los cancerígenos es a través de los Factores de Equivalencia de Toxicidad (TEF, por sus siglas en inglés). Por ejemplo para los hidrocarburos polinucleoarómicos se puede fijar la concentración equivalente del Benzo(a)pireno como 1 y establecer para el Benzo(a)antraceno el valor TEF de 0.1 por el potencial relativo diez veces menor del Benzo(a)antraceno con respecto al Benzo(a)pireno.

Otro aspecto importante de considerar es la biodisponibilidad del compuesto. Aunque esta característica puede considerarse irrelevante debido a que los estudios en animales se reportan en dosis administrada y no en dosis biodisponible, se debe tener en cuenta los efectos de la matriz del medio.

3. Evaluación de la exposición: La exposición es el contacto de un organismo con uno o varios constituyentes de preocupación potencial en las fronteras de intercambio (p. ej. piel, pulmones e hígado). El objetivo de la evaluación de la exposición es determinar o estimar la magnitud, frecuencia, duración y ruta de la exposición en el área contaminada o fuera de ésta. La evaluación de la exposición incluye las siguientes secciones:

3.1. Caracterización de la exposición: En esta sección se incluye información de las características físicas del sitio y de la población. Las características de la población que se consideran son las que influyen en la exposición, como su ubicación y patrones de las actividades que realiza. Se deben considerar a los receptores actuales y a los futuros receptores. Adicionalmente, se puede incluir a subpoblaciones sensibles.

3.2. Identificación de las rutas de exposición: La ruta de exposición de un compuesto es el curso que el compuesto toma de la fuente contaminada al organismo. Una ruta de exposición describe un único mecanismo por el cual un individuo o población está expuesto a un *constituyente de preocupación potencial* originado en el sitio contaminado. Cada ruta de exposición incluye una fuente, un punto de exposición y una vía de exposición. Si el punto de exposición difiere de la fuente, entonces un medio de transporte/exposición (p. ej. el aire) o un medio debe incluirse. La *vía de exposición*, es la manera por la cual un *constituyente de preocupación potencial* entra en contacto con el organismo (p. ej. la ingestión, inhalación y el contacto dérmico).

En esta sección se identifican las rutas por las cuales las poblaciones previamente identificadas pueden estar expuestas. Así un modelo conceptual del sitio puede desarrollarse. Este modelo puede incluir a la(s) fuente(s) de contaminación, el(los) tipo(s) de contaminante(s), el(los) medio(s) afectado(s), las rutas de migración y los potenciales receptores. También se debe considerar el uso del suelo actual y futuro.

Algunos escenarios que se pueden incluir son: agrícola, residencial, comercial/industrial, visitantes y trabajador de la construcción.

3.3. Cuantificación de la exposición: La exposición para cada compuesto en específico por cada vía de exposición identificada se presenta en términos de la masa de la sustancia en contacto con el cuerpo por unidad del peso del cuerpo por unidad de tiempo (mg del compuesto/ kg de peso del cuerpo por día).

Para la evaluación de la exposición es necesario tener para cada especie química una *concentración de referencia* de la exposición. Esta *concentración de referencia* debería ser la concentración promedio real del sitio. Sin embargo, debido a la incertidumbre asociada con la estimación del promedio de la concentración real del sitio se debe emplear un límite estadístico adecuado, con base en la distribución de la concentración de cada constituyente de preocupación potencial. Un método común recomendado por la EPA es el empleo del límite de confianza superior con un percentil del 95 % (UCL95) sobre el promedio aritmético para una distribución normal o log-normal. Existe evidencia contundente que la distribución de la contaminación en el suelo es log-normal. Además, no debe de perderse de vista que la concentración de referencia para la evaluación de la exposición se emplea para cuantificar riesgos a futuro, la cual disminuirá a través del tiempo. Son estas las razones por las que no se recomienda el empleo del valor máximo reportado, incluso un valor alejado de los demás puede ser representativo de una singularidad.

La cuantificación de la exposición se realiza en dos etapas, primero se estima la concentración de la exposición y después la administración por vía de exposición.

3.3.1 Determinación de las concentraciones de exposición: Para determinar la concentración del constituyente de preocupación potencial en cada punto de exposición se deben emplear modelos de transporte y destino de cada compuesto (ver Tabla 2). Algunas estimaciones de la concentración se deben realizar para el punto de exposición en agua subterránea, suelo, aire, agua superficial, sedimentos o alimentos.

Tabla 2. Modelos comúnmente requeridos para calcular factores de transferencia entre medios

Medio fuente	Factores de transferencia entre medios	Medio destino	Transporte lateral
Superficie del suelo	Volatilización Emisión de partículas	Aire (exterior)	Sí
Subsuelo	Volatilización	Aire (exterior)	Sí
Subsuelo	Volatilización a espacios cerrados	Aire en interiores	
Agua subterránea	Volatilización	Aire (exterior)	Sí
Agua subterránea	Volatilización a espacios cerrados	Aire en interiores	
Suelo	Lixiviación / Atenuación / Dilución	Agua subterránea	Sí

Mancha (disuelta o en producto libre)	Dilución	Agua:subterránea	Sí
---------------------------------------	----------	------------------	----

3.3.2. Estimación de la administración: La administración (I , mg/kg peso del cuerpo al día) es cantidad del compuesto en la *vía de exposición* (p. ej. la ingestión, inhalación y el contacto dérmico). Para determinarla se debe conocer la *concentración de exposición* C (p. ej. para ingestión mg/l), la tasa de contacto (CR , p. ej. para ingestión l/d), la frecuencia de exposición (EF , días/año), la duración de la exposición (ED , años), el peso promedio del individuo (BW , kg) y el tiempo promedio de la exposición (AT , días) y se calcula con la siguiente ecuación genérica:

$$I = C * \frac{CR * EF * ED}{BW} * \frac{1}{AT}$$

Para la estimación de la administración se puede emplear - dependiendo del nivel incertidumbre manejada en la evaluación del riesgo - valores supuestos establecidos para varios parámetros por agencias internacionales o valores reales del sitio. Los supuestos para la estimación del riesgo se basan en los parámetros establecidos como *Exposición Máxima Razonable* (RME, por sus siglas en inglés), aunque su empleo ha sido duramente criticado. Otra opción es el empleo de los supuestos de la *Exposición de Tendencia Central* (CTE).

4. Caracterización del riesgo: Es la última sección de la *evaluación del riesgo*, en ésta se integra los resultados de las fases previas. Esta fase cuantifica el *riesgo del sitio* y determina las concentraciones máximas para garantizar que no se rebase el *riesgo aceptado*, a esta concentración se le denomina *Límite de Limpieza*. Parte de la información generada sirve para la siguiente fase de *manejo del riesgo*.

La información usualmente se presenta por compuesto, vía y receptor, permitiendo la observación de valores acumulados de riesgo de cáncer e índice de peligro (toxicidad). Una de

Se recomienda determinar la incertidumbre del proceso. Una de las alternativas es el *análisis de sensibilidad*, sin embargo, un recurso más poderoso es el análisis de la incertidumbre por simulación tipo *Monte Carlo*. El análisis de la incertidumbre para la aplicación de modelos matemáticos involucra la determinación de la variación o imprecisión en una función de salida basado en la variación colectiva de los modelos de entrada, mientras que el análisis de sensibilidad involucra la determinación de los cambios en el modelo de respuesta como resultado de los cambios en los parámetros del modelo individual.

III. Manejo del riesgo

Emplea la información de la identificación del peligro y la de evaluación del riesgo junto con información técnica, social, económica, política y opciones de control y respuesta para determinar que acciones que se deben realizar para reducir el riesgo.

Es importante destacar la relación entre la *Evaluación del Riesgo* y el *Manejo del Riesgo*. La *Evaluación del Riesgo* tiene un sentido más "técnico" y "puro" sin la

influencia de valores sociales, económicos y políticos, mientras que el Manejo del riesgo si los puede considerar. Un ejemplo práctico, suponga que usted esta realizando una *Evaluación del Riesgo* de un sitio contaminado con hidrocarburos, al seleccionar los escenarios uno puede incurrir en el error de considerar las medidas de mitigación, como sería en el caso de considerar las tecnologías de limpieza (no la atenuación natural), por lo cual se reduciría el *riesgo real del sitio contaminado*.

IV. Comunicación del riesgo

En esta fase las partes interesadas transmiten e intercambian información sobre los niveles de riesgo a la salud humana y los *Límites de Limpieza* determinados para asegurar un riesgo aceptable. Así como las medidas de acción necesarias para alcanzar dicho riesgos.

A menudo la comunicación del riesgo involucra al generador del riesgo y/o a las autoridades competentes.

El presente informe tiene como objetivo evaluar el riesgo a la salud humana derivado de la exposición a los contaminantes presentes en el agua de consumo humano en la zona de estudio. Para ello se han considerado los niveles de concentración de los contaminantes, las vías de exposición y la susceptibilidad de la población.

ANEXOS

ANEXO 1. Límites de Limpieza Basados en Riesgo y Acciones Correctivas Basadas en Riesgo (RBCA)

La metodología denominada por EPA como RBCA por sus siglas en inglés de Risk-Based Corrective Action, se utiliza ampliamente en la Unión Americana. Anteriormente los límites de limpieza se basaban en comparaciones directas con los límites establecidos por otras agencias. Un ejemplo claro era el límite de limpieza basado en las concentraciones máximas permisibles en agua potable que se aplicaba para derrames de derivados del petróleo en el suelo con contacto con el agua subterránea. Este límite denominado MCL - por sus siglas en inglés - es siempre más bajo que el basado en riesgo debido a que considera más vías de exposición y no contempla los factores reales de atenuación del sitio. Los MCL, aunque se basen en riesgo a la salud - entre otros valores como el olor, color, sabor y frecuencia de aparición - consideran más escenarios y vías de exposición del contaminante en el entorno del receptor, como la ingestión por alimentos, contacto con materiales, etc.

A partir de 1994, la American Society for Testing and Materials publica una guía para la realización de acciones de corrección para sitios con derrames de petróleo. Esta guía permitió determinar el riesgo real de los derrames y permitió - tanto al gobierno, consultores, responsables del derrame, etc. - tener una herramienta que permitiera determinar un límite de limpieza real de la contaminación bajo el escenario del sitio. Este incremento en el límite de limpieza tuvo fuertes repercusiones en la disminución de los costos de tratamiento.

La guía RBCA no solamente considera a la evaluación del riesgo, sino que involucra a un proceso de tomas de decisiones para la evaluación y respuesta a los derrames, basado en la protección a la salud y al ambiente. Aunque recomienda para determinados casos una evaluación más detallada, el riesgo ecológico de acuerdo con RBCA sólo se cualifica y no se cuantifica, considerando sólo posibles impactos de los hábitats o recursos sensibles, como las especies económicamente más relevantes y especies en vías de extinción. Como antecedentes al RBCA para la evaluación del riesgo a la salud humana se encontraban los lineamientos del Superfund, desde 1989. Mientras que para la evaluación de riesgos ambientales, recién se han desarrollado hace un tres años.

De acuerdo con la guía RBCA se realiza como primer paso una **evaluación inicial del sitio** que involucra la determinación de los *constituyentes de preocupación potencial* (I. *Identificación del peligro*), extensión del medio afectado (II.1. *Evaluación de la contaminación*) y rutas potenciales de migración y *receptores* (II.3.1. *Caracterización de la exposición*; y II.3.2. *Identificación de las vías de exposición*). De acuerdo con esta información se puede obtener una **clasificación del sitio** basándose en cuatro escenarios los cuales van de mayor a menor severidad requiriendo una inmediata o mediata acción. La clasificación de los escenarios se basa en efectos a la salud y a los recursos sensibles, si el efecto es inmediato se considera la primera clasificación, si el

efecto es a corto plazo (menor de dos años) se consideran la segunda clasificación, si el efecto es a largo plazo (mayor de dos años) es de clasificación 3 y si no se demuestran efectos a largo plazo pertenece a la cuarta clasificación.

Posteriormente se pasa a la primera etapa de evaluación (**Tier 1**) en la que se realiza una *evaluación del riesgo* con varios supuestos y se determina los *límites de limpieza* preliminares (RBSL). Si las concentraciones de exposición del sitio son mayores a las del límite de limpieza preliminares, entonces se puede implementar un plan de acción (*IV. Manejo del Riesgo*) o si se considera adecuado se puede realizar una segunda *evaluación del riesgo* (**Tier 2**) con datos más representativos del lugar. Otra opción es realizar acciones provisionales y volver a clasificar el sitio para continuar con las etapas de evaluación.

Después de la segunda *evaluación del riesgo*, puede seguir una tercera (**Tier 3**). Esta secuencia de evaluaciones implica cada vez un análisis más detallado con información cada vez más cercana a la realidad (ver Tabla 1.A.). Para la *evaluación de riesgos* esto implica parámetros más reales del lugar y modelos más avanzados, pero que supuestamente repercute en un incremento del *límite de limpieza* - con su consiguiente disminución en los costos del saneamiento. Este incremento en el *límite de limpieza* se debe a que los parámetros generales son muy conservadores, por lo que "inflan" el riesgo cuando es de suponerse que los valores reales son menores. Se debe recalcar que no se recomienda que las vías de exposición, ni los escenarios, ni los receptores se incrementen, lo que debe variar son algunos de los parámetros supuestos y los modelos cada vez más avanzados y también menos conservadores. Por otro lado la incertidumbre se reduce con cada secuencia de evaluación, pero también se incrementan los costos de la *evaluación del riesgo* - que comparativamente deben ser menores al ahorro en el saneamiento por el incremento en el *límite de detección*.

Tabla 1.A. Secuencia de las etapas de evaluación del riesgo en RBCA

ETAPA	Límite de la concentración	Información requerida	Evaluación	Característica	Si la concentración del suelo* es mayor al límite.
1a	RBSL (Risk-based screening levels)	Tipo de contaminante y rutas potenciales de exposición	<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Preliminar • Varios supuestos 	No específica Conservadora (menor concentración de las tres etapas) Evaluación preliminar	(1) Remediar hasta RBSL. (2) Etapa 2
2a	SSTL (Site-specific target level)	Modelos simples de transporte y destino	<ul style="list-style-type: none"> • Medio • Algunos supuestos 	Específica Poco conservadora Evaluación del sitio	(1) Remediar hasta SSTL (2) Etapa 3
3a	SSTL (Site-specific target level)	Modelos avanzados de transporte y destino	<ul style="list-style-type: none"> • Complejo • Pocos supuestos 	Específica Muy poco conservadora	Remediar hasta SSTL

* La concentración del suelo debe ser la concentración más representativa de la concentración promedio real (no la de la muestra) del suelo a futuro. Esto debido a que la evaluación se basa en efectos a la salud en los siguientes años de la población expuesta.

NOTA: El avanzar de etapa presume un límite de concentración menos conservador, esperando que aumente el límite al avanzar de etapa, por lo que se espera un menor costo de saneamiento. Todas las etapas tienen el mismo "nivel" de protección a la salud humana (riesgo aceptable), el aumento del límite y

la disminución del costo se debe a la información y modelos utilizados.

El costo de la información y los modelos utilizados en la evaluación de riesgo a la salud humana es un factor importante que debe ser considerado. La información utilizada en la evaluación de riesgo a la salud humana puede ser de diferentes tipos, como la información sobre la toxicidad de los productos químicos, la información sobre la exposición de la población a los productos químicos, y la información sobre la susceptibilidad de la población a los productos químicos. Los modelos utilizados en la evaluación de riesgo a la salud humana pueden ser de diferentes tipos, como los modelos de toxicidad, los modelos de exposición, y los modelos de susceptibilidad.

La disminución del costo se debe a la información y modelos utilizados. La información utilizada en la evaluación de riesgo a la salud humana puede ser de diferentes tipos, como la información sobre la toxicidad de los productos químicos, la información sobre la exposición de la población a los productos químicos, y la información sobre la susceptibilidad de la población a los productos químicos. Los modelos utilizados en la evaluación de riesgo a la salud humana pueden ser de diferentes tipos, como los modelos de toxicidad, los modelos de exposición, y los modelos de susceptibilidad.

ANEXO 2. Criterio de expertos

Las metodologías de cuantificación del riesgo y la determinación del nivel de limpieza con base en éste son herramientas invaluable para la evaluación del riesgo. Sin embargo los supuestos metodológicos que conllevan todo el paradigma del riesgo así como los supuestos involucrados en el escalamiento de los valores toxicológicos de animales a humanos, los supuestos en todos los modelos del transporte y destino de los contaminantes y en general de todos los parámetros empleados así como su incertidumbre asociada hace necesario que a través del criterio de expertos se complemente el análisis e interpretación de la información generada.

La aplicación del criterio de expertos va más allá del requerido para la cuantificación del nivel del riesgo y los niveles de limpieza, como es el caso en la determinación de los escenarios. Involucra además, un análisis más global que considera toda la información que se obtuvo o generó del sitio real y la experiencia y antecedentes observados por el experto. Algunos análisis que permiten complementar la evaluación del riesgo toxicológico incluyen la determinación del riesgo por explosividad, determinación de la vulnerabilidad del acuífero e impacto al suministro del agua potable, riesgos ambientales y daños a los bienes, entre otros.

El **riesgo por explosividad** es necesario considerarlo para evitar muertes súbitas y daños a los bienes. La mezcla de oxígeno con compuestos volátiles, como los hidrocarburos, aunado con una fuente de ignición pueden provocar una explosión. Por esto los niveles de limpieza no se pueden basar sólo en criterios riesgos de toxicidad y cáncer, debido a que la detección de un alto riesgo de explosividad sobre la base de los monitoreos realizados en el sitio puede dictaminar un criterio de limpieza distinto al de toxicidad, requiriendo acciones de remediación inmediatas y distintas a las involucradas en la disminución del riesgo a la salud humana.

En mezclas de hidrocarburos los criterios de limpieza a menudo se fijan con base en el riesgo a la salud para determinadas sustancias que han demostrado su toxicidad y carcinogenicidad y no necesariamente se incluyen a todas las explosivas. Debido a la gran complejidad de sustancias involucradas en las mezclas de hidrocarburos (gasolinas, queroseno, diesel, etc.) se evalúan sólo algunas sustancias prioritarias como los BTEX y determinados hidrocarburos polinucleoaromáticos y no toda la mezcla de compuestos que pueden ser explosivos (p. ej. hexanos). Aunado a esto se conoce que las explosiones se realizan no forzosamente por una elevada concentración de compuestos orgánicos volátiles, basta con una cantidad adecuada que sature un sistema cerrado (p. ej. un ducto del drenaje) con una mezcla adecuada de oxígeno y un detonante para producir una explosión.

Los acuíferos, debido a su alta calidad, son y/o pueden ser a futuro una fuente prioritaria de suministro de agua potable. Debido a que la contaminación del suelo puede involucrar el deterioro de la calidad del agua del acuífero es importante realizar

estudios que permitan evaluar el **riesgo potencial de contaminación hidrogeológica**. Un método sistemático empleado muy a menudo es DRASTIC (Aller et al., 1987). DRASTIC es un método que permite evaluar y conformar gráficas de la vulnerabilidad¹ del acuífero por contaminación a través de la designación de unidades hidrogeológicas y emplea un sistema de graduación de acuerdo con los siguientes factores principales de vulnerabilidad que conforman sus siglas en inglés:

Depth: profundidad al nivel estático
 Recharge: Recarga neta
 Aquifer media: medio del acuífero
 Soil media: tipo de suelo
 Topography: topografía
 Impact of the vadose zone media: impacto de la zona vadosa
 Conductivity, hydraulic: conductividad hidráulica

DRASTIC, emplea un esquema de graduación relativa que utiliza una combinación de "pesos" y "grados" para producir el índice DRASTIC (valor numérico). Con base en este índice se despliega gráficas de las unidades hidrogeológicas. DRASTIC permite dar prioridad a los esfuerzos de protección, monitoreo y limpieza (algunos supuestos y limitaciones se encuentran en el Recuadro 2). Una herramienta útil para el manejo de la información y visualización de la información son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para el empleo del SIG es común emplear la paquetería ARC/INFO Y ARC/VIEW. De acuerdo con los críticos de DRASTIC uno de sus mayores desventajas en el uso por individuos sin experiencia.

Recuadro 2. Supuestos y limitaciones de DRASTIC

Aunque algunas publicaciones emplean el método DRASTIC como fue publicada en su fuente original, existen reportes de adecuaciones (Secunda, 1998) y modificaciones (NAWQA, 1999) para disminuir sus limitaciones y salvar sus supuestos:

Supuestos:

Área mayor a 0.4 km² (20x20)
 Contaminación en la superficie de la tierra
 El contaminante fluye con el agua subterránea por precipitación (transporte por infiltración)
 El contaminante presenta la movilidad del agua

Las mayores *limitaciones* son por no considerar:

La actividad humana en agua subterránea
 Fracturas y fallas. El lecho fracturado es característica de mayor vulnerabilidad que incluso las gravas y las arenas.
 Efectos significativos de precipitación (duración e intensidad).
 Reactividad del suelo
 Diferente movilidad entre contaminantes
 Anisotropía y heterogeneidad del suelo
 Zona vadosa
 Conductividad hidráulica del acuífero
 Dilución

Los **riesgos ambientales** se realizan para evitar impactos irreversibles. El escenario del sitio y el conocimiento del analista establecerá criterios de limpieza para protección de los ecosistemas sensibles (p. ej. presencia de especies protegidas, en peligro de extinción, etc.) o que permitan una actividad económicamente rentable (pesca en algún

¹ La vulnerabilidad es la tendencia o probabilidad de los contaminantes de alcanzar una posición específica en el sistema de agua subterránea después de su introducción en algún lugar superior del acuífero (NCR, 1993).

cuerpo de agua, fuentes de agua para el ganado, para uso industrial u otro ajeno al potable, etc.). En estos casos los criterios no sólo se deben basar en impactos en la salud humana, sino que se deben designar animales o plantas blanco para determinar su riesgo.

197505 00000000

CURSO INTERNACIONAL SOBRE
EXAMINACIÓN DE SEALOS Y
ETIQUETAS

ACEPTACIÓN DEL RIESGO

Aceptación del riesgo, límites de limpieza y costos

Un aspecto prioritario es la determinación de la aceptación del riesgo. A finales de los años setenta y comienzo de la década de los ochenta, varias agencias de los EEUU adoptaron el criterio de “uno en un millón” como un nivel de riesgo insignificante a escala social. De acuerdo con la FDA – la primera agencia que estableció el nivel de aceptación del riesgo – el nivel de “uno en un millón” se estableció por la necesidad de fijar un número necesariamente finito que fuese la referencia que permitiera la realización de evaluaciones de riesgo. Este nivel significa un incremento del riesgo de un efecto adverso en “uno en un millón” para un periodo de vida de 70 años. La filosofía de este nivel se basó en brindar la seguridad que el riesgo humano virtualmente no existiera. Es necesario considerar que aunque para efectos de cálculos matemáticos e interpretación de datos se fija para una persona con cáncer en un millón, en realidad el riesgo es menor debido a los parámetros usualmente conservadores en los supuestos científicos de la evaluación del riesgo (ASTM).

El riesgo de “uno en un millón” se fijó con base en el concepto “De Minimis” - el riesgo a un nivel tan bajo que sea usualmente ignorado (ver más adelante *Opciones para determinar el riesgo aceptable*). Resulta razonable su empleo, considerando que el riesgo de “uno en un millón” es 200 veces menor con respecto al riesgo de “2 en 10.000” de morir en un accidente de automóvil y sin embargo los estadounidenses continúan manejando carros.

En EEUU, la FDA y posteriormente la EPA emplearon el límite de “uno en un millón” (1×10^{-6}) para toda la población norteamericana, sin embargo se ha empleado el valor de “uno en 10 000” (1×10^{-4}), para poblaciones pequeñas.

El nivel de aceptación del riesgo tiene por característica ser universal, pues se fija independientemente de la sustancia y afecta directamente al nivel de limpieza calculado. Por ejemplo, en un ejercicio de estimación del nivel de limpieza presentado en la siguiente tabla se obtiene para el benceno una concentración de limpieza de 10 ppm con un nivel de riesgo de “uno en un millón” y de 1 000 ppm para “uno en 10 000”, es decir 100 veces más elevado. En términos de costos, alcanzar un nivel de limpieza cien veces menor equivale a incrementar los costos de forma exponencial.

Tabla 4. Ejemplo del efecto del riesgo aceptable en el límite de limpieza

Riesgo de cáncer		Concentración en suelo (ppm)
1×10^{-4}	“uno en 10 000”	1 000
1×10^{-6}	“uno en un millón”	10

Para un escenario de receptor industrial/comercial considerando las vías de exposición dérmica, por ingestión e inhalación.

Participación en la definición del nivel aceptable

No se debe de perder de vista, que en México no se ha dictaminado aún un valor de aceptación del riesgo y que compete a las autoridades y el concurso de la sociedad participar en su desarrollo.

Debido a que toda tecnología, actividad o sustancia conlleva un riesgo, es prácticamente imposible eliminarlo. Incluso la prohibición de la fuente generará otra sustituta para satisfacer la necesidad que la primera cubría. Por esto usualmente se identifica como nivel de riesgo aquel que sea tolerable o "suficientemente seguro". Para tomar esta decisión se debe considerar los costos de reducción del riesgo, la percepción del riesgo, los beneficios y la posibilidad de sustituir la fuente de riesgo. Algunos casos erróneos se muestran en el Recuadro 3.

Recuadro 3. Casos erróneos en determinar el nivel del riesgo aceptable

Un ejemplo claro de carencia de efectividad en el manejo de recursos dedicados al manejo de riesgos es la legislación de limpieza de residuos peligrosos del Superfund que dicta a la EPA establecer "riesgo cero" en vez de "riesgo razonable", por lo que se han saneado completamente muy pocos sitios, mientras que hay muchos sin saneamiento (Gowda, 1999).

En 1958 la Cláusula Delaney en el Acta de Alimentos, Fármacos y Cosméticos ("Food, Drug, and Cosmetic Act" de la "Food and Drug Act" prohibía aditivos sintéticos carcinógenos en alimentos ("riesgo cero"). Esta cláusula produjo un mayor riesgo a la salud por la falta de aditivos y la introducción, en algunos casos, de sustancias más peligrosas. En 1996 la ley fue enmendada.

La determinación del nivel de riesgo es una tarea que aún requiere la participación de las distintas esferas sociales. Las autoridades requerirán la participación equilibrada de expertos técnico-científicos como de la ciudadanía en general. Desde los años setenta la experiencia internacional en materia de riesgo ha observado reiteradamente la gran brecha que existe entre la percepción del riesgo del ciudadano común con respecto a la cuantificada con respaldo científico (Gowda, 1999; Tesh, 1999; Slovic, 1999; Slovic, 1987; Viscusi, et. al., 1997; Langford, et. al. 1999). Por ejemplo, en la unión norteamericana los ciudadanos perciben un riesgo mayor que el verdadero calculado para pesticidas y plantas de energía nuclear (Tesh, 1999). Es por esto que para optimizar los recursos limitados de una nación y atender reales necesidades de reducción de riesgos se debe equilibrar la participación ciudadana por las distintas subpoblaciones que conforman la sociedad, debido a la presión social que la población ejerce en las autoridades locales y estatales con base en la percepción del riesgo para la determinación del riesgo aceptable (Tech, 1999; Gowda, 1999). En EEUU se critica el mayor recurso dedicado a la compensación de riesgos "visibles" que a riesgos que en realidad "salven" más vidas, algunas veces como consecuencia de la cobertura de los medios de comunicación (Gowda, 1999).

Por otro lado, es importante considerar la percepción del riesgo de la nación y no "importarla" de modelos extranjeros, debido a la diferencia de percepción del riesgo entre naciones o culturas (Bian y Keller, 1999). Del mismo modo se debe considerar los costos que involucran la reducción de riesgos para que se alcance el nivel aceptable de acuerdo con las necesidades de la sociedad (Gowda, 1999). Un ejemplo claro es el

sacrificio histórico que la unión norteamericana realizó: por más de un siglo algunos mineros de carbón de origen indígena con sus familias y comunidades estuvieron expuestos a enormes riesgos para que el resto del país disfrutara los beneficios de una sociedad industrializada, pero ahora ellos tienen minas más seguras, compensación por "pulmón negro", reclamo a la mina y otros programas.

La EPA con la finalidad de determinar las prioridades ambientales realizó un estudio técnico con base en riesgo de 31 problemas ambientales en EEUU. Para los especialistas de la EPA, los derrames de hidrocarburos y la contaminación de la fuente de agua potable se percibieron como medio o bajo, mientras que para los ciudadanos estadounidenses se percibieron como término medio (moderado), en especial por daños en la salud humana. Sin embargo la EPA ha realizado grandes esfuerzos para el saneamiento de sitios contaminados brindando una de las más altas tasas esfuerzo/riesgo (alto esfuerzo y mediano riesgo) para este rubro (Cohrssen y Covello, 1989). Otros estudios indican que los ciudadanos estadounidenses perciben estos riesgos como moderado - alto (Slovic, 1999).

Opciones para determinar el riesgo aceptable

Existen dos corrientes para formalizar la decisión del riesgo aceptable. La primera emplea técnicas de **análisis costo-beneficio**, **análisis costo-efectivo** y **análisis de tomas de decisiones**, pero su empleo ha sido muy criticado. Por ejemplo, calcular los valores de algunos beneficios como la salud humana resulta difícil o imposible (¿cuánto pagaría por su salud?) (Cohrssen y Covello, 1989). Otro punto débil en la técnica es que considera que los beneficios los gozarán las mismas personas que cedieron beneficios, lo cual no siempre ocurre (Cohrssen y Covello, 1989). Este nivel se debe basar con criterios de equidad (proteger a las subpoblaciones más sensibles) y no sólo de eficiencia (eficiencia de maximizar beneficios/costo) (Morgan, 2000).

La otra corriente se basa en métodos comparativos con precedentes. Compara el riesgo de la tecnología, actividad o sustancia con los riesgos que las personas están dispuestas a aceptar. Una opción dentro de esta corriente es identificar los niveles de **riesgo anteriormente aceptados** y emplearlo como nivel aceptable; otra es considerar los **peligros naturales** como base de la aceptación, ambas opciones fueron muy criticadas (Cohrssen y Covello, 1989). Una muy reciente propuesta basada en **términos de equidad** (que incluye a *toda* la población) propone que se debe abatir cualquier riesgo en el que un sólo individuo este expuesto a un riesgo mayor a "uno en 35 000" valor aproximado al riesgo que enfrenta un estadounidense de morir en un lodazal o tornado (Morgan, 2000). Sin embargo la opción, actualmente, más empleada

es la “**De Minimis**”²: el riesgo a un nivel tan bajo que sea usualmente ignorado. Esta se basa en considerar un riesgo que a escala social sea insignificante comparado con los riesgos asociados a las actividades usuales de la población.

Aunque el riesgo fijado a través de “**De Minimis**” es el más empleado, se ha criticado por:

I. El riesgo fijado no considera otros factores, como el riesgo a futuras generaciones o al ecosistema

II. No sólo una probabilidad (“uno en tantos”) define al riesgo. Por ejemplo, para el riesgo de morir es de “uno en un millón”, si la población expuesta es de 100 personas, entonces la percepción del riesgo es muy baja, pero si la población es de 100 000 000, entonces el riesgo se torna más significativo.

III. Por no considerar riesgos acumulativos. Por ejemplo, imagine que un nuevo peligro presenta un riesgo de “uno en un millón” por una vida de 70 años, si le adicionamos un nuevo riesgo de “uno en un millón” cada año, entonces el riesgo total de toda la vida será aproximadamente “1 en 29000”!

IV. El nivel está fijado con riesgos aceptables actuales que pueden cambiar en un futuro.

² El término *De Minimis* se deriva de la doctrina legal “de minimis non curat lex” “la ley no se interesa en materias triviales” (Cohrssen y Covello, 1989).

Referencias

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H. y Petty, R. 1897. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrogeological settings. US EPA Report 600/2-85/018
- Bian, W-Q y Keller, L. R. 1999. Chinese and Americans agree on what is fair, but disagree on what is best in social decisions affecting health and safety risks. *Risk Analysis*. 19 (3): 439 – 452
- California Comparative Risk Project Report. 1997 en Regional and State Planning Division <http://www.epa.gov/opperspd/futures>
- Cohrssen, J. J. y Cello, . T. 1989. Risk Analysis. U.S. Council on Environmental Quality, Executive Office of the President.
- EPA, 1999. Environmental Protection Agency. Risk-Based Decision-Making. National Training Initiative. 26 de Febrero 1999. En <http://www.epa.gov/swerust1/rbdm/train.htm>
- Gowda, M. V. R. 1999. Heuristics, biases, and the regulation of risk. *Policy Sciences*. 32: 59 – 78
- Langford, I. H., Marris, C. McDonald, A-L., Goldstein, H., Rashbash, J. y O'Riordan, T. 1999. *Risk Analysis*. 19 (4): 675 –683
- Morgan, M. G. 2000. Risk Management should be about efficiency and equity. *Environmental Science and Technology*. 34(1):32A-34A
- National Research Council. 1993. Groundwater vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty. National Academy Press, Washington, D C. USA citado por Lynch, S.D., Reynders, A.G. y Schulze, R E. 1994. Preparing input data for a national-scale groundwater vulnerability map of Southern Africa, *Water S.A* 20. 239-246
- National Water-Quality Assessment Program-NAWQA. 1999. Improvements to the DRASTIC Ground-Water Vulnerability Mapping Method. U.S. Department of the Interior y U.S. Geological Survey. USGS Fact Sheet FS-066-99. Marzo 1999.
- Office of pollution prevention and toxics. 2000 en <http://www.epa.gov/opptintr/index.html>
- Quigley, J. T. 1995. Predicted Benefits of Risk-Based Corrective Action. Groundwater Service, Inc. GSI No. 1662.
- Secunda, S , Collin, M. L., Melloul, A. J. 1998 Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. *Journal of Environmental Management*. 54 (1). 39-57
- Slovic, P. 1987. Perception of risk. *Science*. 236: 280 –285
- Slovic, P. 1999. Trust, emotion, sex, politics, and Science: Surveying the Risk – Assessment Battlefield. *Risk Analysis*. 19(4): 689 - 701
- Society for Risk Analysis. 1999 en <http://www.sra.org>
- Software for Environmental Awareness, Great Lakes National Program Office. 1997 en <http://www.epa.gov/glnpo/software.html>.
- Suter, S. 1993. Ecological risk assessment. Lewis Publishers. Michigan
- Tesh, S. 1999. Citizen experts in environmental risk. *Policy Science*. 32: 39 – 58
- Viscusi, W. K. , Hakes, J. K. y Carlin, A. 1997 Measures of mortality risks. *Journal of Risk and Uncertainty* 14: 213 – 233



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

Division General del Sector

Division General de Industria

CURSOS ABIERTOS

XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS

MODULO II CA 113

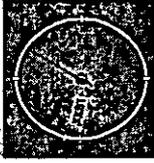
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES ORGÁNICOS

TEMA

**EXPERIENCIA EN MÉXICO PARA DEFINIR CRITERIOS DE LIMPIEZA DE
SUELOS**

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL MUÑOZ MEZA
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

"Experiencia en México
para definir Criterios de
limpieza de suelos"



eXperTos Consultores Ambientales
Ing. Juan Manuel Muñoz

1

Suelos - Residuos Peligrosos

- ◆ No definición oficial.
- ◆ Marco reglamentario incompleto y parcialmente articulado.
- ◆ Definición ingenieril. Parte mas alta del regolito.

2

Para empezar...

- ◆ Suelo, Subsuelo y Agua Subterránea de jurisdicción federal.
- ◆ Disposiciones relacionadas en leyes estatales.
- ◆ Efectos prácticos, primeros 30 cm desde la superficie.

3

Tripié-sin una pata

- ◆ Medio físico: agua, aire y suelo.
- ◆ Reglamentación en agua, atmósfera, impacto ambiental, riesgo, RESPEL.
- ◆ Suelo... no NOM's, ni reglamento vigente..., solo Criterios.

4

Suelos no Residuos

- ◆ El suelo no es un RESPEL, se gestiona de manera independiente.
- ◆ Origen y definición de un residuo, NOM 052.
- ◆ Mezcla de residuos.

5

Contaminación Antropogénica

- ◆ Materiales y residuos, peligrosos y no.
- ◆ Accidentes en transportación.
- ◆ Manejo inadecuado de materiales y RESPEL.
- ◆ Tomas clandestinas, Sitios abandonados.

6

Además...

- ◆ Erosión.
- ◆ Desertificación.
- ◆ Salinización.



- ◆ Pérdida de la capacidad productiva de los suelos e invalidación para su uso.

7

Sedesol 1992

- ◆ INE y Profepa.
- ◆ INE.- Establecer Normas y criterios para restaurar la calidad del ambiente.
- ◆ Normas que aseguren la conservación o restauración...

8

Respuesta

- ◆ Convenios INE-Universidades.
- ◆ Procedimiento Técnico Administrativo para remediación.
- ◆ Acreditamiento de Tecnologías.
- ◆ Protocolo de Pruebas.

9

Semarnap 1994

- ◆ Profepa.- (Art. 68) Formular programas para la evaluación y restauración de daños ambientales, y sitios contaminados.
- ◆ INE.- (Art. 59) Coadyuvar con Profepa en al determinación de medidas para la atención de Emergencias.

10

Emergencias Ambientales

- ◆ Definiciones.
- ◆ Imponer Medidas Técnicas y de Seguridad.
- ◆ Delegaciones Profepa.- Imponer las Medidas de Seguridad, cuando existan casos de contaminación.

11

Medidas de Seguridad

- ◆ Art. 170 Cuando exista riesgo inminente de desequilibrio ecológico, casos de contaminación...
- ◆ La neutralización o cualquier acción análoga que impida que materiales o residuos generen los efectos...

12

Medidas Profepa 1997

- ◆ Evaluación de daños.
- ◆ Propuesta de Restauración.
- ◆ Investigación del Accidente.
- ◆ Estudio de Riesgo.
- ◆ PPA.

13

En Semarnap

- ◆ Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.- Operativo.
- ◆ Enfoque de resultados, a través de "Criterios Interinos", a nivel operativo y emergente.
- ◆ No acreditamiento, ni certificación.

14

Componentes del proceso

1. Evaluación de Daños.
2. Criterios de muestreo.
3. Propuesta de restauración.
4. Especificaciones de laboratorio.

15

Mas componentes...

4. Criterios Interinos.
 5. Registro y Seguimiento.
 6. Guías específicas.
- ◆ Todos los componentes accesorios.

16

Criterios Interinos

- ◆ Hidrocarburos, Acidos y Bases (Ocho).
- ◆ Usados en pares.
- ◆ Inorgánicos Tóxicos y disolventes (Catorce).

17

Usos de suelo

1. Agrícola, forestal, recreativo, de conservación.
2. Residencial, comercial.
3. Industrial.

18

Procedencia

- ◆ Grupo de Trabajo sobre Restauración de suelos contaminados.
- ◆ 37 reuniones.
- ◆ 1997-2000.
- ◆ Científicos mexicanos.

19

Participantes

- ◆ Universidad Nacional Autónoma de México (FQ, II, IG, PUMA)
- ◆ Instituto Politécnico Nacional.
- ◆ Universidad Autónoma Metropolitana
- ◆ Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
- ◆ Semarnap (INE, CNA, Profepa).
- ◆ Gobierno del Distrito Federal.
- ◆ Colegio de Ingenieros Ambientales de México.

20

Aportaciones del GDT

- ◆ Manual Técnico (Guías).
- ◆ Criterios Interinos 22 sustancias.
- ◆ Dictamen sobre el encapsulamiento con cemento, cal y arena.
- ◆ Métodos inaceptables.
- ◆ Especificaciones de laboratorio.
- ◆ Actualizaciones 1999 y 2000 Guías.

21

Mas aportaciones

- ◆ Criterios de muestreo de suelos.
- ◆ Dictamen sobre tanques enterrados.
- ◆ Clasificación de hidrocarburos.
- ◆ Dictamen sobre el proceso de atadura química.
- ◆ Técnicas demostradas.
- ◆ "Disposiciones y procedimientos para la caracterización y restauración de suelos contaminados".

22

Semarnat 2001

- ◆ Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes.
- ◆ Elaborar una base de información de contaminantes en suelo.
- ◆ Coadyuvar con Profepa en las medidas para la atención de emergencias ambientales y prevención y control de accidentes.

23

DG Manejo Integral de Contaminantes

- ◆ Elaborar programas para la identificación, evaluación y restauración de sitios contaminados por materiales y residuos peligrosos. Artículo 26.
- ◆ Evaluar, dictaminar y resolver sobre la utilización de tecnologías y sustancias para la recuperación de suelos contaminados con dichos materiales y residuos peligrosos.

24

Dirección General del Sector

- ◆ Primario y Recursos Naturales no renovables. Artículo 21.
- ◆ Diseñar y promover instrumentos de fomento y normatividad ambiental respecto de la restauración del suelo, el agua, especialmente los ecosistemas sujetos a protección especial, y sus habitats críticos, y el desarrollo sustentable de las actividades del sector primario.

25

Dirección General de Industria

- ◆ Artículo 22.
- ◆ Diseñar y promover instrumentos de fomento y normatividad ambiental para proteger los recursos naturales y los ecosistemas respecto de la contaminación del suelo y el agua; que generan las actividades del sector industrial.

26

DG de Energía y

- ◆ Actividades Extractivas. Artículo 24.
- ◆ Determinar las causas, elementos y efectos de los problemas ambientales generados por los sectores de energía y actividades extractivas respecto de la prevención, remediación y control de la contaminación generada por dichos sectores.

27

DGEAE Artículo 24

- ◆ Diseñar y promover instrumentos de fomento y normatividad ambiental de la seguridad y la protección ambiental, así como para salvaguardar los recursos naturales y los ecosistemas respecto de la contaminación del suelo, que generan las actividades del sector energía y actividades extractivas.

28

DGEAE Artículo 24

- ◆ Diseñar normas, criterios e instrumentos de fomento que apoyen la adopción de tecnología ambientalmente sustentable en los sectores de energía y actividades extractivas,... La prevención, remediación y control de la contaminación generada por dichos sectores.

29

DG de Federalización

- ◆ y Descentralización de servicios forestales y de suelo. Artículo 29.
- ◆ Integrar y mantener actualizado el inventario en materia de suelos, en coordinación con las autoridades competentes y entidades del sector, así como establecer y operar el sistema de monitoreo de la calidad del suelo.

30

DG Técnica Industrial Profepa

- ◆ Artículo 38.
- ◆ Coordinar acciones de muestreo y análisis de residuos peligrosos y suelos, derivados del programa de inspección y vigilancia en materia industrial.
- ◆ Apoyar a las Delegaciones en la evaluación de la contaminación del suelo.

31

DG Técnica Industrial

- ◆ Definición de las técnicas apropiadas para el análisis de residuos peligrosos, de suelos..., de conformidad con la normatividad jurídica aplicable.
- ◆ Definir lineamientos técnicos para la custodia de muestras de suelo y residuos peligrosos.

32

DG Técnica Industrial

- ◆ Promover la realización de la intercalibración de laboratorios acreditados, dedicados al análisis de residuos peligrosos, suelos y materiales peligrosos.
- ◆ DG Inspección de Fuentes de contaminación. Artículo 79. Vigilar el cumplimiento de las disposiciones jurídicas en materia de restauración de suelos.

33

DG de Impacto Ambiental

- ◆ Artículo 78.
- ◆ Participar en aplicación de las medidas necesarias para atender las contingencias ambientales.

34

Para completar

- ◆ Anteproyecto de Reglamento.
- ◆ Materiales Peligrosos, Residuos Peligrosos, Actividades Riesgosas y,
- ◆ Restauración de suelos contaminados.

35

Criterios de selección

- ◆ A "niveles de fondo".
- ◆ A límites de detección.
- ◆ A niveles no detectables.
- ◆ BADT.

36

Criterios de selección (2)

- ◆ Registros previos ROD, RDR.
- ◆ A estándares, normas o lineamientos existentes.
- ◆ A través de Evaluaciones de Riesgo a la Salud o al Ambiente.

37

Consideraciones generales

- ◆ Referencia genéricas.
- ◆ Resolución caso por caso.
- ◆ Muy alto, inalcanzable.
- ◆ Muy bajo, no protección.

38

Consideraciones

- ◆ Mismo método de laboratorio antes, durante y después.
- ◆ Muestra control (autoridades).
- ◆ Nivel de fondo.

39

Antecedentes

- ◆ Ausencia de normatividad nacional.
- ◆ Uso de referencias internacionales.
- ◆ No reglamento o procedimiento para evaluación de riesgos.

40

Prioridades

- ◆ Mas del 90% de eventos reportados involucraban HC y ácidos.
- ◆ Inorgánicos tóxicos en sitios abandonados.

41

Tipo 1

- ◆ Un solo contaminante.
- ◆ Pequeños en tamaño.
- ◆ Muchos en número.
- ◆ Responsable identificado.

42

Características

- ◆ Seguro disponible.
- ◆ Reciente.
- ◆ Materiales peligrosos.
- ◆ Accidentes en transportación.

43

Tipo 2

- ◆ Mezcla de varios contaminantes.
- ◆ Grandes extensiones.
- ◆ Pequeños en número.
- ◆ Sin responsable identificado.

44

Características

- ◆ Sin seguro disponible.
- ◆ Antiguos.
- ◆ Residuos peligrosos.
- ◆ Casi siempre abandonados.

45

Criterios interinos gasolina

Uso de suelo/ Contaminante	Agricultura, forestal, etc (ppm)	Residencial, comercial (ppm)	Industrial (ppm)
Gasolina	200	200	500
Benceno	20	20	50
Tolueno	40	40	100
Xilenos	40	40	100

46

Criterios interinos diesel

Diesel	1,000	1,000	1,000
Benzopireno*	0.08	0.08	0.80
Benzo(a) antraceno*	0.80	0.80	8.0
Benzo(b) Fluoranteno*	0.80	0.80	8.0
Benzo(K) Fluoranteno*	8.00	8.00	80.0
Criseno*	80.0	80.0	800.0

47

Criterios Interinos combustóleo

Residuos acetosos, Combustóleo	1,000	1,000	2,000
Benzopireno*	0.08	0.08	0.75
Benzo(a) antraceno*	0.80	0.80	7.5
Benzo(b) Fluoranteno*	0.80	0.80	7.5
Benzo(K) Fluoranteno*	8.0	8.0	75.0
Criseno*	80.0	80.0	750

48

Criterios ácidos y bases

Contaminante	Unidades de pH
Ácidos (ácido sulfúrico)	pH del suelo mayor o igual a 4
Bases (sosa)	pH del suelo menor o igual a 10

49

Espec's de laboratorio

Contaminante	Método
Hidrocarburos base diesel	EPA 8015 B
Hidrocarburos base gasolina	EPA 8015 B
Hidrocarburos recuperables de petróleo	EPA 418.1 ASTM 3921
Benzopireno	EPA 8310, 8100 u 8270 (poliaromáticos)
Benceno	EPA 8240 u 8260 C (monoaromáticos y otros orgánicos volátiles)

50

Segundo Grupo

Uso de suelo/ Contaminante	Residencial (ppm)	Agrícola (ppm)	Industrial (ppm)
Plomo total	200	100	1,500
Arsénico total	20	20	40
Bario total	750	150	1,500
Cadmio total	20	20	100

51

Continuación...

Mercurio total	20	20	100
Niquel total	150	75	700
Selenio total	20	20	100
Zinc total	800	300	1,500
Cromo total	375	75	750

52

Últimos...

Cianuro	50	5	500
Acrlamida	0.2	0.02	2.4
Acrlonitrilo	1.4	0.02	4.8
Plomo orgánico	0.1	0.5	1.0
HC monoaromáticos totales (arominas)	40	40	100

53

Espec's laboratorio

Contaminante	Método
Plomo total	EPA 7420
Arsénico total	EPA 7061
Bario total	EPA 7080
Cadmio total	EPA 7130
Mercurio total	EPA 7471
Niquel total	EPA 7520
Selenio total	EPA 7741

54

Continuación...

Zinc total	EPA 7950
Cromo total	EPA 7190
Cianuros	EPA 9010a
Acrilamida	EPA 8260 C
Acronitrilo	EPA 8260 C
HC monoaromáticos totales	EPA 8260 C

55

Definición de Criterios

- ◆ Compuestos químicos indicadores de toxicidad, efecto en la salud.
- ◆ [HC] como parámetro de control.
- ◆ Aplicación en función de uso de suelo.

56

Definición...

- ◆ Concentraciones reales alcanzadas para el caso de México.
- ◆ pH: Parámetro de control para restaurar suelos contaminados con ácidos o álcalis.

57

Marco internacional de referencia

- ◆ Normatividad oficial en EEUU.
- ◆ Parámetro indicador/Método Analítico.
- ◆ Intervalos amplios de concentración.

58

Marco de referencia

- ◆ Producto de Evaluaciones de riesgo a la salud.
- ◆ Compuestos cancerígenos y no cancerígenos.
- ◆ Amplia variabilidad.

59

Entrada en aplicación

- ◆ Primer Grupo III reunión GDT, 15 de abril de 1998.
- ◆ Segundo Grupo XXII reunión GDT, 5 de noviembre de 1999.

60

Segundo grupo

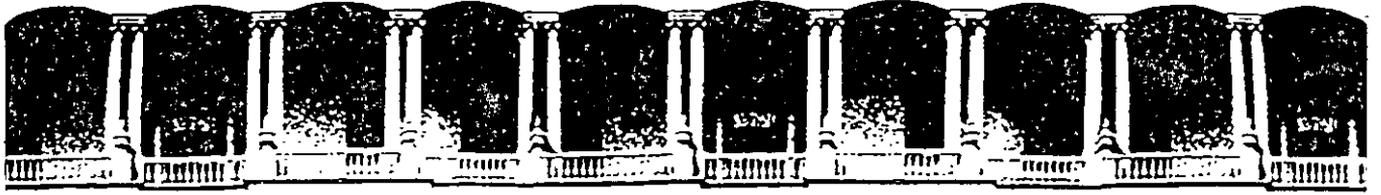
- ◆ Aplicados por pares (1er Grupo).
- ◆ Considerando análisis inicial en evaluación.
- ◆ A niveles de fondo (2º Grupo).

61

Conclusión

- ◆ Nuevas autoridades, nuevas disposiciones, misma Ley.
- ◆ El que contamina paga.
- ◆ La atención oportuna de un suelo contaminado puede hacer la diferencia.
- ◆ CI's Práctica común. Licitaciones Pemex, CFE, ASA, etc.

62



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

BIORREMEDIACIÓN Y OTRAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

BIORREMEDIACIÓN

**Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM**

BIORREMEDIACIÓN

**Técnicas para el saneamiento
de suelos y cuerpos de agua
contaminados
mediante el uso de
microorganismos vivos o sus enzimas que
sean capaces de transformar o degradar
contaminantes a compuestos inocuos**

TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN

Características

- √ **económicas: más baratas que otras tecnologías**
- √ **efectivas: los contaminantes son realmente transformados**
- √ **versátiles: el proceso se adapta a las condiciones del sitio según sus requerimientos**
- √ **seguras: amables con el ambiente**

LA BIORREMEDIACIÓN FUNCIONA PARA:

**COMPUESTOS ORGÁNICOS EN SUELOS Y CUERPOS DE AGUA
BIODEGRADABLES O BIOTRANSFORMABLES**

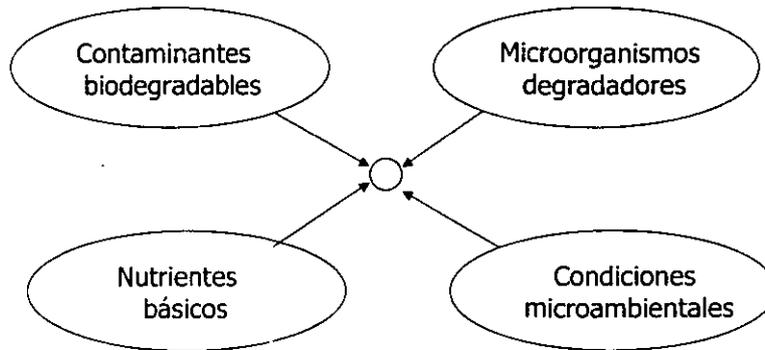
**COMPUESTOS INORGÁNICOS EN CUERPOS DE AGUA
BIOACUMULABLES O BIOTRANSFORMABLES**

**COMPUESTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN SUELOS
BIOTRANSFORMABLES**

NO FUNCIONA PARA:

**COMPUESTOS INORGÁNICOS RECALCITANTES
(son no-biodegradables)**

Para que ocurra la biorremediación se requiere



BIODEGRADACIÓN

CONTAMINANTES + BACTERIAS + NUTRIENTES

condiciones favorables
(pH, oxígeno, humedad)

BIÓXIDO DE CARBONO

BIOTRANSFORMACIÓN

CONTAMINANTES + BACTERIAS + NUTRIENTES



condiciones favorables
(pH, oxígeno, humedad)

COMPUESTOS QUÍMICAMENTE DIFERENTES

BIOACUMULACIÓN

CONTAMINANTES



células

**TIPOS DE MICROORGANISMOS INVOLUCRADOS
EN LA BIODEGRADACIÓN O BIOTRANSFORMACIÓN
DE CONTAMINANTES**

- **Bacterias**
 - Hongos
 - Levaduras
- Actinomicetos
 - Algas

ATRIBUTOS DE LAS BACTERIAS

- fueron los primeros microorganismos que aparecieron en la tierra
- su velocidad de crecimiento es mayor que la de otros microorganismos
- poseen alta frecuencia de mutación
- realizan con facilidad la transferencia de material genético (plásmidos, transposones)
- tienen la más amplia versatilidad bioquímica

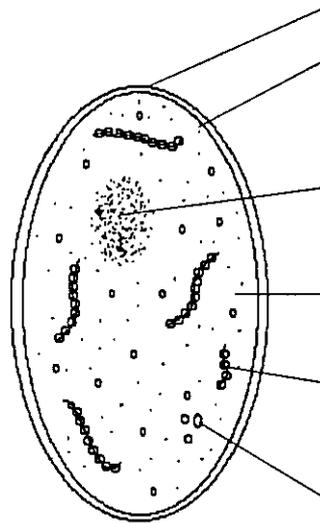
**TIPOS DE MICROORGANISMOS EN FUNCIÓN DE LA
TEMPERATURA**

	TEMPERATURA °C	
	INTERVALO	ÓPTIMO
psicrófilos	-2 a 30	12 a 18
mesófilos	20 a 45	25 a 40
termófilos	45 a 75	55 a 65

**INTERVALOS DE pH PARA EL CRECIMIENTO DE
MICROORGANISMOS**

	mínimo	óptimo	máximo
bacterias	3-5	6.5-7.5	8-10
levaduras	2-3	4.5-5.5	7-8
hongos	1-2	4.5-5.5	7-8

ESTRUCTURA DE UNA BACTERIA



Pared celular

Membrana celular

transporte de nutrientes y productos, fosforilación y síntesis de lípidos

Material genético

Replicación del DNA y transcripción

Citosol

actividades metabólicas

Ribosomas

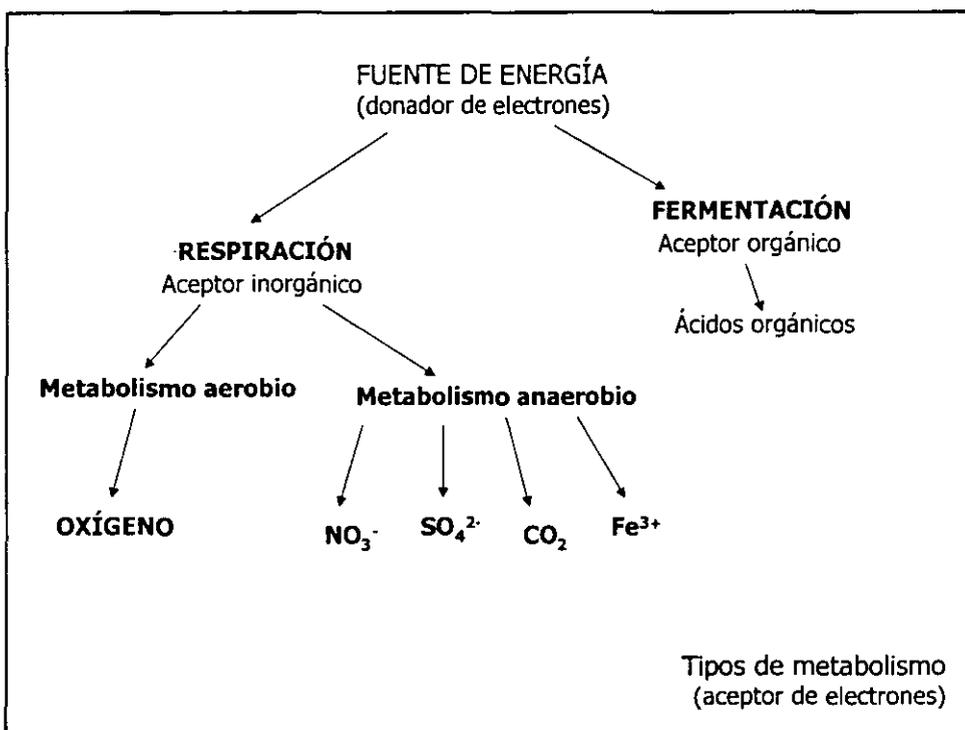
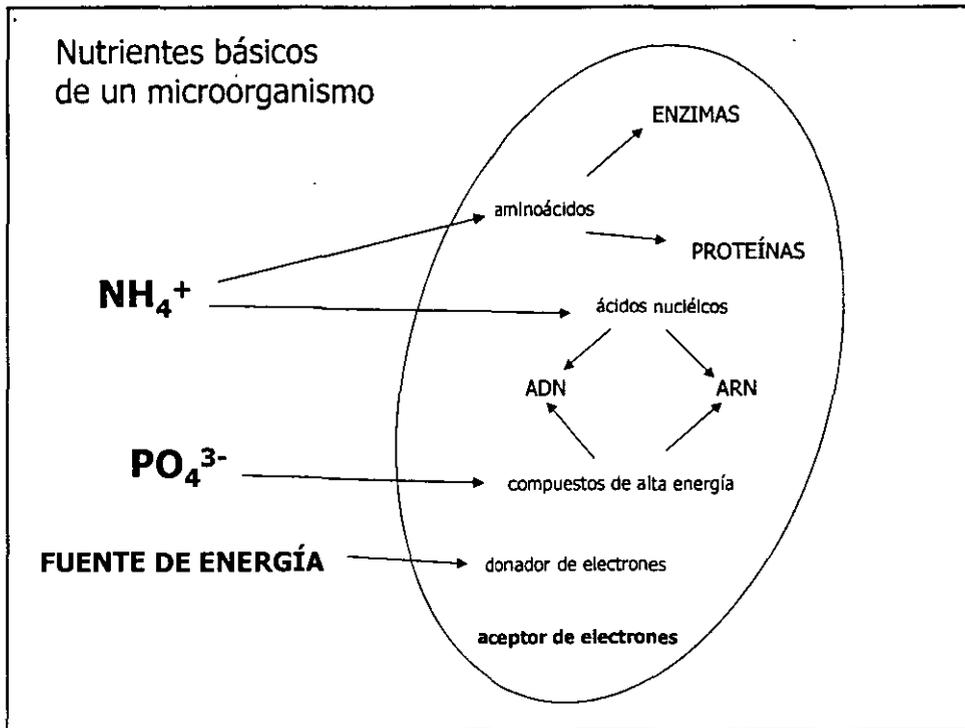
síntesis de proteínas

Gránulos de reserva

nutrientes de reserva

CARACTERÍSTICAS MICROBIANAS DEL SUELO

- baja densidad microbiana (10^6 - 10^7 bacterias/g suelo)
- microorganismos adheridos a las partículas del suelo
- microorganismos aclimatados a una gran variedad de compuestos orgánicos para satisfacer sus requerimientos nutricionales



EFACTORES DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN EL SUELO

pH

temperatura

presencia de tóxicos

disponibilidad de oxígeno

biodisponibilidad de los contaminantes

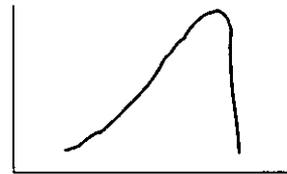
biodegradabilidad de los contaminantes

contenido de agua disponible

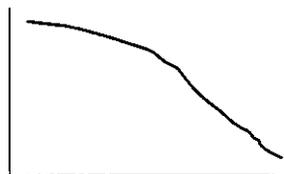
RESPUESTA SOBRE LA ACTIVIDAD MICROBIANA



pH



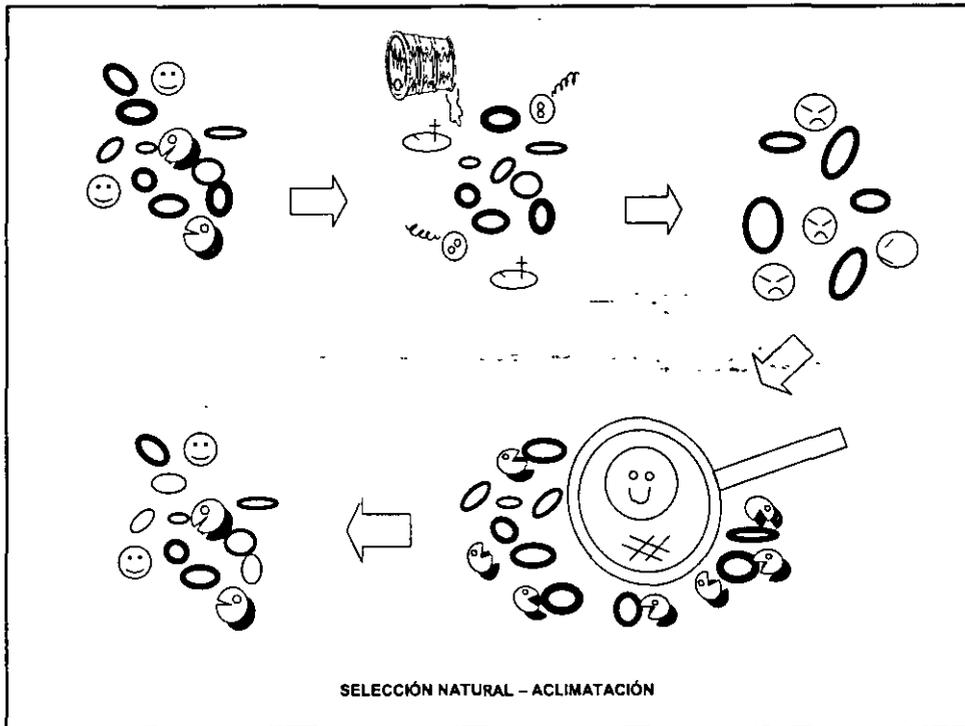
Temperatura



Inhibidores



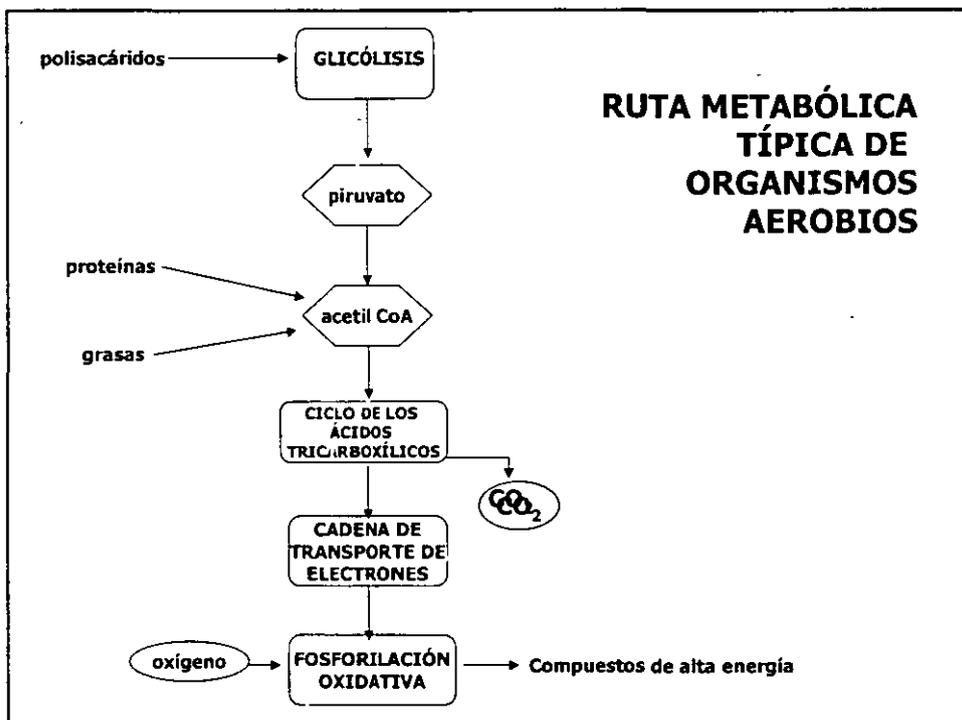
Agua disponible

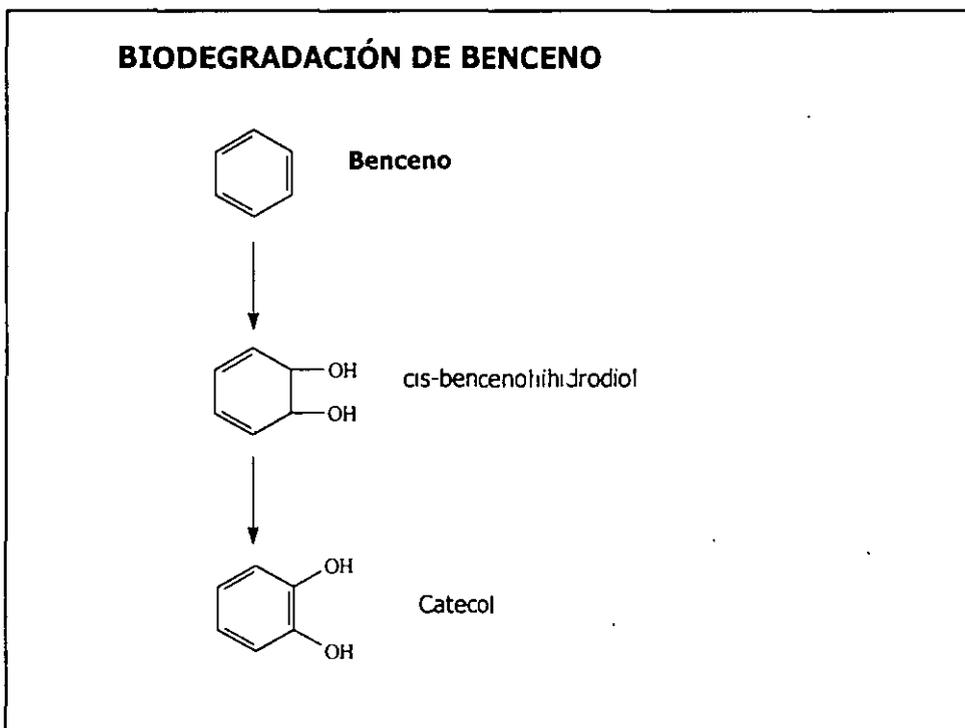
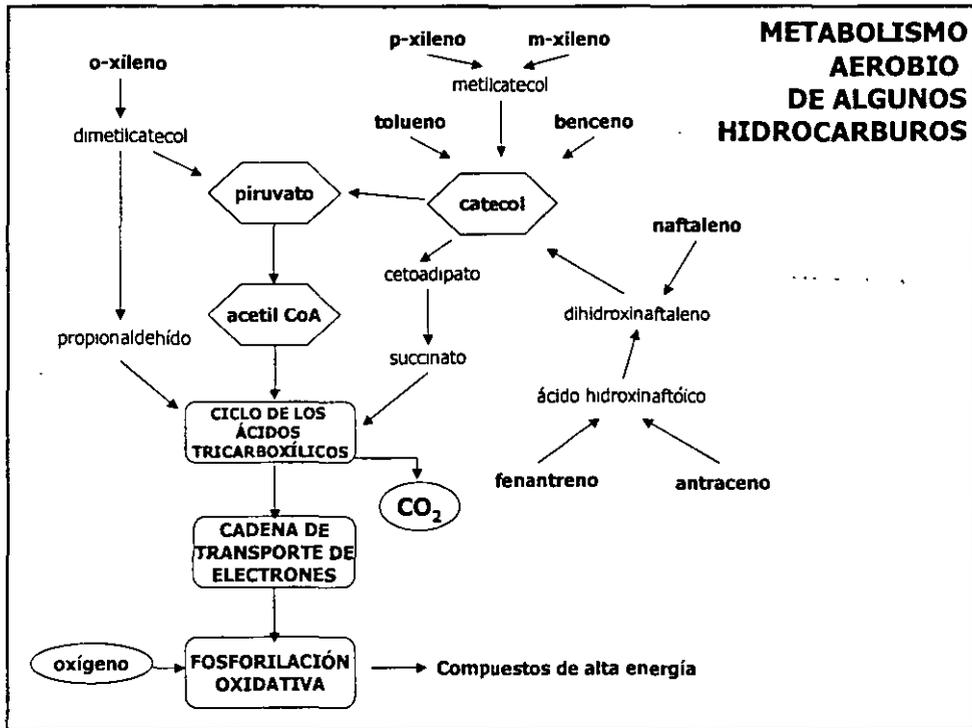


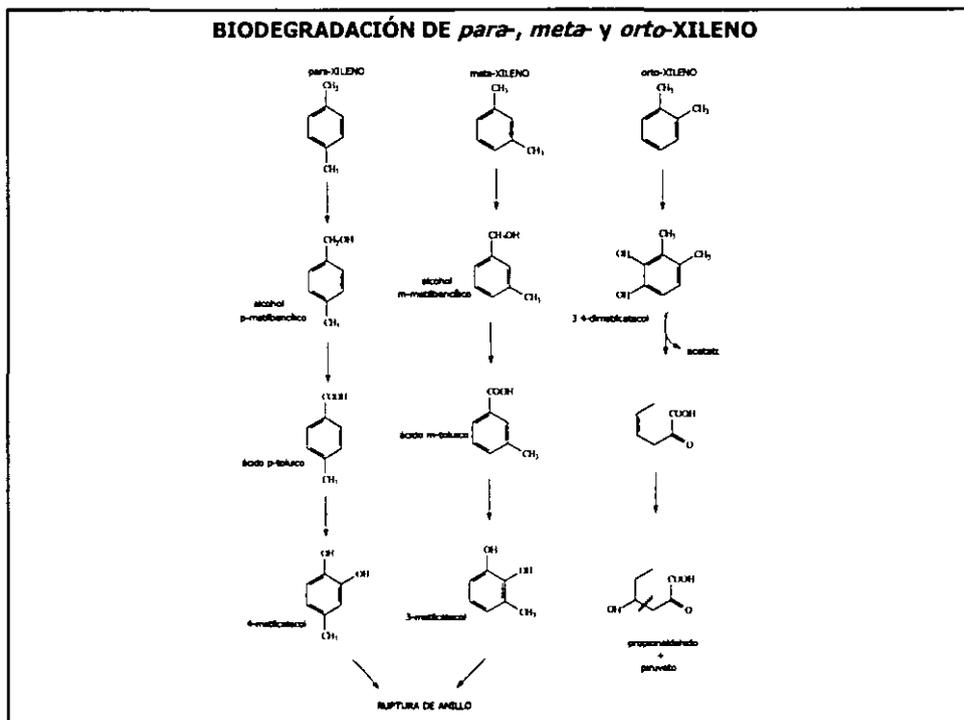
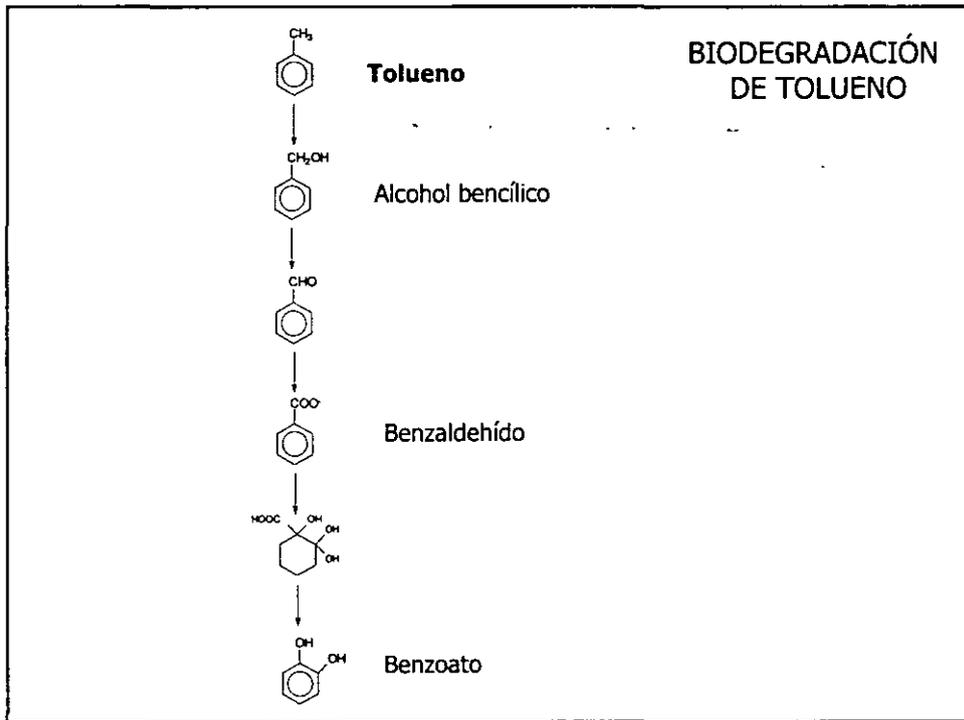
DESVENTAJAS DE LA BIORREMEDIACIÓN

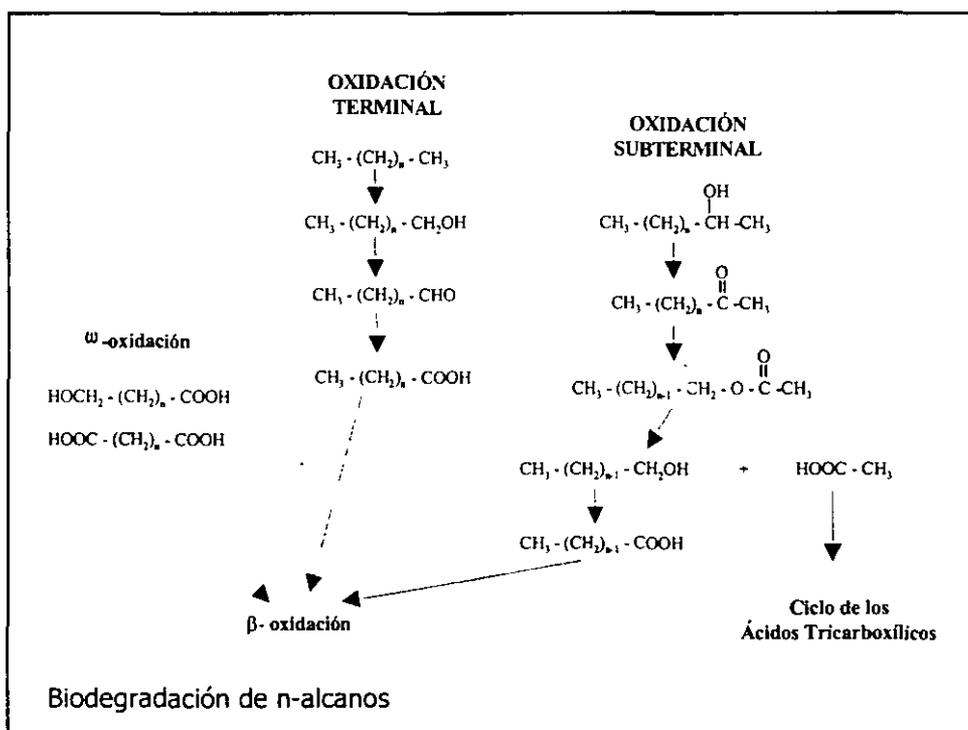
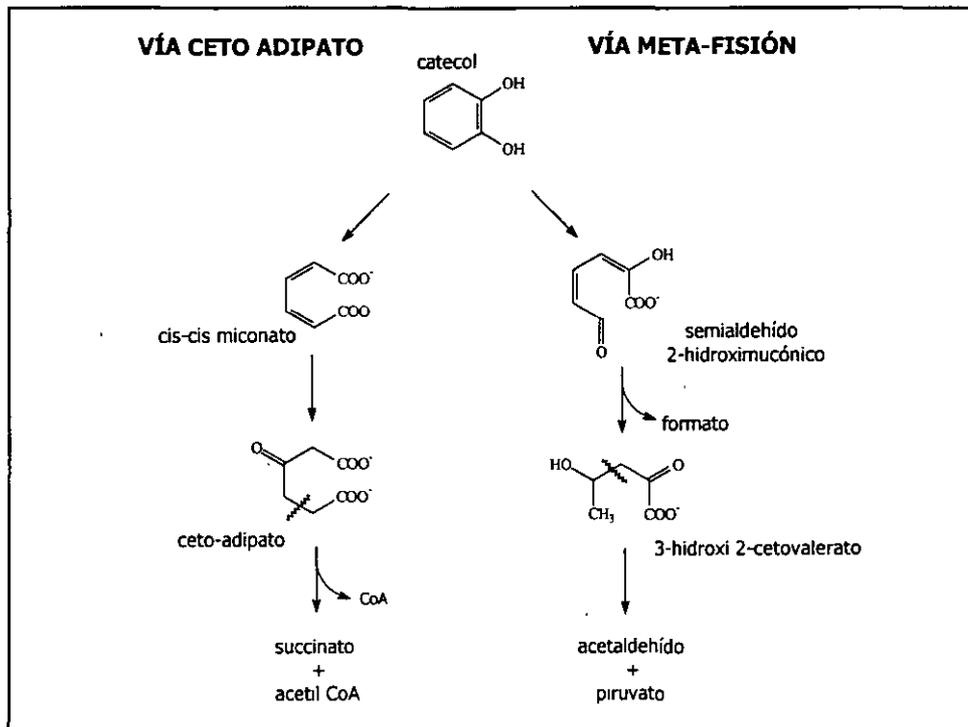
- largos tiempos de tratamiento respecto a otras tecnologías
- no aplica cuando se tienen:
 - √ materiales geológicos impermeables
 - √ presencia de metales pesados inhibidores de la actividad microbiana
 - √ compuestos orgánicos altamente halogenados

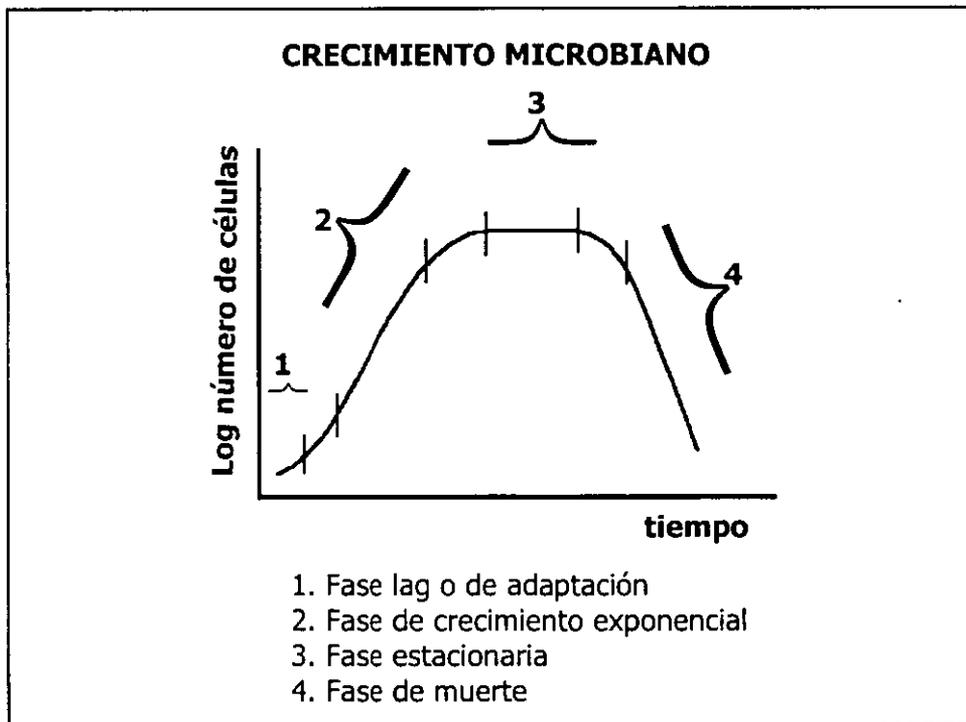
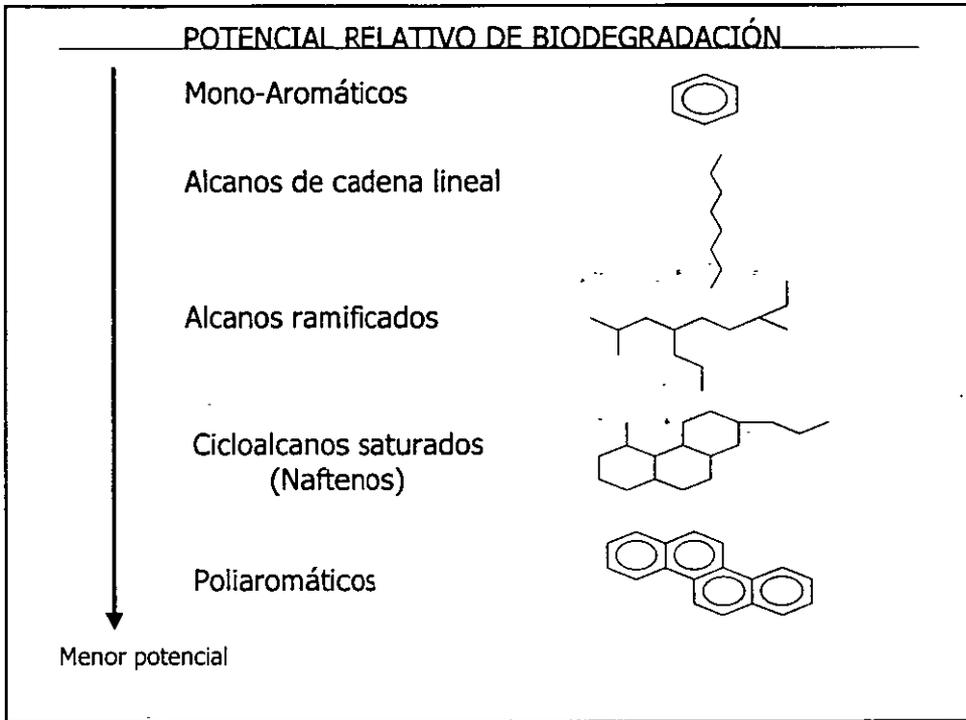
Rutas de degradación de hidrocarburos











Desarrollo de un proyecto de biorremediación

DESARROLLO DE UN PROYECTO DE BIORREMEDIACIÓN

CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

- √ entorno
- √ geohidrología
- √ química de contaminantes
- √ fisicoquímica del suelo y subsuelo
- √ microbiología del suelo y subsuelo



ESTUDIOS DE BIOTRATABILIDAD



ESCALAMIENTO AL CAMPO

CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO

macroambiente que rodea a la zona contaminada:

- √ temperatura
- √ forma de acceso
- √ actividades típicas del lugar
- √ manejo del proceso a escala real

CARACTERIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA

la zona contaminada conforma un biorreactor:

- √ tamaño
- √ forma
- √ heterogeneidad
- √ dirección preferencial del flujo

CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES

características del "alimento" para los microorganismos:

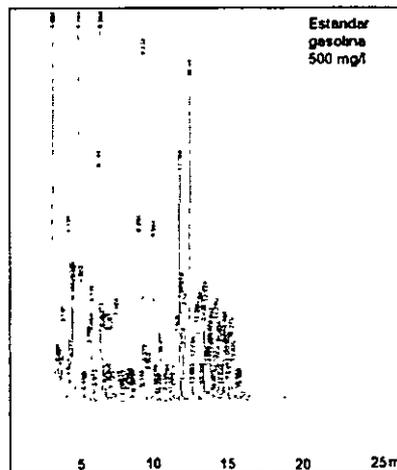
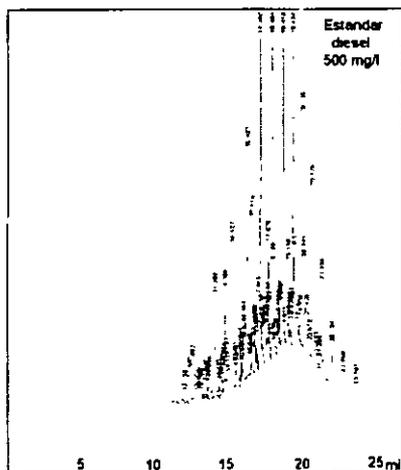
√ tipo

√ diversidad

√ concentración

√ posibles inhibidores de la actividad microbiana

Perfiles cromatográficos de diesel y gasolina EPA 8015 B



CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

características del microambiente del suelo o subsuelo

√ pH

√ nutrientes naturales

√ interacción con los contaminantes

√ tipo de matriz

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA*

presencia y características de los
microorganismos vivos nativos del suelo o subsuelo:

√ heterótrofos (utilizan materia orgánica)

√ tolerantes (soportan presencia del contaminante)

√ degradadores (aprovechan el contaminante)

√ con genes catabólicos (*xylE*, *ndoB*, *alkB*)

*puede aplicarse también a inóculos y preparaciones comerciales

En un sitio contaminado se tienen



BIORREMEDIACIÓN

**ATENUACIÓN
NATURAL**

**PRODUCCIÓN
DE INÓCULOS
(Bioincremento)**

**FERTILIZACIÓN
(Bioestimulación)**

**PRODUCTOS
COMERCIALES
(Bioincremento)**

PRODUCCIÓN DE INÓCULOS

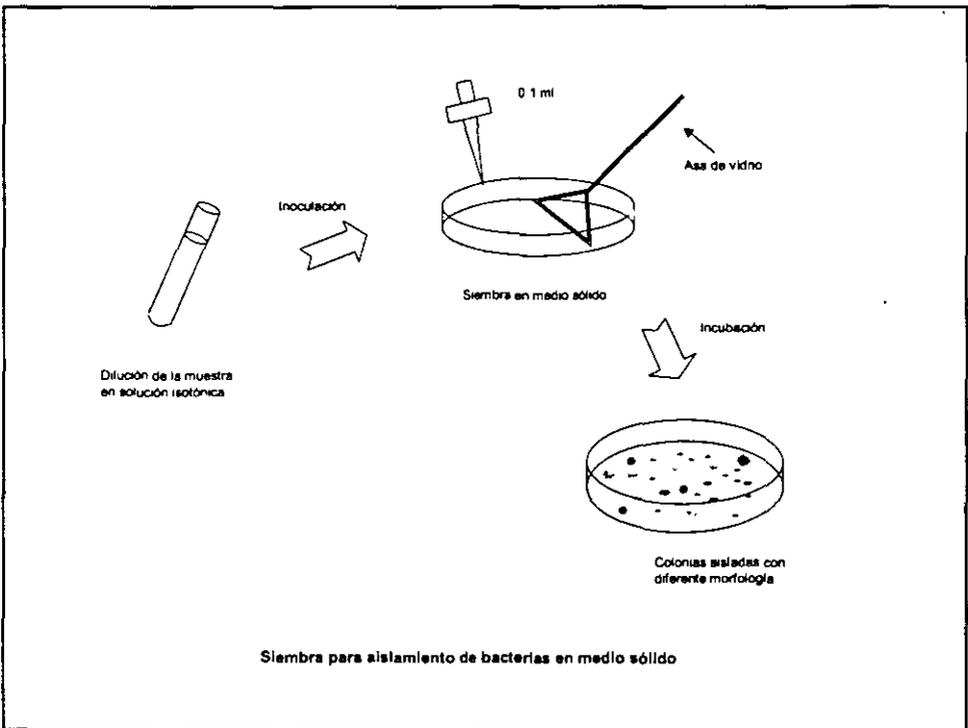
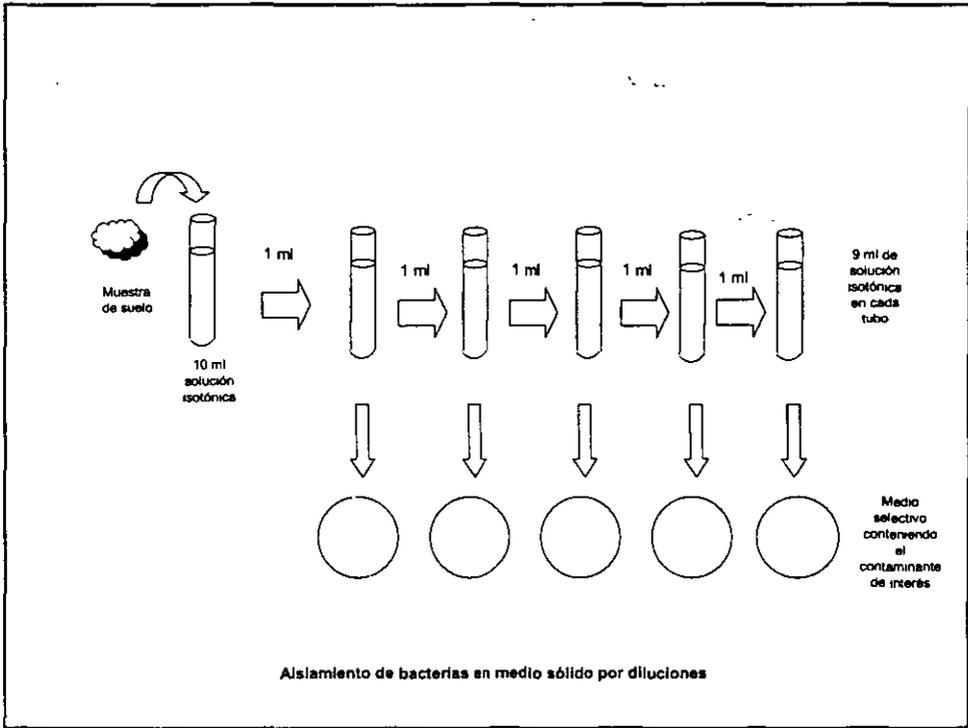
Aislamiento y selección de bacterias degradadoras

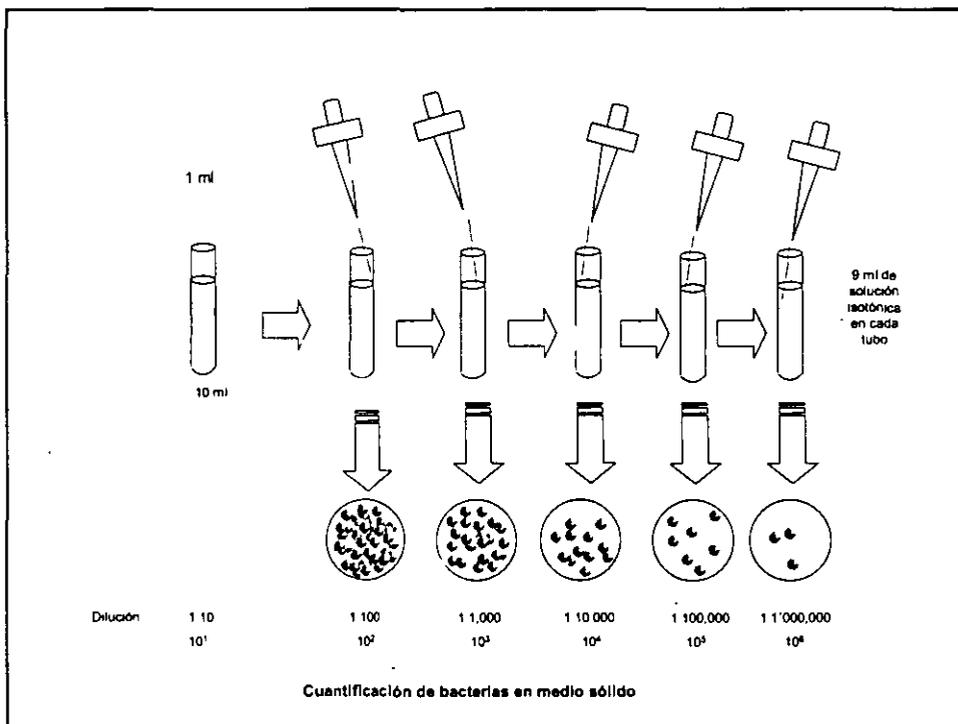
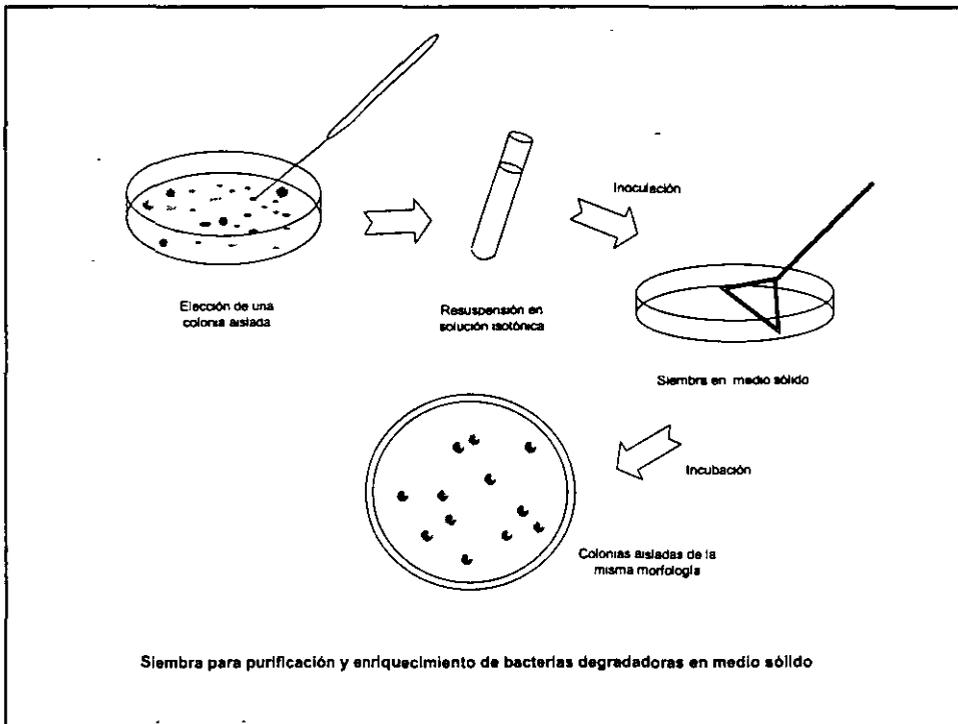
Fuente inicial de obtención de microorganismos degradadores

Suelo rico en nutrientes y contaminado tiempo atrás

Un sitio de estudio

Parámetro	Concentración
pH	8.38
materia orgánica (%)	18.54
fosfatos (mg/kg)	0.33
nitrógeno total (mg/kg)	457.71
nitrógeno amoniacal (mg/kg)	372.06
bacterias degradadoras de diesel industrial (ufc/g de suelo)	3.49 x 10⁴





CONDICIONES PARA LA BIORREMEDIACIÓN

- ✓ Adición de fertilizantes (NH_4^+ , PO_4^{3-})
 - nitrógeno total: 2000 mg/kg
 - fosfatos: 12 mg/kg
 - o relación C : N- NH_4^+ : P- PO_4^{3-}
 - 100 : 10 : 1

- ✓ Humedad constante: 25 – 50 %
(en función del tipo de suelo)

DENOMINACIÓN DE SUELOS SEGÚN SU CONTENIDO DE NUTRIENTES

NITRÓGENO %	NITRÓGENO mg/kg	FOSFATOS mg/kg	MATERIA ORGÁNICA %	DENOMINACIÓN DEL SUELO
< 0.032	< 320		0 – 0.2	Extremadamente pobre
0.032 – 0.063	320 – 630	< 4.0	0.8 – 2.0	Pobre
0.064 – 0.095	640 – 950		2.0 – 4.0	Regular
0.096 – 0.126	960 – 1,260	4.0 – 6.9	4.0 – 8.0	Medianamente rico
0.127 – 0.158	1,270 – 1,580	7.0 – 12.5	8.0 – 15.0	Rico
0.159 – 0.221	1,590 – 2,210		15.0 – 30.0	Muy rico
> 0.221	> 2,210	> 12.5	> 30.0	Extremadamente rico

Adaptado de: Tavera, 1985; Aguilera, 1989; Vázquez, 1993.

PRODUCTOS COMERCIALES

- concentrados bacterianos
- concentrados enzimáticos
- fertilizantes
- agentes tensoactivos (surfactantes)
- "oxigenadores"

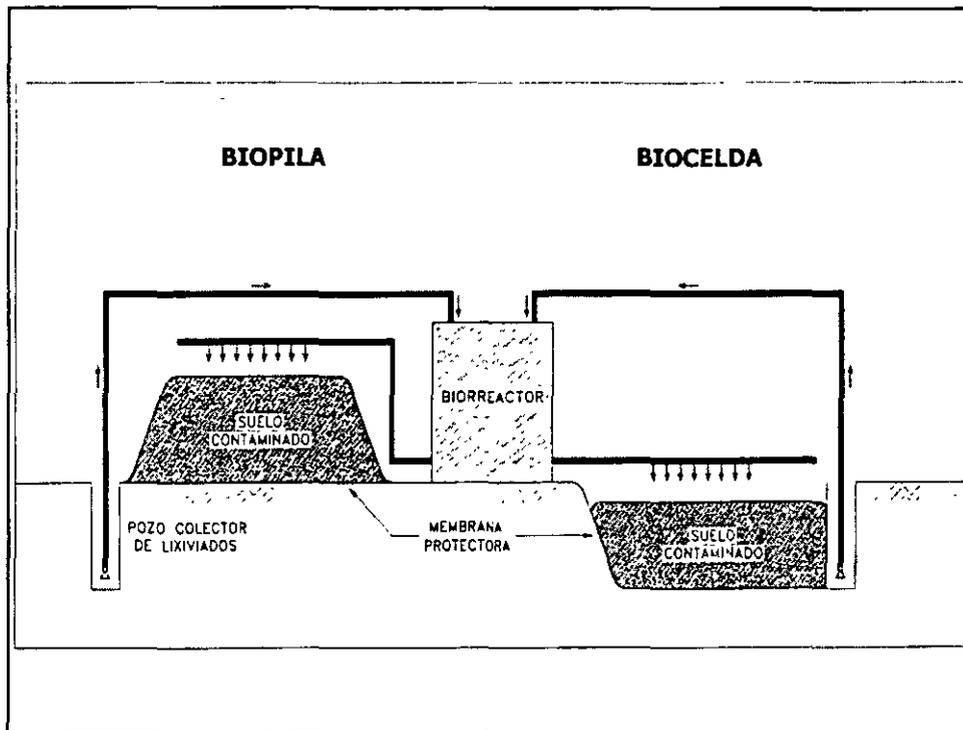
TIPOS DE BIORREACTORES

BIOPILAS

BIOCELDAS

**BIOCULTIVO
(Land-farming)**

**AGITADOS
Y
AEREADOS**



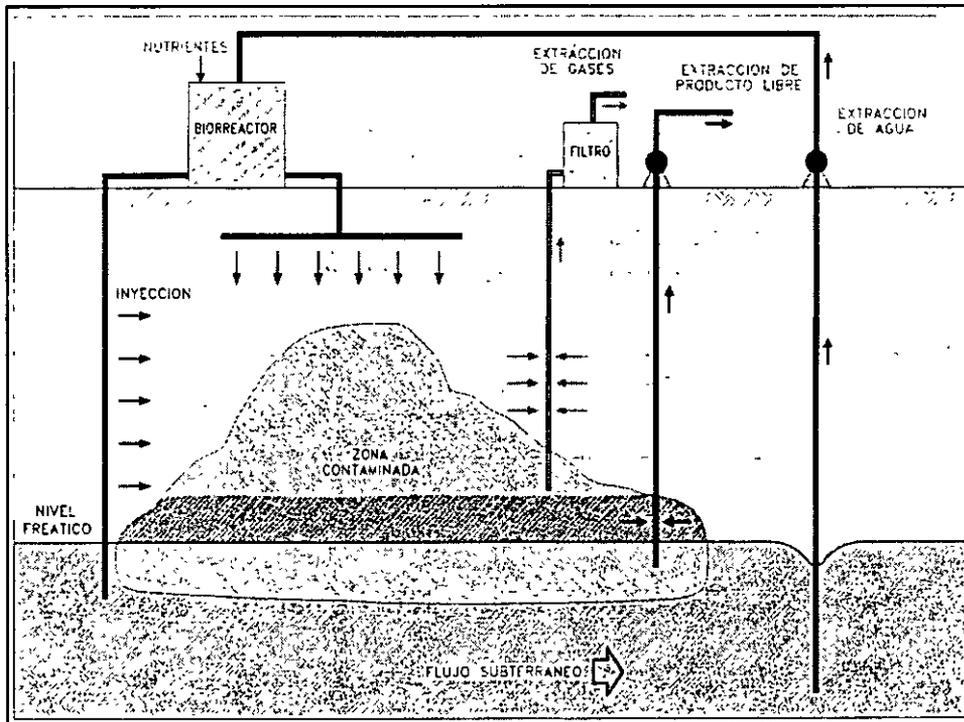
ADICIÓN DE COMPOSTA

Origen de la composta

- de basura orgánica doméstica
- de hojarasca

Ventajas:

- ✓ contiene nutrientes naturales
- ✓ mejora la textura del suelo
- ✓ permite un mejor intercambio de gases
- ✓ contiene flora microbiana nativa
- ✓ permite la actividad microbiana



ATENUACIÓN NATURAL

ATENUACIÓN NATURAL

**DISMINUCIÓN NATURAL DE LA
CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES
EN SUELO Y SUBSUELO**



RIESGO A LA SALUD

ATENUACIÓN NATURAL

BIODEGRADACIÓN QUE REALIZA LA
FLORA NATIVA
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN EN CASCADA
DE LOS DIFERENTES
ACEPTORES DE ELECTRONES DISPONIBLES:

- ✓ **Oxígeno**
- ✓ **Nitratos**
- ✓ **Sulfatos**
- ✓ **Ion férrico**
- ✓ **Bióxido de carbono**

SEGUIMIENTO DE LA ATENUACIÓN NATURAL

- √ Pérdida documentada de la concentración de contaminantes
- √ Registros de campo para demostrar que realmente están ocurriendo procesos naturales
- √ Ensayos en el laboratorio para confirmar la existencia de una actividad biodegradadora



Cada monitoreo es una re-caracterización

ATENUACIÓN NATURAL: Monitoreo periódico a largo plazo

√ EN CAMPO

- perforaciones discretas a la profundidad de la contaminación
- obtención de muestras inalteradas
- medición *in situ* de gases:
(oxígeno, bióxido de carbono, nitrógeno, metano)

√ EN EL LABORATORIO

- cuantificación de los contaminantes "objetivo" para la evaluación del riesgo a la salud
- cuantificación de la masa total de contaminantes
- cuantificación de bacterias degradadoras
- detección de genes catabólicos
- cuantificación de aceptores finales de electrones

ESTRATEGIA PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE UN SITIO CONTAMINADO CON DIESEL

Dra. Susana Saval

Ejercicio

Se tiene un sitio contaminado con diesel y se pretende realizar la biorremediación en 6 meses, pero no se cuenta con información previa. Es necesario proceder inicialmente a una caracterización para plantear una estrategia adecuada para el sitio en particular y que favorezca la actividad de los microorganismos encargados de degradación de los hidrocarburos.

1. Caracterización del sitio

Una caracterización completa incluye cuatro enfoques básicos que son: geohidrología, química de contaminantes, física y química del suelo, así como microbiología. La integración de estos enfoques ayuda a conceptualizar el sitio como un biorreactor y la manera como debe operar para ofrecer óptimas condiciones a los microorganismos y con ello dirigir el objetivo hacia la disminución en la concentración de los hidrocarburos. En la Fig. 1 se presenta un diagrama que muestra el desarrollo de un proceso de biorremediación. Cada uno de los enfoques citados se describe en los siguientes incisos.

1.1. Caracterización geohidrológica

Una caracterización geohidrológica permite definir la distribución horizontal y vertical de los hidrocarburos en el suelo y subsuelo, así como el tipo de material geológico que conforma los diferentes estratos y la profundidad al nivel del agua subterránea (nivel freático). Esto último es importante ya que el diesel, por su baja viscosidad, puede infiltrar fácilmente al subsuelo en caso de derrame, y por su densidad menor a la del agua, puede formar una capa que flota sobre el nivel freático, cuando el combustible no es adsorbido por el suelo durante su trayectoria en forma vertical hacia la profundidad.

En el caso particular del sitio problema, el hecho de que el suelo sea de tipo arenoso, favorece de manera sustancial las probabilidades de que lo anterior ocurra, por lo que probablemente la concentración de diesel que se quede adsorbido en el suelo sea muy baja y que la mayor parte se encuentre en fase libre y haya alcanzado el nivel freático.

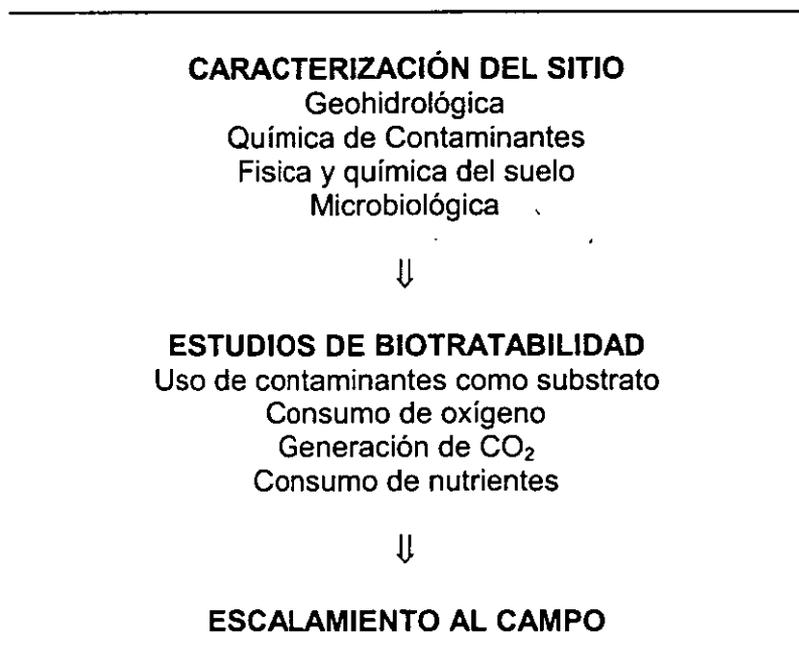


Fig. 1. Desarrollo de un proyecto de biorremediación

Para hacer una caracterización geohidrológica es indispensable realizar perforaciones, la opción más recomendable es que las perforaciones sean de diámetro pequeño, generalmente 2 cm. En ellas se pueden hacer mediciones *in situ* de hidrocarburos volátiles y explosividad a diferentes profundidades con lo cual se delimita la mancha de contaminación. Además, se pueden tomar muestras inalteradas de suelo a diferentes profundidades, verificar la existencia de un nivel freático cercano a la superficie, la presencia de hidrocarburos flotando sobre el nivel del agua y en los casos más severos, el espesor del combustible en fase libre.

La información obtenida en campo se "vacía" en planos para identificar de manera tridimensional, las zonas más afectadas y también aquellas que por su conformación, podrían constituir "zonas muertas" por la baja permeabilidad, las cuales ofrecerán resistencia a la transferencia de masa. Esto último es de fundamental importancia al tomar como base el esquema conceptual de un biorreactor.

1.2. Caracterización química de los contaminantes

En general, cuando se trata de derrames antiguos es conveniente hacer análisis exhaustivos para identificar el tipo de contaminantes presentes. Esto no solo es con la

finalidad de evaluar el grado de contaminación, sino también para identificar los contaminantes que deberán ser reconocidos por los microorganismos como “sustratos a degradar”, además de verificar la presencia de otros contaminantes que pudieran inhibir la actividad microbiana, como es el caso de metales pesados y compuestos altamente clorados. Los métodos recomendados para identificar y cuantificar los contaminantes se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1. Técnicas para análisis de contaminantes

PARÁMETRO	MÉTODO	OBSERVACIONES
Diesel, Gasolina, Turbosina, Kerosina	EPA 8015	Identificación de los combustibles por su perfil cromatográfico típico “huella digital”
Hidrocarburos monoaromáticos volátiles (BTEX)	EPA 8240 EPA 8260	Identificación y confirmación de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y sus derivados
Hidrocarburos poliaromáticos	EPA 8100 EPA 8310 EPA 8270	Identificación y confirmación de acenafteno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno, pireno y otros
Bifenilos policlorados	EPA 8080	Identificación de preparaciones por el porcentaje de átomos de cloro en la molécula
Plaguicidas organoclorados	EPA 8081	identificación y confirmación de aldrin, dieldrin, endrin, lindano, clordano, DDT, DDE y otros
Metales	EPA 6010 ó específicos para cada metal	Identificación de arsénico, plomo, cromo, mercurio y otros

En este caso particular es importante mencionar que si el problema de contaminación está siendo vigilado por autoridades ambientales, habrá que realizar los análisis en un laboratorio acreditado para ajustarse a las disposiciones oficiales, si no es así, la infraestructura de un laboratorio de investigación será suficiente para dar el apoyo requerido.

Si se confirma en una primera visita al sitio, que lo derramado es únicamente diesel y que el suelo donde ocurrió no estaba previamente afectado, el análisis de hidrocarburos por el método EPA 8015 será suficiente. Si no es así, deberán realizarse análisis complementarios específicos para determinar el contenido de metales y compuestos clorados.

En la actualidad existe una tendencia de realizar estudios de evaluación de riesgo a la salud para cuantificar el riesgo que constituye la presencia de contaminantes para la población expuesta, básicamente trabajadores y residentes de zonas habitacionales aledañas. De ser así la gama de análisis se amplía para incluir la cuantificación de

hidrocarburos monoaromáticos volátiles y de poliaromáticos, con lo cual se identifican las sustancias de preocupación potencial, que son aquellas catalogadas como carcinógenas y/o tóxicas a humanos. Para la evaluación de riesgo se recomienda el método conocido como RBCA (por sus siglas en inglés: Risk Based Corrective Action).

La experiencia práctica indica que para el caso de un derrame de solamente diesel, lo más seguro es que se encuentren compuestos tóxicos, pero no carcinogénicos a humanos, como son los poliaromáticos: naftaleno, fenantreno y fluoreno, que son los que se encuentran en mayor proporción. Si el derrame es reciente estarán presentes también monoaromáticos volátiles como tolueno y xilenos.

A partir de los análisis se puede anticipar que entre más alta sea la concentración de diesel en el suelo, el proceso de biorremediación tomará más tiempo. Experiencias en el laboratorio indican que una concentración de 30,000 mg/kg es un punto de transición en relación a la facilidad con la cual se llevará a cabo el proceso

1.3. Caracterización física y química del suelo

El suelo es un medio de multifases muy complejo, es una matriz sólida que en la zona no-saturada se encuentra rodeada por un ambiente gaseoso y en la zona saturada por un ambiente acuoso. Cuando hay hidrocarburos, que por lo general son hidrofóbicos, conforman una fase líquida que rodea las partículas de suelo, la cual desplaza el agua libre que está presente.

Las bacterias generalmente se adhieren a las partículas de suelo, por lo que todos los elementos que conforman el microambiente deben permitir una óptima actividad metabólica para la degradación del diesel. De aquí surge la importancia de conocer las características del microambiente antes de iniciar el proceso de biorremediación y durante su realización.

Los principales parámetros físicos y químicos a determinar son: tipo de suelo, tamaño de partícula, textura, densidad real, densidad aparente, humedad, capacidad de retención de agua, pH, contenido de materia orgánica, concentración de fósforo (en forma de ortofosfato), y contenido de nitrógeno total y amoniacal. Las técnicas analíticas que se recomiendan se enlistan en la Tabla 2.

Los parámetros físicos permitirán entender la facilidad para la transferencia de masa, que en el caso de biorremediación se refiere al oxígeno y a los nutrientes, en tanto que los químicos permitirán predecir si la actividad microbiana puede ser o no exitosa.

En la práctica, no todos los parámetros son analizados antes de definir la estrategia de operación a escala real, debido al tiempo que consumen los análisis. No obstante, es conveniente realizarlos para hacer algún ajuste durante el desarrollo del proceso a escala real.

1.4. Caracterización microbiológica

El suelo es el recurso donde habita la mayor biodiversidad microbiana, de hecho, ha sido la fuente de aislamiento de un gran número de especies que desde hace muchas décadas se han utilizado en procesos biotecnológicos comerciales para la producción de alimentos, bebidas y fármacos, entre otros.

En suelos que han estado contaminados por algún tiempo, los microorganismos se someten a un fenómeno de selección natural, mediante el cual sobreviven únicamente aquellos que toleran la presencia y concentración de los contaminantes. En suelos cuya contaminación ocurrió muy recientemente, la población microbiana puede verse afectada por la presencia de contaminante hasta un caso extremo donde no queden sobrevivientes.

Tabla 2. Técnicas para análisis físicos y químicos del suelo

PARÁMETRO	MÉTODO
Tamaño de partícula	por cribado en malla de diferentes aberturas
Densidad real y aparente	con picnómetro y núcleos inalterados para calcular la porosidad
Textura	con hidrómetro
Humedad	gravimetría a 110 °C
Capacidad de retención de agua	saturación con agua y posterior filtración con medición del volumen
pH	en agua y/o solución de cloruro de calcio
Materia orgánica	por oxidación de acuerdo a Walkley-Black
Fosfatos	por espectrofotometría (Bray P-1)
Nitrógeno total y amoniacal	por método Kjeldahl

Cuando los contaminantes son hidrocarburos, los microorganismos desarrollan la capacidad de utilizarlos como fuente de carbono y energía. Las características del microambiente determinan el tipo de población microbiana predominante, en la mayoría de los suelos contaminados las especies típicas son las bacterias debido principalmente al valor de pH que se registra, el cual por lo general se encuentra entre 7 y 9. En especial, el género *Pseudomonas* ha mostrado una gran versatilidad de adaptación a ambientes contaminados y una importante capacidad degradadora, que está dada por su versatilidad bioquímica. Esto último es importante, ya que si el derrame en el sitio ocurrió algunos meses atrás, lo más seguro es que el propio suelo tenga las bacterias en tipo y cantidad adecuadas para que con sólo la adición de sales minerales, ocurra la biorremediación (bioestimulación). Si por el contrario, el derrame es reciente, la biorremediación será posible únicamente mediante la inoculación de microorganismos

Esta técnica ya ha sido probada en el laboratorio y se recomienda en proyectos de investigación, porque aporta información muy valiosa ya que es cuantitativa.

- Detección de bacterias del género *Pseudomonas*. Esta técnica es opcional, se aplica cuando existe un interés especial por saber si las bacterias del género mencionado están presentes.
- Identificación de bacterias. Cuando existe un interés especial por identificar géneros y especies predominantes se aplica la técnica API, la cual puede ser acompañada del análisis de componentes de la membrana celular para una mayor precisión. Esta técnica se recomienda únicamente cuando se trata de proyectos de investigación.

Para los estudios de biotratibilidad se recomiendan las siguientes pruebas:

- Cuantificación del diesel residual. Con esta prueba es posible verificar si el diesel está siendo realmente utilizado como sustrato, lo cual garantiza que la biorremediación será exitosa. Para la cuantificación se utiliza el análisis cromatográfico citado en la Tabla 1.
- Respirometría. Se refiere a la cuantificación del consumo de oxígeno y de bióxido de carbono generado por la biodegradación. Esta técnica se aplica preferentemente a nivel de microcosmos en botellas selladas para tener muestras representativas del ambiente gaseoso. La cuantificación de los gases se realiza por cromatografía de gases. Con los resultados de esta prueba se podrán predecir los requerimientos de oxígeno del proceso de biorremediación.
- Consumo de nutrientes básicos, nitrógeno amoniacal y fosfatos, que son indispensables para la actividad metabólica. Para cuantificarlos se utilizan las técnicas analíticas citadas en la Tabla 2. Determinaciones periódicas permitirán identificar en momento en el que la actividad microbiana se puede ver limitada por el agotamiento de nutrientes, y se hace necesaria una nueva adición.

La integración de los resultados de las pruebas de biotratibilidad y de la caracterización microbiológica podrán predecir el máximo nivel de degradación por alcanzar y el tiempo que esto tomará.

2. Producción de inóculo

En caso de que la flora nativa no pueda garantizar la degradación del diesel, será necesario obtener cultivos para inocularlos al suelo contaminado. Los cultivos se producen en biorreactores por las técnicas tradicionales con algunas diferencias, ya que los biorreactores se instalarán cerca del sitio contaminado. Aquí, es conveniente mencionar la importancia de mantener la presión selectiva sobre el cultivo, por lo que será necesario adicionar diesel como único sustrato, para mantener la actividad biodegradadora en condiciones óptimas. El preinóculo para este cultivo será mantenido en el laboratorio, también bajo las condiciones de presión selectiva.

exógenos (bioaumentación). De aquí surge la importancia de realizar una caracterización microbiológica.

Una estrategia de caracterización microbiológica completa incluye la cuantificación de bacterias y los estudios de biotratabilidad. La realización de todo en forma de paquete toma tiempo, por ello es que estos últimos se consideran como un concepto independiente en la Fig. 1. Para este problema en particular, en el que se tiene un tiempo restringido, se recomienda hacer únicamente la cuantificación de bacterias antes de iniciar la biorremediación y los estudios de biotratabilidad simultáneamente al trabajo en campo.

En este caso particular, será considerado únicamente el proceso aerobio, ya que es el que permite la biodegradación de los hidrocarburos en un menor tiempo y en un ambiente más fácilmente controlable para trabajo en campo.

Determinaciones típicas de la caracterización microbiológica:

- Cuantificación de bacterias heterótrofas. Con este análisis se puede cuantificar el contenido de bacterias capaces de utilizar compuestos orgánicos como fuente de carbono y energía. No toda la población existente en el suelo es cultivable, debido a que los microorganismos están adaptados a un ambiente natural que es diferente al que se logra en el laboratorio. Sin embargo, las cifras que en la práctica se han obtenido son del orden de 10^6 - 10^8 bacterias/g de suelo, aunque la literatura cita órdenes de magnitud mayores. La cuantificación de bacterias heterótrofas se puede realizar en muestras provenientes de la superficie y hasta la profundidad afectada.
- Cuantificación de bacterias degradadoras. Mediante este análisis es posible conocer el porcentaje de bacterias heterótrofas que tienen capacidad para degradar diesel. Las técnicas analíticas que se emplean son variadas, pero la mejor es aquella que se realiza bajo las condiciones que simulan las que privan en el sitio contaminado, especialmente en lo que se refiere al contacto microorganismo-diesel. Para este caso se recomienda un medio mineral con agar y diferentes alícuotas de diesel, con un período de incubación de 5 días como máximo a la temperatura típica del suelo en el sitio contaminado. Una proporción de bacterias degradadoras del orden de 10^4 - 10^6 bacterias/g suelo es adecuada para una biorremediación utilizando la flora nativa, cifras menores harán necesaria la adición de inóculos. Esta técnica es también utilizada para dar seguimiento a la biorremediación y verificar que la población degradadora es suficiente para llevar el proceso a los niveles de saneamiento requeridos y en el tiempo programado. La cuantificación de bacterias degradadoras se realiza en muestras obtenidas de la superficie y hasta la profundidad que sea necesaria.
- Detección de genes catabólicos. Esta es una técnica de actualidad, basada en los principios de la Biología Molecular. Se aplica para verificar si la población presente posee genes que codifican para la síntesis de enzimas involucradas en la degradación de hidrocarburos específicos. Para el caso de hidrocarburos y en especial diesel, se buscan los genes *xyl E*, *ndoB* y *alkB*, los cuales están involucrados en la degradación de tolueno, naftaleno y n-alcanos, respectivamente.

Conviene señalar aquí, que en el mercado existen preparaciones microbianas, pero no se recomienda su uso, ya que generalmente las bacterias que contienen no soportan las condiciones extremas que imperan en un sitio contaminado y mueren. Además, porque no siempre se pueden conocer sus características y su liberación al ambiente podría constituir un riesgo.

3. Puesta en marcha de la biorremediación a escala real

En virtud de que no se sabe la profundidad a la cual llega la contaminación con diesel, se describirá la estrategia para 3 situaciones típicas que son: afectación únicamente en la capa superficial, afectación en la zona no-saturada y afectación en zona no-saturada con presencia de combustible en fase libre flotando sobre el manto freático. La aplicación de alguna de ellas estará en función de los resultados de la caracterización geohidrológica.

Tomando como base que se trata de un suelo arenoso, se ha considerado que hay una concentración de diesel inicial bastante menor a 30,000 mg/kg.

3.1. Biorremediación en superficie

Esta opción considera que el suelo contaminado está en el estrato superficial con un espesor de aproximadamente 50 cm. Para la superficie de 400 m² se recomienda una técnica de biolabranza en la cual será necesario mover el suelo con maquinaria con el fin de favorecer el recambio de gases, esto es, la entrada de oxígeno y el desprendimiento de bióxido de carbono.

Durante la ejecución, será necesario llevar un registro diario de la humedad y hacer ajustes para mantenerla entre 25 y 30%, para ello se recomienda un sistema de riego en forma de rocío. Este es un aspecto importante porque los nutrientes y los cultivos degradadores, en caso de agregarlos, conviene depositarlos en donde se requieren, es decir, en la superficie. Si se agregan grandes cantidades de agua, más aún en un suelo arenoso, ésta tenderá a penetrar al suelo y arrastrar las sales que se hayan adicionado, hacia la profundidad.

Los nutrientes que se agregan son grado fertilizante o sales industriales. Respecto a la concentración, aunque la literatura general sobre el tema menciona que se debe mantener una relación de 100:10:1 para diesel:N-NH₄⁺:P-PO₄³⁻, respectivamente, la experiencia práctica ha mostrado que es mejor adicionar las concentraciones de nitrógeno y fosfatos típicas para un suelo rico en estos nutrientes, al inicio del proceso y hacer las adiciones necesarias el tiempo que dure la biorremediación para mantenerlas constantes. Esto tendrá como ventaja adicional, que conforme se va reduciendo la concentración del diesel, se va estimulando la actividad biológica natural del suelo y con ello el crecimiento de especies vegetales nativas.

De ninguna manera se recomienda la adición de agentes tensoactivos, ya que éstos tienden a disolver los hidrocarburos y facilitar su migración hacia los estratos inferiores, situación que representa un riesgo mayor que la contaminación misma, más aún cuando se alcanza el nivel del agua subterránea.

En caso de que no se pueda trabajar en la misma zona contaminada, por el tipo de actividades que ahí se realizan y que el espacio físico del que se disponga sea limitado, se recomienda un tratamiento en biopila. Para ello, será necesario levantar el suelo contaminado y apilarlo sobre una geomembrana para evitar la lixiviación de los contaminantes en el área de tratamiento. El recambio de gases se hará a través de tuberías horizontales perforadas, colocadas en la parte media de la biopila, las cuales irán conectadas a un extractor de gases. El oxígeno del aire ambiente podrá ingresar a la biopila al mismo tiempo que se desaloja el CO₂. El control de la humedad será también indispensable y para la adición de nutrientes se tomarán las mismas recomendaciones descritas anteriormente.

3.2. Biorremediación *in situ* en la zona no-saturada

Para la biorremediación *in situ* en la zona no-saturada, se hará necesaria la instalación de galerías de infiltración con el fin de hacer llegar los nutrientes a las zonas afectadas. Estas galerías de infiltración son pozos horizontales perforados o ranurados que se colocan cerca de la superficie sobre la zona contaminada, para distribuir de manera horizontal y vertical, los nutrientes disueltos en agua. Serán también necesarios pozos verticales con tubería ranurada, de 10 cm de diámetro y hasta la profundidad afectada, para proporcionar oxígeno al sistema mediante la inyección de aire, estos pozos se colocan en línea para alternarlos con otros de las mismas características que servirán para extraer los gases ricos en CO₂. Para un suelo arenoso como el que se tiene, la distancia entre los pozos podría ser de 20 m. Cada línea de pozos va conectada a un mismo equipo de ventilación o extracción según proceda, periódicamente se intercambia la función de los pozos, es decir, aquellos que sirvieron para ventilación, cambian para ser de extracción y viceversa. Esta alternancia promueve el flujo de gases en el subsuelo y trata de que en todos los puntos del sistema exista actividad biodegradadora. Aquí es donde se puede confirmar que el área en tratamiento se convierte en un biorreactor.

Para verificar el avance de la biorremediación serán necesarias perforaciones periódicas, por ejemplo cada mes, con muestreo de suelo hasta la profundidad inicialmente afectada, para realizar los análisis que demuestren el avance de la biorremediación.

Si en este caso también existe afectación en la superficie, se combinan las acciones descritas en este inciso con las del 3.1.

3.3. Biorremediación en la zona no-saturada con presencia de combustible en fase libre flotando sobre el nivel freático

Por el tipo de suelo arenoso, es muy probable que ésta sea la situación que prive en el lugar. Esto es debido a que las arenas poseen alta permeabilidad, lo cual por un lado facilita la acumulación de agua a profundidades cercanas a la superficie, alrededor de 3 m para este caso supuesto, y por otro lado, facilita la migración del combustible hacia la profundidad, hasta donde alcance el nivel del agua para luego migrar de manera horizontal. Generalmente en estos suelos existe una capa de suelo arcilloso por debajo de las arenas, la cual por su baja permeabilidad permite la acumulación de agua en la capa superficial de arenas.

Para esta opción el primer paso es la perforación de pozos de 10 a 20 cm de diámetro, en los cuales se hará la extracción del producto libre. La distancia entre los pozos podría ser también de 20 m y la profundidad de 4 o 5 m, esto es, 1 ó 2 m por abajo del nivel freático. La extracción se realiza con bombas especiales que pueden operar de manera constante. El avance de esta remediación física se confirma con mediciones del espesor de producto libre.

Una vez que se agote el producto libre, se da inicio a la biorremediación propiamente. Para ello se procede de la manera descrita en el inciso anterior promoviendo el flujo de gases, pero esta vez, se hace burbujear el aire en el agua subterránea. El suministro de nutrientes hacia la zona no-saturada se puede hacer a través de galerías de infiltración con pozos horizontales o mediante los mismos pozos de venteo. En la zona saturada se puede extraer el agua subterránea para darle tratamiento en superficie, en biorreactores aerados con suministro de nutrientes y una vez agotado el diesel devolver el agua tratada al subsuelo. En la Fig. 2 se muestra un diagrama conceptual de un proceso de biorremediación para ejemplificar lo descrito en este inciso, y que también puede ilustrar lo descrito en el inciso 3.2.

Al igual que en el caso anterior, para verificar el avance de la biorremediación serán necesarias perforaciones mensuales con muestreo de suelo hasta la profundidad inicialmente afectada y practicar los análisis necesarios.

4. Seguimiento de la biorremediación

El análisis para confirmar el avance de la biorremediación se refiere básicamente la cuantificación del diesel residual, sin embargo, otras determinaciones como el contenido de bacterias degradadoras, de nitrógeno amoniacal y fosfatos, así como la humedad y el pH son esenciales para anticipar cualquier limitación de la actividad microbiana. Aquí, la opción de llevar a cabo las pruebas de biotratabilidad simultáneamente al proceso de biorremediación, adquiere especial importancia porque estas pruebas, que se realizan en el laboratorio, son una versión miniaturizada del proceso a escala real. Cualquier

comportamiento observado en el laboratorio que se aleje de las expectativas, podrá ser prevenido y/o corregido en el proceso a escala real.

5. Límites de limpieza por alcanzar

El límite de limpieza será el indicado por la NOM-EM-138-ECOL-2002, que marca concentraciones máximas de diesel, de 1000 mg/kg para suelos de uso agrícola y residencial, y de 2000 mg/kg para suelos de uso industrial.

6. Programación de las actividades

Lo más importante para dar inicio a la biorremediación es la caracterización geohidrológica, ya que de aquí se tomarán las decisiones para instalar la infraestructura necesaria, básicamente pozos, que pueden ser para monitoreo del agua subterránea, para la inyección de aire, para la extracción de gases, o bien, para la incorporación y distribución de los nutrientes.

Tomando como base que se dispone de 6 meses, se puede establecer el programa de actividades que se presenta, que incluye la caracterización del sitio. Es posible que la urgencia de sanear el suelo contaminado pretenda restringir los análisis detallados que han sido descritos. Si esto ocurre, la recomendación es iniciar la producción del inóculo con bacterias degradadoras de diesel que se tengan en el laboratorio, al mismo tiempo que se inicia la caracterización geohidrológica con muestreo y análisis de hidrocarburos para realizar una bioaumentación, aún sin tener información sobre la flora microbiana. Esto es a manera preventiva porque toma tiempo la producción masiva de inóculo. Aún si el suelo tuviera una buena proporción de flora degradadora nativa, el inóculo podría adicionarse y con ello se aumentaría la velocidad de degradación del diesel.

Lo anterior no significa que deberá pasarse por alto toda la estrategia descrita, sólo se hacen ajustes al programa, ya que para llevar a la práctica un proceso de biorremediación serio, es necesario demostrarlo con elementos técnicos bien fundamentados.

Programa de actividades

ACTIVIDAD	MESES					
	1	2	3	4	5	6
Caracterización geohidrológica	x					
Caracterización de contaminantes	x	x				
Caracterización física y química del suelo	x	x				
Caracterización microbiológica	x	x				
Pruebas de biotratabilidad	x	x	x	x		
Extracción de combustible en fase libre	x	x				
Biorremediación en campo		x	x	x	x	x
Producción de inóculo		x	x	x	x	
Seguimiento de la biorremediación		x	x	x	x	x

Para este caso en particular se estima que en 5 meses será posible alcanzar el nivel de limpieza citado en el inciso 5.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

MARCO LEGAL Y PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

MARCO LEGAL Y PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS

Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM

Algo de historia

1997 al 2000

La Dirección de Emergencias Ambientales de la Profepa, Subprocuraduría de Auditoría Ambiental, estableció un Grupo de Trabajo para la restauración de sitios contaminados, conformado por autoridades ambientales y académicos de las principales instituciones de investigación y enseñanza superior del país.

1998

Se definen los Criterios Interinos de Limpieza para el primer grupo de compuestos, básicamente hidrocarburos, además de pH, con sus respectivas técnicas analíticas, procedimientos de muestreo y técnicas de restauración.

1999

Se definen los Criterios Interinos de Limpieza para el segundo grupo de compuestos, inorgánicos tóxicos y otros orgánicos, con sus respectivas técnicas analíticas y procedimientos de muestreo.

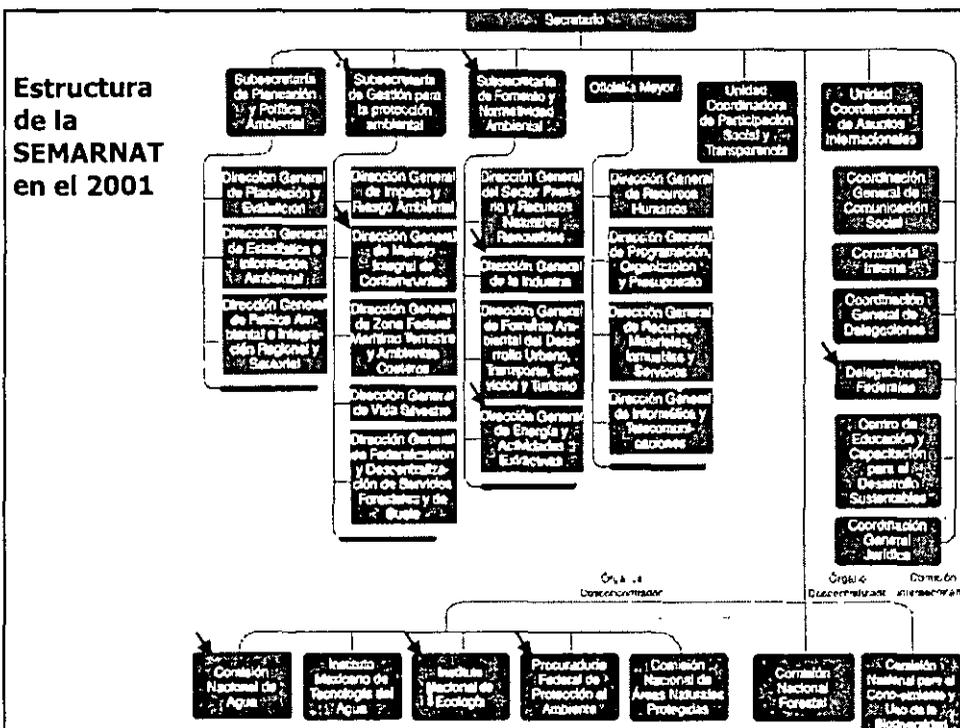
Base de los Criterios Interinos de Limpieza

1. Compuestos indicadores de toxicidad y su efecto a la salud (benceno y benzo(a)pireno).

2. Concentración del producto contaminante.

4. Uso del suelo: a) agrícola, forestal, recreativo y de conservación, b) residencial/comercial, c) industrial.

3. Capacidad técnica y tecnológica existente en México.



4 junio 2001

publicación del Reglamento Interior de la SEMARNAT que establece en el que le corresponde a la Secretaría de Gestión para la Protección Ambiental a través de la Dirección de Manejo Integral de Contaminantes (DGMIC) resolver todo lo correspondiente a suelos contaminados en virtud de que una de sus funciones es:

"Elaborar programas para la identificación, evaluación y restauración de sitios contaminados por materiales y residuos peligrosos, así como evaluar, dictaminar y resolver sobre la utilización de tecnologías y sustancias para la recuperación de los suelos contaminados por dichos materiales y residuos peligrosos" (artículo 26 fracción XXV)

6 de mayo del 2002

Se conforma un Grupo de Trabajo para la Atención de Emergencias y Restauración de Suelos, conformado por representantes de las diferentes dependencias de la SEMARNAT involucradas:

- **Unidad Coordinadora de Delegaciones Federales**
- **Dirección General de la Industria**
- **Dirección General de Energía y Actividades Extractivas**
- **Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes**
- **Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, CNA**
- **CENICA, INE**
- **Subprocuraduría de Verificación Industrial**
- **Unidad Coordinadora de Delegaciones, Profepa**
- **Subprocuraduría de Auditoría Ambiental, Profepa**

**El 25 de julio del 2002 el Grupo de Trabajo para la
Atención de Emergencias y Restauración de Suelos
emite el**

**PROCEDIMIENTO PARA LA
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS AMBIENTALES
Y RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS**

**Lo anterior tomando como base los trabajos previos
realizados por el Grupo de Trabajo 1997-2000**

NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA

NOM-EM-138-ECOL-2002

DOF agosto 20 del 2002

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS
PERMISIBLES
DE CONTAMINACIÓN EN SUELOS AFECTADOS
POR HIDROCARBUROS, LA
CARACTERIZACIÓN DEL SITIO Y
PROCEDIMIENTO PARA LA RESTAURACIÓN**

De observancia obligatoria en todo el territorio nacional para quienes lleven a cabo actividades en cuyo desarrollo se produzcan derrames de hidrocarburos, sus mezclas y/o sustancias derivadas de los mismos.

Contenido:

- **Lista de productos asociados a los hidrocarburos para los que se establecen límites de contaminación en suelos**
- **Límites máximos permisibles de contaminación en suelos**
 - **Métodos analíticos a utilizar**
 - **Criterios de muestreo para la caracterización**
- **Equipo que se recomienda utilizar para la toma de muestras**
 - **Número de muestras a tomar durante el muestreo**
- **Tipo de recipientes apropiados para el almacenamiento de muestras**
- **Conservación y tiempo máximo para la el análisis por parámetro**
 - **Procedimiento administrativo**

LISTA DE PRODUCTOS ASOCIADOS A LOS HIDROCARBUROS PARA LOS QUE SE ESTABLECEN LÍMITES DE CONTAMINACIÓN EN SUELO

	HCS RESIDUOS ACEITOSOS	HCS DIESEL	HCS GASOLINA	BTEX	HCS AROMÁTICOS POLINUCLEARES
Petróleo crudo
Combustóleo
Emulsiones
Asfalto
Parafinas
Diesel	
Turbosina	
Keroseno	
Acertes lubricantes	
Vaselinas	
Ac. combustibles ligeros	
Gasavión			
Gasolvente			
Gasolina Magna			
Gasolina Premium			
Gasnafta			
Éter de petróleo			
Ligroina			
Thiner			
Producto alquilado			
Arominas			

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACIÓN EN SUELOS
mg/kg (ppm) valores referidos en base seca

CONTAMINANTE	USO DE SUELO PREDOMINANTE AGRÍCOLA, FORESTAL, RECREATIVO Y DE CONSERVACIÓN	USO DE SUELO PREDOMINANTE RESIDENCIAL Y COMERCIAL	USO DE SUELO INDUSTRIAL	MÉTODO ANALÍTICO (EPA)
GASOLINA				
Hidrocarburos totales	200.00	200.00	500.00	8015
Benceno	20.00	20.00	50.00	8240, 8260
Tolueno	40.00	40.00	100.00	8240, 8260
Xilenos	40.00	40.00	100.00	8240, 8260
Diesel				
Hidrocarburos totales	1,000.00	1,000.00	2,000.00	8015
Benzopireno	0.08	0.08	0.80	8310, 8270
Benzo(a)antraceno	0.80	0.80	8.00	8310, 8270
Benzo(b)fluoranteno	0.80	0.80	8.00	8310, 8270
Benzo(k)fluoranteno	8.00	8.00	80.00	8310, 8270
Criseno	80.00	80.00	800.00	8310, 8270
Residuos aceitosos				
Hidrocarburos totales	1,000.00	1,000.00	2,000.00	8015
Benzopireno	0.08	0.08	0.75	8310, 8270
Benzo(a)antraceno	0.80	0.80	7.50	8310, 8270
Benzo(b)fluoranteno	0.80	0.80	7.50	8310, 8270
Benzo(k)fluoranteno	8.00	8.00	75.00	8310, 8270
Criseno	80.00	80.00	750.00	8310, 8270

RESTAURACIÓN

Es el conjunto de actividades tendientes a la recuperación y reestablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.

En relación con el suelo, se entiende como el conjunto de acciones necesarias para recuperar y reestablecer sus condiciones, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para el predio o zona respectiva.

Para los propósitos de esta NOM, se utiliza el término restauración como sinónimo de remediación, reversión, saneamiento, limpieza, rehabilitación y regeneración.

entidad mexicana de acreditación, a.c.

**organismo encargado de la
acreditación de métodos analíticos en los
laboratorios de prueba
bajo la NMX-EC-17025-IMNC-2000
a partir del 1 de enero del 2002**

**organismos encargados de la aprobación de
métodos analíticos que la ema, a.c. acredita
a los laboratorios de prueba**

√ **CENICA-INE**

**fuentes fijas, residuos y ambiente laboral
(suelos)**

√ **SECRETARÍA DE SALUD**

alimentos (agua potable)

√ **CNA**

aguas naturales, subterránea, residual

PROCEDIMIENTO PARA LA RESTAURACIÓN EN CASO DE EMERGENCIAS AMBIENTALES

AVISO DEL DERRAME A LA PROFEPA
(COATEA, Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales)

↓
PROFEPA VERIFICA LAS PRIMERAS ACCIONES PARA EL CONTROL DE DERRAME, LEVANTA EL ACTA DE INSPECCIÓN

↓
MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DEL SITIO
AVISAR A LA PROFEPA EL INICIO DE LOS TRABAJOS (5 días de anticipación)

↓
SE ENVIAN LAS MUESTRAS PARA ANÁLISIS A UN LABORATORIO CON MÉTODOS ACREDITADOS POR LA EMA, A.C.

↓
INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA DETERMINAR SI SE REQUIERE RESTAURACIÓN
(concentración de contaminantes en base seca)

continúa ...

↓
CONCENTRACIÓN IGUAL O MENOR AL LÍMITE PERMISIBLE

SI →

NO SE REQUIERE RESTAURACIÓN, PERO LA PROFEPA PUEDE SOLICITAR REPARACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS A LA VEGETACIÓN O A LOS RECURSOS NATURALES

NO ↓

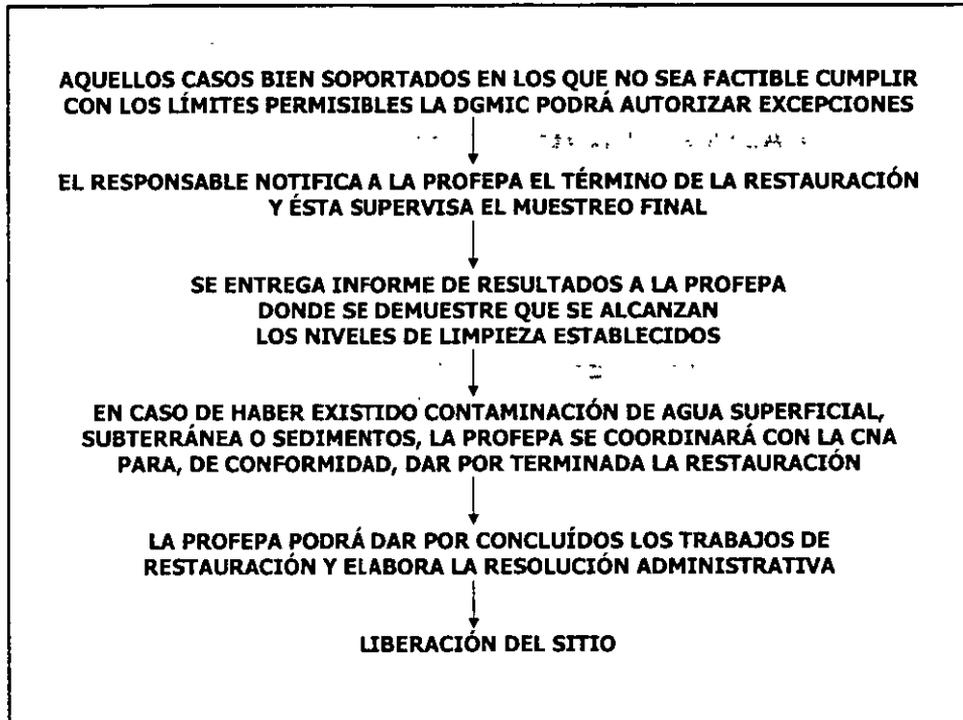
PROCEDE LA RESTAURACIÓN DEL SITIO

↓
SI HAY AFECTACIÓN A CUERPOS DE AGUA (superficial y/o subterránea) LA CNA PROCEDERÁ A LA APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS EN EL MANUAL DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS HIDROECOLÓGICAS RELACIONADAS CON LAS AGUAS NACIONALES CONTINENTALES

↓
EL RESPONSABLE DE LA CONTAMINACIÓN DEBERÁ PRESENTAR A LA DGMIC PROPUESTA DE RESTAURACIÓN CONSIDERANDO:

- descripción de la metodología y tiempo de ejecución
- control o tratamiento de emisiones y efluentes
- no generar mayores disturbios ambientales que los producidos por el derrame
- queda prohibida la dilución del suelo contaminado
- si se utilizan agentes tensoactivos se deberá cuidar que no haya afectación secundaria
- no utilizar agentes químicos oxidantes como sustitutos de procesos biológicos

continúa ...



NOM-133-ECOL-2000 DOF 10 diciembre 2001
PROTECCIÓN AMBIENTAL
BIFENILOS POLICLORADOS (BPCs) ESPECIFICACIONES DE MANEJO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES AL MEDIO AMBIENTE DE BPCs EN TRATAMIENTOS TÉRMICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

EMISIONES	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
a la atmósfera	0.05 microgramos/m ³
en agua residual	5 microgramos/l
en sólidos residuales	menos de 50 mg/kg BS

LÍMITES MÁXIMOS DE CONTAMINACIÓN EN SUELO

USO DE SUELO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE EN mg/kg BS con la sumatoria de todos los congéneres de BPCs detectados
agrícola	0.5
residencial	5
industrial/comercial	25

NOM-115-ECOL-1998

QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL QUE DEBEN OBSERVARSE EN LAS ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS TERRESTRES PARA LA EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN EN ZONAS AGRÍCOLAS, GANADERAS Y ERIALES

publicada en el DOF 25 noviembre 1998

PROYECTO NOM-098-ECOL-2000

DOF 8 SEPT 2000

PROTECCIÓN AMBIENTAL INCINERACIÓN DE RESIDUOS, ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN Y LÍMITES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

CONTAMINANTE	LÍMITE DE EMISIÓN	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	NORMA O MÉTODO QUE APLICA
CO (mg/m ³)	63	continuo	Infrarrojo no dispersivo
HCl (mg/m ³)	15	semestral	MX-AA-07-1980
NOx (mg/m ³)	300	semestral	quimiluminiscencia
SO ₂ (mg/m ³)	80	semestral	NMX-AA-55-1979
PARTÍCULAS (mg/m ³)	50	semestral	NMX-AA-10-1974
ARSÉNICO, SELENIO, COBALTO, NÍQUEL, MANGANESO, ESTAÑO (mg/m ³)	0.7	semestral	CENICA-MEPE-05
CADMIO (mg/m ³)	0.07	semestral	CENICA-MEPE-05
PLOMO, CROMO TOTAL, COBRE ZINC (mg/m ³)	0.7	semestral	CENICA-MEPE-05
MERCURIO (mg/m ³)	0.07	semestral	CENICA-MEPE-05
DIOXINAS Y FURANOS (mg/m ³)	0.5	anual	CENICA-DYF-05

PROYECTO DE NOM-021-RECNAT-2000
publicado en el DOF 11 septiembre 2000

**QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES
DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y
CLASIFICACIÓN DE SUELOS.
ESTUDIOS, MUESTREO Y ANÁLISIS**

**métodos detallados para el muestreo y
análisis de los parámetros fisicoquímicos
de suelos**

**PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA
PROY-NOM-052-ECOL-2001**
publicado en el DOF 26 julio 2002

**QUE ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS,
EL PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN,
CLASIFICACIÓN Y EL LISTADO DE LOS
RESIDUOS PELIGROSOS**

Actualización de la NOM-052-ECOL-1993
publicada en el DOF 22 octubre 1993

NOM-053-ECOL-1993

Que 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

Publicada en el DOF 22 octubre 1993
Actualización de nomenclatura publicada en el
DOF 29 noviembre 1994

NOM-054-ECOL-1993

QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA INCOMPATIBILIDAD ENTRE DOS O MÁS RESIDUOS CONSIDERADOS COMO PELIGROSOS POR LA NOM-052-ECOL-1993

Publicada en el DOF 22 octubre 1993
Actualización de nomenclatura publicada en el
DOF 23 noviembre 1994

NOM-055-ECOL-1993

**QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS QUE
DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS
AL CONFINAMIENTO CONTROLADO DE
RESIDUOS PELIGROSOS, EXCEPTO DE LOS
RADIOACTIVOS**

Publicada en el DOF 22 octubre 1993
Actualización de nomenclatura publicada en el
DOF 29 noviembre 1994

NOM-056-ECOL-1993

**QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS
COMPLEMENTARIAS DE UN
CONFINAMIENTO CONTROLADO DE
RESIDUOS PELIGROSOS**

Publicada en el DOF 22 octubre 1993
Actualización de nomenclatura publicada en el
DOF 29 noviembre 1994

NOM-057-ECOL-1993

**QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS QUE
DEBEN OBSERVARSE EN EL DISEÑO,
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE CELDAS
DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO
PARA RESIDUOS PELIGROSOS**

Publicada en el DOF 22 octubre 1993
Actualización de nomenclatura publicada en el
DOF 29 noviembre 1994

NOM-058-ECOL-1993

**QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA LA
OPERACIÓN DE UN CONFINAMIENTO
CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS**

Publicada en el DOF 22 octubre 1993
Actualización de nomenclatura publicada en el
DOF 29 noviembre 1994

**PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA
EN ELABORACIÓN**

(Instalación del Grupo de Trabajo:
27 de agosto del 2002)

**CONFINAMIENTO DE RESIDUOS EN
FORMACIONES GEOLÓGICAMENTE ESTABLES
(domos salinos)**

**PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA
EN ELABORACIÓN**

(Instalación del Grupo de Trabajo)

**ESTABLECE LOS CRITERIOS
Y BASES METODOLÓGICAS PARA
DETERMINAR LAS ACCIONES DE REMEDIACIÓN
EN UN SUELO CONTAMINADO POR METALES
(ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS)**

**2do. GRUPO DE CRITERIOS INTERNOS DE RESTAURACIÓN
DE SUELOS CONTAMINADOS CON INORGÁNICOS TÓXICOS
(METALES PESADOS) Y OTROS**

GDT
Profepa
1999

Contaminante	Uso Residencial mg/kg ppm	Agrícola mg/kg ppm	Uso Industrial mg/kg ppm	Método Analítico (EPA)
PLOMO TOTAL	200	100	1,500	7420
ARSENICO TOTAL	20	20	40	7061
BARIO TOTAL	750	150	1,500	7080
CADMIQ TOTAL	20	20	100	7130
MERCURIO TOTAL	20	20	100	7471
NIQUEL TOTAL	150	75	700	7520
SELENIO TOTAL	20	20	100	7741
ZINC TOTAL	800	300	1,500	7950
CROMO TOTAL	375	75	750	7190
CIANURO	50	5	500	9010 A
ACRILAMIDA	0.2	0.02	2.4	8260C
ACRILÓNITRILO	1.4	0.02	4.8	8260C
PLOMO ORGANICO	0.5	0.1	1	PENDIENTE
HIDROCARBUROS MONOAROMATICOS TOTALES (Arominas + otros disolventes)	40	40	100	8260C

Estos criterios son referencias genéricas. Cada propuesta de restauración se resuelve caso por caso.

NOM-018-STPS-2000
publicado en el DOF 27 octubre 2000

**SISTEMA PARA LA
IDENTIFICACIÓN Y COMUNICACIÓN
DE PELIGROS O RIESGOS
POR SUSTANCIAS QUÍMICAS
PELIGROSAS EN LOS
CENTROS DE TRABAJO**

NOM-010-STPS-1999
publicado en el DOF 14 marzo 2002

**CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN LOS CENTROS DE TRABAJO
DONDE SE MANEJEN, TRANSPORTEN, PROCESEN
O ALMACENEN SUSTANCIAS QUÍMICAS
CAPACES DE GENERAR CONTAMINACIÓN
EN EL MEDIO AMBIENTE LABORAL**

NOM-127-SSA1-1994
versión actualizada en el DOF 22 noviembre 2000

**SALUD AMBIENTAL
AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y
TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA
PARA SU POTABILIZACIÓN**

COMPUESTO	LÍMITE PERMISIBLE mg/l
benceno	0.010
tolueno	0.700
etilbenceno	0.300
xilenos	0.500

**LEY DE AGUAS NACIONALES
1992**

**Título séptimo
Prevención y Control de la
Contaminación de las Aguas**

**Capítulo Único
Artículos 85 a 96**

**Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
1994**

**CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
CECCA-001/89**

Niveles máximos en agua (mg/l)

Compuesto	Fuente de abastecimiento de agua potable	Proección de	
		Agua dulce	la vida acuática Agua marina
Benceno	0.010	0.050	0.005
Tolueno	14.300	0.200	0.060
Etilbenceno	1.400	-	0.500
Acenafteno	0.020	0.020	0.010
Fluoranteno	0.040	0.040	0.0004
Bifenilos policlorados	0.0000008	0.00001	0.00003

**MARCO LEGAL GENERAL EN ASUNTOS DE CONTAMINACIÓN
Y RESTAURACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS**

- **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**
- **Ley Orgánica de la Administración Pública**
- **Ley de Procedimientos Administrativos**
- **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**
- **Ley de Aguas Nacionales**
- **Ley General de Población**
- **Ley Federal de Metrología y Normalización**
- **Código Federal de Procedimientos Penales**
- **Código Penal Federal**

PARA LA ATENCIÓN DE ACCIDENTES QUÍMICOS

EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

- **Ley Federal del Trabajo**
- **Ley General de Salud**
- **Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos**

EN VÍAS DE COMUNICACIÓN

- **Ley de Vías Generales de Comunicación**

**LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO
Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE
1988 / 1996 Delitos Ambientales**

Título IV. Protección al Ambiente

Capítulo III. Prevención y Control de la Contaminación del Suelo

Artículos 134 a 144

Capítulo VI. Materiales y Residuos Peligrosos

Artículos 150 a 153

**10 Agosto 1998
Creación de la FISCALÍA CONTRA DELITOS AMBIENTALES**

**6 Febrero 2002
CÓDIGO PENAL FEDERAL
Título Vigésimo Quinto
Delitos contra el Ambiente y la Gestión Ambiental**

- Capítulo I. De las actividades tecnológicas y peligrosas
artículos 414 a 416**
- Capítulo II. De la biodiversidad
artículos 417 a 420 bis**
- Capítulo III. De la bioseguridad
artículo 420 ter**
- Capítulo IV. Delitos contra la gestión ambiental
artículo 420 quarter**
- Capítulo V. Disposiciones comunes a los delitos contra el ambiente
artículos 421 a 423**

LEY FEDERAL DE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

(1 de julio de 1992, última reforma aplicada 19 mayo 1999)

Título tercero

Capítulo II

Sección I. De las Normas Oficiales Mexicanas

Artículos 40 a 51

Sección II. De las Normas Mexicanas

Artículos 51A a 51B

LEY FEDERAL DE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

(1 de julio de 1992, última reforma aplicada 19 mayo 1999)

Título cuarto

Capítulo I. De la acreditación y la aprobación

Artículos 68 a 72

Capítulo II. De los procedimientos para la evaluación de la conformidad

Artículos 51A a 51B

Capítulo V. De los laboratorios de pruebas

Artículos 81 a 83

Capítulo VI. De las unidades de verificación

Artículos 84 a 87

PREVENCIÓN

**Medidas para reducir
situaciones peligrosas
y por ende,
daños a la salud
y al ambiente en general**

SECRETARÍAS INVOLUCRADAS EN PREVENCIÓN DE ACCIDENTES QUÍMICOS

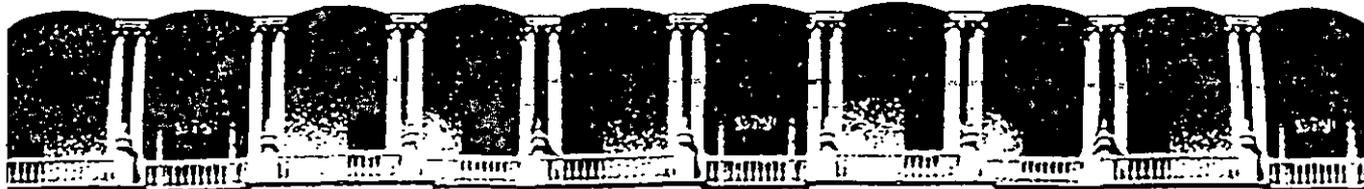
**Gobernación
Defensa Nacional
Energía
Medio Ambiente y Recursos Naturales**

EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

**Salud
Trabajo y Previsión Social**

EN VÍAS DE COMUNICACIÓN

Comunicaciones y Transportes



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON
CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

**LA CARACTERIZACIÓN DEL SITIO Y PROCEDIMIENTOS PARA LA
RESTAURACIÓN**

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
SEPTIEMBRE DE 2002**

**NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM-138-ECOL-2002, QUE ESTABLECE LOS
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACION EN SUELOS AFECTADOS POR
HIDROCARBUROS, LA CARACTERIZACION DEL SITIO Y PROCEDIMIENTOS
PARA LA RESTAURACION**

INDICE

1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Abreviaturas
6. Límites máximos permisibles
7. Caracterización del sitio
8. Procedimientos para la restauración de suelo
9. Evaluación de la conformidad
10. Grado de concordancia con normas internacionales
11. Bibliografía
12. Observancia de esta Norma

1. Objetivo

El objetivo de esta Norma Oficial Mexicana es establecer los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y los procedimientos para la restauración

2. Campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para quienes lleven a cabo actividades en cuyo desarrollo se produzcan derrames de hidrocarburos, sus mezclas y/o sustancias derivadas de los mismos

3. Referencias

No existen al momento de elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia.

4. Definiciones

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y las que a continuación se mencionan.

4.1 Agente químico oxidante

Es toda sustancia que produce una reacción de oxidación. El agente debe 1) proveer el oxígeno a la sustancia para ser oxidada (en este caso el agente deberá ser un oxígeno o contenerlo), o 2) recibir los electrones que están siendo transferidos a partir de la sustancia que está siendo oxidada

4.2 Agente tensoactivo o surfactante

Compuesto químico que reduce la tensión superficial de un líquido o la tensión interfacial de dos líquidos o de un líquido y un sólido, aumentando el contacto entre una fase orgánica hidrofóbica y una fase acuosa.

4.3 Cadena de custodia

Registro de las muestras, su transportación y movimientos, desde su recolección hasta su ingreso al laboratorio

4.4 Caracterización del sitio

Determinación cualitativa y cuantitativa de la distribución de un parámetro. Cuando se refiere al suelo se deberá interpretar como la determinación cualitativa y cuantitativa de la distribución de una sustancia en el mismo, expresada en términos de la concentración de la sustancia medida por un método aprobado. La determinación puede ser completada con la determinación de una o más características de interés, las cuales a manera enunciativa, mas no limitativa, pueden ser geológicas, hidrogeológicas, biológicas y químicas.

4.5 Contingencia ambiental

Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas.

4.6 Derrame

Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos u otras sustancias peligrosas, en estado líquido, que se presenten en tierra y/o cuerpos de agua.

4.7 Dilución de suelo contaminado

Acción de adición de un material que se agrega específicamente para reducir la concentración de uno o más contaminantes

4.8 Efluentes

Descarga de contaminantes al ambiente, parcial o totalmente tratados o en su estado natural; este término es generalmente usado para la descarga de aguas residuales a ríos, lagos o cuerpos de agua en general

4.9 Emergencia ambiental

Evento o circunstancia indeseado, que ocurre repentinamente y que resulta en la liberación no controlada, incendio o explosión de una o varias sustancias peligrosas para el ambiente y/o la salud humana, de manera inmediata o a largo plazo

4.10 Entidades de acreditación

La Entidad Mexicana de Acreditación, A.C.

4.11 Hidrocarburos

Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno

4.12 Laboratorio de Pruebas

El laboratorio de pruebas acreditado y aprobado conforme lo establece la Ley Federal sobre Metrología y Normalización

4.13 Ley

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización

4.14 Lixiviado

Líquido proveniente de residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos

4.15 Métodos Analíticos

Los métodos propuestos en el inciso 6 de esta Norma, mediante los cuales se harán los análisis para la caracterización de las muestras de los sitios contaminados por hidrocarburos

4.16 Muestreo dirigido

Tipo de muestreo casuístico que se lleva a cabo sobre determinados puntos, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado (normalmente uno solo) y se puede determinar la extensión de la afectación y el tiempo transcurrido desde el derrame

4.17 Muestreo estadístico

Muestreo realizado conforme los métodos matemáticos establecidos, cuya función es dar certidumbre a través de observaciones determinadas, sobre diferentes parámetros para el total del universo

4.18 Pasivo ambiental

Suelo, subsuelo, mantos freáticos y/o cuerpos de agua, que fueron contaminados mediante un proceso prolongado, cuya restauración no se ha efectuado, debido a una o varias de las siguientes condiciones: las dimensiones, las características específicas de la(s) sustancia(s) involucrada(s), el elevado costo y/o la complejidad; pero que implican una obligación de corrección de acuerdo al marco legal vigente.

4.19 Residuos aceitosos

Mezclas de hidrocarburos o residuos de hidrocarburos de cadena larga. En esta clasificación encontramos entre otros, al petróleo crudo, combustóleo, emulsiones y asfalto

4.20 Restauración

Es el conjunto de actividades tendientes a la recuperación y reestablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. En relación con el suelo, se entiende como el conjunto de acciones necesarias para recuperar y restablecer sus condiciones, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para el predio o zona respectiva. Para los propósitos de esta Norma, se utiliza el término restauración como sinónimo de remediación, reversión, saneamiento, limpieza, rehabilitación y regeneración.

4.21 Riesgo ambiental

La probabilidad de que las personas físicas o morales, a través de sus actividades, procesos o accidentes durante los mismos, afecten adversamente a los ecosistemas, o el bienestar, integridad y salud de la población.

4.22 Sitio

Lugar, espacio, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos, relacionados con suelos contaminados por materiales y residuos peligrosos.

4.23 Suelo

Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

4.24 Suelo contaminado

Aquél en el que se encuentran presentes uno o más materiales o residuos peligrosos y que puede constituir un riesgo para el ambiente y la salud.

4.25 Unidad de verificación

La persona física o moral acreditada y aprobada conforme a la Ley, que realiza actos de verificación.

4.26 Uso de suelo

Adaptación más o menos racional de la gestión de un territorio a las necesidades humanas.

4.27 Uso de suelo predominante

Uso de suelo o actividad cuyo desarrollo es congruente con las características y diagnóstico ambiental (aptitud territorial), responde a la estrategia de desarrollo definida por los planes de desarrollo de ordenamiento territorial, para esa porción del territorio; se pretende incentivar en función de las metas estratégicas regionales o tiene un mayor grado de ocupación de la unidad territorial

4.28 Verificación

La constatación ocular o comprobación mediante medición y pruebas que se realizan para evaluar la conformidad con esta Norma Oficial Mexicana.

5. Abreviaturas

5.1 BTEX

Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno

5.2 COATEA

Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales

5.3 DGMIC

Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes de la SEMARNAT.

5.4 EMA

Entidad Mexicana de Acreditación, A.C

5.5 EPA (siglas en inglés)

Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica

5.6 HTP

Hidrocarburos totales del petróleo

5.7 HAP

Hidrocarburos aromáticos polinucleares

5.8 p.p.m

Partículas por millón

5.9 PROFEPA

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

5.10 SEMARNAT

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

6. Límites máximos permisibles

6.1 Los productos asociados a los derrames de hidrocarburos para los que se establecen límites máximos permisibles de contaminación en suelos se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros a analizar asociados a los hidrocarburos para los que se establecen límites máximos permisibles de contaminación en suelos

Parámetro Productos	HTP Fracción de productos aceitosos	HTP Fracción de diesel	HTP Fracción de gasolina	BTEX	HAP
Petróleo crudo	X				X
Combustóleo	X				X
Emulsiones	X				X
Asfalto	X				X
Parafinas	X				X
Diesel		X			X
Turbosina		X			X
Keroseno		X			X
Aceites lubricantes		X			X
Vaselinas		X			X
Aceites combustibles ligeros		X			X
Gasavión			X	X	
Gasolvente			X	X	
Gasolina magna			X	X	
Gasolina premium			X	X	
Gas nafta			X	X	
Eter de petróleo			X	X	
Ligroina			X	X	
Thiner			X	X	
Producto alquilado			X	X	
Aromina			X	X	

6.2 Los límites máximos permisibles de contaminación en suelos por hidrocarburos, medidos en mg/kg (ppm), se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminación en suelos (valores referidos a base seca) mg/kg (ppm)

Contaminantes	Uso de suelo predominante ¹			Método analítico (EPA)
	Agrícola, forestal, recreativo y de conservación	Residencial comercial	Industrial	
<u>Gasolina</u>				
HTP	200.00	200.00	500.00	8015B
Benceno	20.00	20.00	50.00	8240*, 8260*
Tolueno	40.00	40.00	100.00	8240*, 8260*
Xilenos	40.00	40.00	100.00	8240*, 8260*

<u>Diesel</u>				
HTP	1,000.00	1,000.00	2,000.00	8015B
Benzo[a]pireno	0.08	0.08	0.80	8310*, 8270*
Benzo[a]antraceno	0.80	0.80	8.00	8310*, 8270*
Benzo[b]fluoranteno	0.80	0.80	8.00	8310*, 8270*
Benzo[k]fluoranteno	8.00	8.00	80.00	8310*, 8270*
Criseno	80.00	80.00	800.00	8310*, 8270*
<u>Productos aceitosos</u>				
HTP	1,000.00	1,000.00	2,000.00	418.1
Benzo[a]pireno	0.08	0.08	0.75	8310*, 8270*
Benzo[a]antraceno	0.80	0.80	7.50	8310*, 8270*
Benzo[b]fluoranteno	0.80	0.80	7.50	8310*, 8270*
Benzo[k]fluoranteno	8.00	8.00	75.00	8310*, 8270*
Criseno	80.00	80.00	750.00	8310*, 8270*

* Métodos analíticos alternativos

1 Para usos de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados

7. Caracterización del sitio

7.1 Elementos de la caracterización

7.1.1 La caracterización del sitio deberá contener los siguientes elementos:

- Estudios de campo del sitio.
- Muestreo y caracterización del sitio.
- Selección del equipo de muestreo apropiado
- Selección del recipiente apropiado y conservación de las muestras
- Número de muestras.
- Responsabilidades de la empresa muestreadora.
- Identificación de las muestras.
- Registro de la información del muestreo.

7.1.2 Estudios de campo del sitio

7.1.2.1 Deberá verificarse la documentación disponible acerca del sitio y del contaminante, a través del propietario del predio, de entrevistas a los vecinos sobre las actividades desarrolladas en el terreno, de reportes geológicos existentes, de planos geohidrológicos y de información municipal existente del sitio

7.1.2.1 Con base en la revisión documental citada en el punto anterior, se deberán realizar estudios directos de estratigrafía y edafología para determinar las condiciones reales del sitio a fin de poder realizar estimaciones correctas y apropiadas sobre el posible comportamiento del contaminante en el sitio afectado

7.1.2.2 Estos estudios deberán ser entregados a la PROFEPA para que cuente con elementos técnicos de análisis

7.1.2.3 Una vez conjuntada, revisada y evaluada dicha información, el responsable de la contaminación procederá a establecer la estrategia de muestreo.

7.1.3 Muestreo y caracterización del sitio

7.1.3.1 En el caso de eventos notificados como emergencias ambientales a PROFEPA, en los que se conoce el producto derramado (normalmente uno solo), y se puede determinar la extensión de la afectación y el tiempo transcurrido desde la ocurrencia del evento, se podrá aplicar el método de muestreo dirigido.

7.1.3.2 En el caso de sitios abandonados o pasivos ambientales, en los cuales se desconoce la extensión y la profundidad de la afectación, generalmente se tiene una mezcla de contaminantes y ha transcurrido un lapso prolongado desde que se depositaron los contaminantes, se aplicará el muestreo estadístico.

7.1.3.3 La metodología debe incluir los puntos seleccionados de muestreo, la profundidad y el número, volumen y tipos de muestras que habrán de tomarse.

7.1.4 Selección del equipo de muestreo apropiado

7.1.4.1 En la Tabla 3 se presenta una lista de equipo que se recomienda utilizar para la toma de muestras sólidas.

Tabla 3. Equipo para toma de muestras

Tipo de muestreador	Aplicación	Observación
Cuchara o cucharones	Se podrá aplicar este tipo de dispositivos para el muestreo de suelos hasta 0.3 metros de profundidad o cuando se deba realizar la toma de muestras en fondo de fosas o paredes de fosas.	Este tipo de dispositivo de muestreo, solamente se deberá aplicar en muestreos someros o como elemento auxiliar en la colección de muestras extraídas con barrenas
Barrenas (auger) de cualquier tipo	Únicamente se podrá utilizar este equipo cuando las condiciones particulares del sitio (por ejemplo, manto rocoso cercano a la superficie) impidan el uso de los nucleadores. Por ello, se debe realizar la descontaminación de la barrena antes de la toma de muestra y esta muestra no podrá ser utilizada para la determinación de compuestos orgánicos volátiles (http fracción gasolina y BTEX).	No existe restricción en cuanto al tipo de suelo y profundidad, solamente se restringe su uso en función del compuesto que se muestra.
Nucleadores	Uso general.	Los nucleadores podrán ser utilizados con tubos (liners) y tapas de teflón
Penetrómetros	Podrán ser utilizados para el muestreo de cualquier tipo de contaminante, pero previo a su uso se deberán descontaminar	El transvasado de la muestra de suelo al recipiente se deberá realizar con guantes de látex o equivalentes. Cuando se utilice para gasolina y compuestos orgánicos volátiles, la operación deberá realizarse inmediatamente
Tubo Shelby	Podrán ser utilizados para el muestreo de cualquier tipo de contaminante, pero previo a su uso se deberán descontaminar.	El trasvase de la muestra de suelo al recipiente se deberá realizar con guantes de látex o equivalentes. Cuando se utilice para gasolina y compuestos orgánicos volátiles, la operación deberá realizarse inmediatamente
Nucleadores por empuje directo	Uso general	Los nucleadores deberán ser utilizados con tubos (liners) y tapas de teflón.

2 Las muestras de suelo no podrán ser recolectadas de las barras o extensiones de la barrena, ya sea helicoidal (sólida o hueca), extensiones sólidas o de las uniones de las extensiones, es decir, solamente podrán ser tomadas de la sección de corte de la barrena

7.1.5 Selección del recipiente apropiado y conservación de las muestras

7.1.5.1 Para la selección del recipiente apropiado y la preservación de las muestras deben observarse las especificaciones contenidas en la Tabla 4; estos recipientes deberán ser nuevos o bien deberán haber sido aprobados por el laboratorio responsable del análisis

Tabla 4. Recipientes para las muestras, conservación y tiempo máximo de retención por tipo de parámetro

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de retención ²
Http Fracción aceites	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón.	Enfriar a 4°C	14 días
BTEX	Vial de vidrio, con tapa y sello de teflón	Enfriar a 4°C	7 días
HTP Fracción Gasolina	Liner de teflón (sumistro)	Enfriar a 4°C	14 días

Htp Fracción Diesel	original del fabricante del equipo de muestreo, si se emplea nucleador) con tapas de teflón.	Enfriar a 4°C	14 días
HAP		Enfriar a 4°C	14 días
Potencial de hidrógeno	Plástico o vidrio	No aplica	Análisis de inmediato

² El tiempo máximo de retención o tiempo máximo de almacenamiento se refiere al lapso que no deberá ser excedido desde que se toma la muestra hasta que se realiza la extracción del analito de interés.

7.1.6 Número de muestras

7.1.6.1 El número de muestras para garantizar la cobertura física, en extensión y profundidad, del suelo contaminado se determinará de acuerdo con los siguientes lineamientos:

7.1.6.1.1 Se deberá tomar una muestra simple (no compuesta) de suelo superficial (intervalo de profundidad 0.00 a 0.15 m) por cada 100 m² de área afectada. La toma de una muestra de suelo superficial por cada 100 m² no es limitativa, por lo que podrá tomarse más de una muestra superficial por cada 100 m².

7.1.6.1.2 Además de las muestras superficiales, se deberán tomar en cada uno de los puntos en los que se hayan tomado cada una de las muestras superficiales, una muestra simple por cada metro de profundidad que abarque desde los 0.15 m inmediatos anteriores a cada metro, hasta llegar a puntos donde el suelo esté por debajo del límite máximo permisible establecido.

7.1.6.1.3 En los casos en que por las particulares circunstancias del sitio afectado, la extensión, los intervalos de profundidad o la cantidad de muestras anteriormente señaladas sean modificados, se deberá justificar tal situación en el cuerpo de la propuesta de caracterización, con elementos técnicos verificables.

7.1.6.1.4 Como un procedimiento de aseguramiento de calidad, se tomará una muestra duplicada por cada cinco muestras tomadas.

7.1.6.1.5 Cuando se observe en la inspección que la afectación involucra líquidos que por su viscosidad tengan apariencia de sólidos, o cuando se trate de sólidos que no estén percolándose o infiltrándose, sólo se tomarán muestras superficiales.

7.1.6.1.6 Para disminuir la posibilidad de contaminación cruzada, el equipo de toma de muestras deberá ser cambiado por uno limpio o lavado con un detergente adecuado después de que la muestra haya sido tomada.

7.2 Responsabilidades de la empresa restauradora

7.2.1 Seleccionar los equipos y trajes individuales de protección personal contra los riesgos de origen químico, biológico y físico que puedan presentarse durante el muestreo

7.2.2 Proporcionarlos a todos los participantes, y

7.2.3 Verificar su correcto uso, mantenerlos, manejarlos y, en su caso, descontaminarlos, debiendo contar con registros de dichas operaciones

7.3 Identificación de las muestras

7.3.1 Cada muestra deberá ser etiquetada y sellada apropiada e inmediatamente después de ser tomada. En la etiqueta debe incluirse la profundidad a la que corresponden las muestras, el número de muestra, fecha y hora de recolección, punto de muestreo y nombre del técnico que lo realizó. Los sellos con papel adhesivo deberán estar debidamente firmados por quienes intervienen en la diligencia.

7.4 Registro de la información del muestreo

7.4.1 Toda la información pertinente con respecto al muestreo deberá quedar asentada en una bitácora foliada, la cual será resguardada por cinco años para cualquier aclaración posterior. Deberá registrarse como mínimo la siguiente información:

- a) Descripción y localización del sitio contaminado
- b) Localización de los puntos de muestreo
- c) Observaciones en campo
- d) Tipo de contaminante presente.
- e) Número y volumen de las muestras tomadas.
- f) Fecha y hora de recolección

- g) Número de identificación de la muestra.
- h) Distribución de la muestra.
- i) Mediciones realizadas en campo.
- j) Croquis con referencias de los puntos de muestreo.

7.4.2 En cualquier caso se debe anotar la información necesaria y suficiente para que otra persona pueda reconstruir la situación de muestreo.

7.5 Llenado y registro de la cadena de custodia

7.5.1 Para documentar formalmente la transportación y movimientos de las muestras desde el momento de su recolección hasta su ingreso al laboratorio, se debe llevar un registro de cadena de custodia, mismo que tendrá que acompañar a las muestras.

7.5.2 La cadena de custodia debe apegarse a los procedimientos autorizados a los laboratorios acreditados para realizar pruebas conforme a los métodos analíticos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma

7.6 Envío de las muestras al laboratorio

7.6.1 Cuando se envíe una muestra al laboratorio, deberá ser empacada de acuerdo a lo establecido en la Tabla 4 y se deberá verificar que llegue íntegra y con la temperatura establecida en la misma tabla

7.6.2 Todos los paquetes deberán estar acompañados por la cadena de custodia de análisis y el registro de la cadena de custodia, las cuales deben ser legibles en cada uno de los paquetes, adicionalmente deberá contener la dirección completa de la persona que manda el envío y la dirección del laboratorio que recibe las muestras

8. Procedimientos para la restauración de suelos en caso de emergencias ambientales.

8.1 Notificación

8.1.1 Las emergencias ambientales se notificarán a la PROFEPA de inmediato, y se ratificarán dentro de los tres días siguientes al día en que haya ocurrido el siniestro

8.1.2 El Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA), perteneciente a la PROFEPA, está facultado para proporcionar información sobre las características de riesgo y las medidas a considerar sobre la(s) sustancia(s) involucrada(s) en el evento.

8.1.3 La PROFEPA verificará en el lugar de la emergencia las primeras acciones para su control.

8.1.4 La PROFEPA levantará un acta de inspección a efecto de circunstanciar los hechos u omisiones detectados en el sitio

8.2 Muestreo y caracterización del sitio

8.2.1 El muestreo para la caracterización del sitio se llevará a cabo conforme quedó establecido en los numerales 7.1.3 a 7.1.6 y 7.3 a 7.6 de esta Norma

8.2.2 Se deberá dar aviso por escrito a la PROFEPA del inicio de los trabajos de caracterización con cinco días de anticipación

8.2.3 Los análisis de las muestras deberán ser efectuados por un laboratorio acreditado para realizar pruebas de acuerdo a los métodos analíticos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma.

8.2.4 Para determinar si se requiere de la restauración de un suelo contaminado por hidrocarburos se deberán considerar los límites máximos permisibles de contaminación de suelos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma

8.2.5 En el caso de que las pruebas de laboratorio indiquen que existe contaminación de agua (superficial y/o subterránea) la CNA procederá a la aplicación de los procedimientos establecidos en el Manual de Atención de Emergencias Hidroecológicas Relacionadas con las Aguas Nacionales Continentales

8.2.6 En el caso de que los resultados de los análisis de las muestras tomadas en la caracterización se encuentren niveles de contaminación iguales o menores a los límites máximos permisibles de contaminación en suelos, establecidos en el numeral 6.1 de esta Norma, no serán necesarios los trabajos de restauración; sin embargo, la PROFEPA podrá solicitar la restitución de vegetación o la reparación de algún otro daño ocasionado a los recursos naturales

8.3 Restauración del sitio

8.3.1 En el caso de que los resultados del laboratorio se encuentren por arriba de los límites máximos permisibles de contaminación en suelos, establecidos en el numeral 6.1 de esta Norma, el responsable de la contaminación, deberá presentar a la Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes de la SEMARNAT, una propuesta de restauración de suelo en la que se indiquen, entre otras cosas, la metodología por seguir y el tiempo en que se llevará a cabo.

8.3.2 Las observaciones sobre la propuesta de restauración a que se refiere el numeral 8.3.1 de esta Norma, que, en su caso, formule la DGMIC, deberá comunicárselas al responsable de la contaminación durante las 24 horas siguientes cuando se trate de una emergencia ambiental, o en los 10 días posteriores en otros casos.

8.3.3 En la propuesta de restauración se deberán tomar en cuenta los siguientes criterios

8.3.3.1 Considerar el control o tratamiento de emisiones y efluentes, en caso de que los contaminantes se puedan transferir de una matriz a otra

8.3.3.2 No generar mayores disturbios ambientales que los producidos por el derrame. Queda prohibida la dilución de suelo contaminado, entendiéndose por ello la mezcla de suelo contaminado con suelo limpio o menos contaminado.

8.3.3.3 Cuando se utilicen en el lavado de suelos fórmulas comerciales, agentes tensoactivos u otros compuestos como sustratos, se deberá cuidar que los productos resultantes de las reacciones no representen un riesgo mayor al ambiente y a la preservación del hábitat natural de las especies de flora y fauna. No deberán utilizarse agentes químicos oxidantes como sustitutos de procesos de carácter biológico. Cuando las actividades de limpieza impliquen la construcción de obra civil o hidráulica adicional a la existente se deberá presentar una manifestación de impacto ambiental.

8.3.4 Solamente en aquellos sitios en los que el responsable de la contaminación demuestre mediante testimonios documentales que no es factible cumplir con los límites máximos permisibles de contaminación en suelos, establecidos en los numerales 6.1 y 6.2 de esta Norma, y que los niveles alcanzados no representan riesgo al medio ambiente y/o a la preservación del hábitat natural de las especies de flora y fauna, la DGMIC podrá autorizar por excepción, niveles de limpieza diferentes.

8.3.5 El responsable de la contaminación comunicará a la PROFEPA, con 10 días hábiles de anticipación, el término de los trabajos de restauración del suelo, para que el personal de ésta asista al sitio en un plazo no mayor de 10 días hábiles a fin de supervisar la toma de muestras en los puntos que, bajo los criterios técnicos establecidos en esta Norma, seleccionen los inspectores de la PROFEPA. Las muestras deberán enviarse a un laboratorio acreditado ante una entidad mexicana de acreditación para realizar pruebas de acuerdo a los métodos analíticos establecidos en el numeral 6.2 de esta Norma.

8.4 Liberación del sitio

8.4.1 Una vez recibidos en la PROFEPA los resultados de los análisis de las muestras del suelo de acuerdo a lo establecido en el numeral 8.2.1 de esta Norma, ésta analizará dicha información y determinará lo conducente, en un plazo no mayor a diez días hábiles, pudiendo dar por concluidos los trabajos de restauración, siempre y cuando no haya contaminación de agua superficial, subterránea o sedimentos, en cuyo caso, la PROFEPA se deberá coordinar con la Comisión Nacional del Agua para, de conformidad, dar por terminados los trabajos de restauración.

9. Evaluación de la conformidad

9.1 La evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia será realizada por la SEMARNAT.

9.2 En el caso de lo dispuesto en los numerales 7.1.3.1 a 7.1.3.3, 7.1.4.1, 7.1.5.1, 7.1.6.1 a 7.1.6.6, 7.2.1 a 7.2.3, 7.3.1, 7.4.1, 7.4.2, 7.5.1, 7.5.2, 7.6.1 y 7.6.2, la evaluación de la conformidad podrá ser realizada por los laboratorios acreditados ante una entidad mexicana de acreditación, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

10. Grado de concordancia con normas internacionales

Esta Norma no coincide con ninguna Norma Internacional por no existir Norma Internacional sobre el tema que integre las disposiciones técnicas y de procedimientos que se establecen en la presente Norma. Sin embargo, ésta se elaboró con base en métodos analíticos y fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

11. Bibliografía

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Lineamientos Finales para la Evaluación de Exposiciones. FR 57 (104) 22888-22938. 1992.

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Metas Preliminares para la Región IX (PRGs). 1999. <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg>

Agencia de los Estados Unidos para la Protección al Medio Ambiente (EPA). Remediaciones Supuestas Caracterización del Sitio y Selección de Tecnologías para Sitios Contaminados con Componentes Orgánicos Volátiles en Suelos. Referencias Rápidas. Oficina de Emergencias y División de Control 5203G de Respuestas de Remediación en Sitios Peligrosos.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Análisis de Hidrocarburos del Petróleo en el Medio Ambiente (Volumen 1) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1998.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. Evaluación de Riesgo a la Salud de Sitios Liberados de Petróleo: Implementación de los Acercamientos del Grupo de Trabajo (Volumen 4) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1997.

Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo Selección de fracciones representativas de HTP basada en consideraciones de transporte y destino. (Volumen 3) Amherst Scientific Publishers Amherst, Massachusetts 1997.

Grupo de Trabajo PROFEPA-SEMARNAT Procedimiento para Atención de Emergencias Ambientales, Asociadas con Sustancias Químicas. Caracterización y Restauración de Suelos, Documento Interno México, mayo de 2002.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 17a. Edición. Porrúa México 1999

Ley de Aguas Nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1992

Reglamento a la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de noviembre de 1998. México, 1998

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de enero de 1994. México, 1994.

Saval, Susana. Remediación y restauración. En. Pemex Ambiente y Energía, Los Retos del Futuro. UNAM-Petróleos Mexicanos, México, 1995. Págs.151-189.

Saval, Susana. La Biorremediación como alternativa para la limpieza de sitios contaminados con hidrocarburos. En Memorias del Seminario Internacional sobre Restauración de Sitios Contaminados, Instituto Nacional de Ecología, México, 26 al 29 de mayo, México. 1997 Págs. 141-147.

Saval, Susana Exitos y fracasos de la remediación de suelos En: Conservación y Restauración de Suelos, UNAM, PUMA, SEMARNAP, Editores. Christina Siebe *et al.*, México, 1999. Págs. 511-526.

Seoanez Calvo, Mariano *et al* Contaminación del suelo estudios, tratamiento y gestión. 1996. Ed Mundi-Prensa, Barcelona

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group. Human Health Risk-based Evaluation of Petroleum Release Sites. Implementing The Working Group Approach (Volume 4) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts 1997.

Seoanez Calvo, Manano El gran diccionario del medio ambiente y la contaminación. Mundi-Reusa/Coediciones. México, 1997.

12. Observancia de esta Norma

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y la Comisión Nacional del Agua, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales y demás disposiciones legales aplicables.

TRANSITORIO

UNICO.- La presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia, entrará en vigor el día siguiente a su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

México, Distrito Federal, a los dos días del mes de agosto de dos mil dos.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, **Cassio Luiselli Fernández** - Rúbrica.

NORMA Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-2000, Protección ambiental-Bifenilos policlorados (BPC's)-Especificaciones de manejo.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-133-ECOL-2000, PROTECCION AMBIENTAL-BIFENILOS POLICLORADOS (BPC's)-ESPECIFICACIONES DE MANEJO.

CASSIO LUISELLI FERNANDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en los artículos 32 bis fracciones I y IV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 6o. fracción VIII del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 5o. fracciones V y VI, 6o., 36, 37, 37 bis, 150, 151, 151 bis, 153 fracción I, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38, 39 y 40 de su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos; y 38 fracción II, 40 fracción X, 45, 46 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto por el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización con fecha 10 de enero de 2000 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, con carácter de proyecto la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de PROY-NOM-133-ECOL-1999, Que establece las especificaciones para el manejo de bifenilos policlorados (BPC's), con el fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, posteriores a la fecha de su publicación presentarán sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución número 1425, mezzanine, planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Alvaro Obregón, código postal 01040, México, Distrito Federal.

Que durante el mencionado plazo, la Manifestación de Impacto Regulatorio del citado Proyecto de Norma, estuvo a disposición del público para su consulta en el Centro de Información Documental del Instituto Nacional de Ecología, ubicado en la planta baja del domicilio antes citado.

Que de acuerdo a lo establecido en el artículo 47 fracciones II y III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma en cuestión, los cuales fueron analizados por el citado Comité realizándose las modificaciones procedentes al proyecto; las respuestas a los comentarios antes citados fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el día 18 de enero de 2001.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, aprobó la presente Norma Oficial Mexicana.

Por lo expuesto y fundado he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-2000, Protección ambiental-Bifenilos policlorados (BPC's)-Especificaciones de manejo.

INDICE

1. Introducción
2. Objetivo
3. Campo de aplicación
4. Referencias
5. Definiciones
6. Especificaciones
7. Restricciones para el uso de bifenilos policlorados (BPC's)
8. Métodos de clasificación
9. Etiquetado y marcado
10. Almacenamiento
11. Transporte
12. Reclasificación, desincorporación y acondicionamiento, descontaminación, reciclaje y disposición final
13. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas . tomadas como base para su elaboración
14. Bibliografía
15. Observancia de esta Norma Transitorios Anexos

1. Introducción

La existencia de bifenilos policlorados (BPC's) es uno de los problemas ecológicos que tiene nuestro país, ya que representan un riesgo potencial para la salud, el medio ambiente y el equilibrio ecológico. Por ello se requiere la instrumentación de mecanismos técnicos y jurídicos que permitan dar un manejo adecuado a los BPC's y sus residuos.

2. Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones de protección ambiental para el manejo de equipos, equipos eléctricos, equipos contaminados, líquidos, sólidos y residuos peligrosos que contengan o estén contaminados con bifenilos policlorados y los plazos para su eliminación, mediante su desincorporación, reclasificación y descontaminación.

3. Campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para todas las personas físicas o morales que posean los citados equipos, productos, líquidos, sólidos y residuos peligrosos que contengan o estén contaminados con BPC's, así como para las empresas que presten servicios relacionados con el manejo de los mismos.

4. Referencias

Norma Oficial Mexicana **NOM-052-ECOL-1993**, Que 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, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de octubre de 1993.

Norma Oficial Mexicana **NOM-054-ECOL-1993**, Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de octubre de 1993.

Las normas oficiales mexicanas citadas con anterioridad, contienen la nomenclatura en términos del Acuerdo Secretarial mediante el cual se modifica la nomenclatura de 58 normas oficiales mexicanas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1994.

5. Definiciones

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en materia de Residuos Peligrosos y las siguientes:

- 5.1 **Acondicionamiento:** Acción de preparar para su almacenamiento y transporte en condiciones de seguridad, equipos BPC's, equipo contaminado BPC's, equipo eléctrico BPC's, líquidos BPC's, residuo peligroso BPC's y sólidos BPC's.
- 5.2 **Aviso de inscripción como empresa generadora (poseedora) de residuos peligrosos Trámite INE-04-004-B:** Manifiesto para el generador de bifenilos policlorados (BPC's) incluido en el Acuerdo Secretarial por el que se dan a conocer los trámites inscritos en el Registro Federal de Trámites Empresariales que aplica la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y sus órganos administrativos desconcentrados y se establecen diversas medidas de mejora regulatoria, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de febrero de 2000.
- 5.3 **Bifenilos policlorados (BPC's):** Compuestos químicos que comprenden la molécula de bifenilo clorada de composición química $C_{12}H_{10}Cl_n$, cuyas propiedades dependen de la cantidad y posición de los átomos de cloro en la molécula.
- 5.4 **Comprobante de destrucción:** Documento por medio del cual, la empresa prestadora del servicio comprueba que como resultado del tratamiento de los equipos BPC's, equipo contaminado BPC's, equipo eléctrico BPC's, líquidos BPC's, residuo peligroso BPC's y sólidos BPC's se ha obtenido o no material residual BPC's, o bien, han sido eliminados por cualquiera de los métodos autorizados por la Secretaría.
- 5.5 **Descontaminación:** Proceso de tratamiento que reduce la concentración de BPC's a valores menores de 50 ppm o 100 g/100 cm² en equipos, materiales y residuos con la finalidad de que durante su manejo se reduzca el riesgo de contaminación para la salud y el medio ambiente.
- 5.6 **Desincorporación:** Retirar del servicio todos los equipos BPC's y equipos eléctricos BPC's que se encuentren en operación.
- 5.7 **Eliminación:** Cambio en la estructura química de los BPC's con la cual dejan de ser bifenilos o su concentración final es menor de 50 ppm o 100 g/100 cm².
- 5.8 **Equipo BPC's:** Equipo industrial de uso no eléctrico que utiliza BPC's en su operación.
- 5.9 **Equipo contaminado BPC's:** Equipo industrial manufacturado o llenado con fluidos diferentes a los BPC's y todo aquel que haya estado en contacto con BPC's y que contienen una concentración igual o mayor a 50 ppm o 100 g/100 cm² de BPC's.
- 5.10 **Equipo eléctrico BPC's:** Se considera el equipo eléctrico que utiliza líquido BPC's, incluyendo capacitores y transformadores.
- 5.11 **Poseedor:** Persona física o moral que esté en posesión de BPC's, equipos BPC's, equipo eléctrico BPC's, equipo contaminado BPC's y residuos sólidos o líquidos que los contengan.
- 5.12 **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.**
- 5.13 **Líquidos BPC's:** Cualquier líquido que contenga una concentración igual o mayor a 50 ppm de BPC's; incluidos pero no limitados a fluidos BPC's comerciales puros o mezclas.
- 5.14 **Material residual con BPC's:** Cualquier material sólido o líquido que estuvo en contacto directo con BPC's y que contiene más de 2 ppm o 10 g/100 cm², pero menos de 50 ppm o 100 g/100 cm².
- 5.15 **Manejo de bifenilos policlorados:** El conjunto de operaciones que incluyen su uso, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, transporte y disposición final.
- 5.16 **ppm:** Partes por millón o mg/kg.

- 5.17 **ppb**: Partes por billón o g/kg. !!!???
- 5.18 **Reclasificación**: Procedimiento por el cual, los equipos eléctricos BPC's, los equipos BPC's y equipos contaminados BPC's se someten a un tratamiento para eliminar la concentración de BPC's, o reducir la concentración de los mismos por abajo de las 50 ppm o 100 g/100 cm².
- 5.19 **Reciclaje de materiales que contienen BPC's**: Método de transformación que permita obtener materiales susceptibles de ser reutilizados en procesos industriales.
- 5.20 **Residuo peligroso BPC's**: Todos aquellos residuos en cualquier estado físico que contengan bifenilos policlorados en una concentración igual o mayor a 50 ppm o 100 g/100 cm², así como cualquier material que entre en contacto directo con BPC's en alguna actividad, incluida la ropa de trabajo.
- 5.21 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (**SEMARNAT**).
- 5.22 **Sitios sensibles**: Instalaciones no industriales con afluencia de personas, y sitios que representen un riesgo potencial de exposición a BPC's y sitios donde se procesen o distribuyan alimentos.
- 5.23 **Sólidos BPC's**: Cualquier sólido que contenga una concentración igual o mayor a 50 ppm o 100 g/100 cm² de BPC's.
- 5.24 **Tratamiento de BPC's**: Todos aquellos procesos físicos, químicos, térmicos y biológicos, diseñados para eliminar o descontaminar los equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's, materiales y equipos contaminados BPC's, líquidos BPC's, sólidos BPC's o la composición de los residuos BPC's.

6. Especificaciones

- 6.1 El manejo de equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's, equipos contaminados BPC's, líquidos BPC's, sólidos BPC's y residuos peligrosos BPC's requieren autorización previa de la Secretaría.
- 6.2 Los poseedores de equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's, líquidos y sólidos BPC's, equipos contaminados y residuos peligrosos BPC's deben presentar ante la Secretaría el aviso de inscripción como empresa generadora (poseedora) de residuos peligrosos modalidad INE-04-004-B, Manifiesto para el generador de bifenilos policlorados (BPC's), incluyendo el inventario de los mismos a más tardar tres meses después de la entrada en vigor de la presente Norma y un programa de reclasificación o desincorporación de equipos que se encuentren en operación, a más tardar seis meses después de la entrada en vigor de la Norma. Dicho programa deberá contemplar los plazos de eliminación indicados en la Tabla 1:

TABLA 1 FECHAS LIMITE DE ELIMINACION

EQUIPOS BPC	UBICACION	FECHA LIMITE DE ELIMINACIÓN
Equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's y residuos BPC's almacenados antes de la publicación de esta Norma	Todos los sitios	Un año a partir de que la presente Norma entre en vigor
Equipos BPC's	Sitios sensibles	
Equipo eléctrico BPC's Equipos contaminados BPC's	Instalaciones y subestaciones urbanas, rurales e industriales	31 diciembre 2008
Residuos generados durante el periodo de desincorporación / equipos desincorporados	Todos los sitios	Nueve meses después de desincorporarlos

- 6.3 Los poseedores de BPC's deben llevar una bitácora, que incluya entradas y salidas del almacén de equipos: BPC's, equipos eléctricos BPC's, equipo contaminado BPC's, residuos peligrosos BPC's,

embarques, cantidad total de BPC's dispuestos, comprobantes de destrucción y reportes de las diferentes actividades relacionadas.

- 6.4 Todos los poseedores de BPC's deben presentar un informe anual ante la Secretaría, a más tardar el 31 de enero de cada año, que incluya un resumen de inventarios actualizado de equipo en operación y residuos peligrosos BPC's, cantidades de equipos BPC's, equipo eléctrico BPC's, equipo contaminado BPC's y equipos desincorporados y residuos tratados durante el año.
- 6.5 El equipo BPC's, equipo eléctrico BPC's y los que los contengan en concentraciones iguales o mayores a 50 ppm, deben reclasificarse o desincorporarse dentro de los plazos establecidos en la Tabla 1.
- 6.6 Los capacitores BPC's en operación deben ser evaluados en su funcionalidad, esto es inspeccionar visualmente en busca de fallas como sobrecalentamiento, arqueo, efecto corona, corrosión, fisuras en componentes de hule o plásticos, fisuras o roturas en aisladores de porcelana, fugas de algún material, componentes rotos, flojos o con fisuras y en caso de encontrar alguna de las fallas anteriores deben ser desincorporados del servicio.
- 6.7 Los transformadores en operación, fabricados con BPC's deben inspeccionarse cada tres meses para detección de fugas, goteos, filtraciones o derrames de fluidos. En caso de detectarse algún derrame, se deberá dar aviso inmediato de los hechos y las acciones a la Secretaría y deberá ser ratificada por escrito dentro de los tres días siguientes al día en que ocurran los hechos con base en lo establecido en el artículo 42 del Reglamento de la Ley en Materia de Residuos Peligrosos. En caso necesario se reprogramará la desincorporación de ese equipo tomando las medidas de seguridad necesarias para las actividades de limpieza correspondientes que eviten la contaminación de la instalación.
- 6.8 Se deben mantener los documentos y registros de las actividades de inspección, mantenimiento y limpieza que se realicen a los equipos eléctricos BPC's y equipo BPC's y deben estar disponibles durante cinco años para verificación por parte de la Secretaría cuando así lo requiera.
- 6.9 Los poseedores de BPC's deben contar con planes para contingencias en la atención de emergencias y equipo especial de seguridad, para casos de derrames o accidentes con los mismos.
- 6.10 Las superficies contaminadas con BPC's durante un derrame, excepto suelo natural, deben limpiarse hasta una concentración menor de 10 g/100 cm² y los productos contaminados con BPC's, deben removerse e integrarse como residuos BPC's, y manejarse conforme a las disposiciones establecidas en esta Norma.
- 6.11 Se debe tener un registro del control y limpieza de derrames que incluya, entre otros aspectos, identificación y localización de la fuente, fecha del siniestro, aviso a la Secretaría, fecha de limpieza de materiales contaminados, muestreo para determinar la magnitud del derrame, excavación y suelo removido, superficies sólidas limpias y metodología utilizada en la limpieza del lugar.
- 6.12 Todo el equipo eléctrico que contiene fluidos dieléctricos se considera contaminado cuando contiene una concentración igual o mayor a 50 ppm de BPC's, a menos que la información de la placa de identificación del equipo o un informe de análisis químico realizado por un laboratorio acreditado y aprobado, especifique que no contiene BPC's o que su contenido es menor a 50 ppm.
- 6.13 Las balastras de lámparas de luz fluorescentes fabricadas antes de 1980 y aquellas que carezcan de fecha de fabricación deberán considerarse como equipo eléctrico BPC's.
- 6.14 Para actividades de mantenimiento que involucren adición o cambio de fluido, en equipos eléctricos BPC's, equipos BPC's y equipo contaminado BPC's se deben utilizar fluidos con concentraciones menores a 50 ppm de BPC's.
- 6.15 Todos los equipos y materiales involucrados en los procesos que entren en contacto directo con líquidos BPC's y los residuos que se generen, se consideran residuos peligrosos BPC's.

7. Restricciones para el uso de bifenilos policlorados (BPC's)

- 7.1 Los fluidos recuperados de equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's, equipos contaminados BPC's y equipos reparados que hayan contenido este tipo de fluido, deben tener una concentración menor de 50 ppm de BPC's conforme a un informe de resultados emitido por un laboratorio acreditado y aprobado para poder manejarse como material residual con BPC's.

7.2 El equipo eléctrico BPC's, equipo BPC's y equipo contaminado con BPC's, deben desincorporarse o reclasificarse de conformidad con las fechas de la Tabla 1 o cuando: a) Requieran mantenimiento correctivo; b) Sea necesaria su reconstrucción, o c) Llegue al final de su vida útil.

8. Métodos de clasificación

8.1 El equipo en operación y fuera de servicio debe clasificarse como equipo BPC's o equipo eléctrico BPC's, al localizar en la placa de identificación de éstos cualquiera de los nombres de fluidos BPC's comerciales descritos en el Anexo 1.

8.2 Los poseedores de fluidos dieléctricos almacenados, en operación y fuera de servicio que no cuenten con letreros, marcas, placas de identificación o no se tengan las pruebas documentales correspondientes, deberán demostrar que no contienen BPC's a través de los métodos analíticos aplicables.

8.3 Los poseedores de equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's y equipos contaminados BPC's deben contar con el comprobante de descontaminación que avale que los equipos reclasificados o tratados, contienen concentraciones menores de 50 ppm o 100 g/100 cm² de BPC's.

9. Etiquetado y marcado

9.1 Todos los equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's y equipos contaminados BPC's y residuos con concentraciones iguales o mayores a 50 ppm de BPC's o 100 g/100 cm² deben estar debidamente etiquetados.

9.2 Las etiquetas, marcas y letreros para identificar BPC's deben ser de forma cuadrada, proporcional al tamaño de la superficie del equipo a identificar, fondo de color amarillo, letras negras resaltando las cuatro primeras líneas y rebordes negros, conteniendo la información que se presenta en el Anexo 2.

9.3 Las etiquetas deben mantenerse en condiciones legibles hasta el momento de su tratamiento o disposición final.

10. Almacenamiento

10.1 Todas las áreas específicas donde se almacenen los BPC's deben estar debidamente señalizadas.

10.2 Los equipos eléctricos BPC's, equipo BPC's, equipos contaminados BPC's que se desincorporen, así como líquidos BPC's, sólidos BPC's y residuos peligrosos BPC's generados durante el periodo de desincorporación, solamente podrán permanecer en almacenamiento un máximo de seis meses para su tratamiento o eliminación.

10.3 Las características mínimas con las que debe cumplir una instalación para almacenamiento de residuos peligrosos BPC's deben ser las establecidas en la Ley, su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y en la normatividad aplicable.

10.4. Los líquidos y residuos peligrosos BPC's excepto equipos, deben ser almacenados en envases cerrados, debidamente etiquetados.

10.5 Cualquier aditamento o equipo utilizado por el poseedor o empresa de servicio, para manipular equipos, contenedores, fluidos, materiales o residuos que contienen más de 50 ppm o 100 g/100 cm² de BPC's, dentro del área de almacenamiento y que hayan estado en contacto directo con líquidos BPC's, no deben utilizarse para la operación de otro tipo de materiales mientras no se haya descontaminado.

11. Transporte

11.1 El transporte de equipos y residuos BPC's o contaminados solamente podrá realizarse por vía terrestre o marítima, cumpliendo con los requisitos establecidos por la Secretaría, las leyes, reglamentos aplicables en la materia y las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y, en su caso, con la normatividad internacional aplicable en la materia.

11.2 Los recipientes y contenedores para el transporte de residuos BPC's deben apearse a la normatividad vigente en la materia y a las normas oficiales mexicanas, así como cumplir con las especificaciones internacionales para movimientos transfronterizos.

- 11.3 En caso de que la unidad de transporte se contamine por contacto directo con BPC's o sus residuos, ésta debe limpiarse hasta obtener una concentración máxima de 100 g/100 cm² para continuar utilizándose como transporte de BPC's. Sin embargo, si cambia el giro de materiales o residuos a transportar, la limpieza debe realizarse hasta obtener una concentración menor a 10 g/100 cm² de BPC's.
- 11.4 El transportista debe entregar su embarque únicamente a empresas de manejo de BPC's debidamente autorizadas por la Secretaría.
- 11.5 El transportista debe contar con los elementos necesarios para contener derrames que se pudieran presentar durante las operaciones de carga, tránsito y descarga de los equipos y residuos BPC's, así como con un directorio que incluya los números telefónicos de Protección Civil y de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente de las zonas por donde circule, de acuerdo con la normatividad vigente aplicable.
- 11.6 Los transportistas, tanto terrestres como marítimos, deben contar con un seguro de responsabilidad civil de cobertura amplia, que incluya daños a terceros en sus bienes y al ambiente, de acuerdo con la normatividad vigente aplicable en materia de transporte.

12. Reclasificación, desincorporación y acondicionamiento, descontaminación, reciclaje y disposición final.

- 12.1 Las empresas de servicio, con instalaciones fijas o móviles que lleven a cabo el manejo de los BPC's incluyendo procesos de reclasificación, desincorporación, acondicionamiento, eliminación y descontaminación, deben contar con la autorización correspondiente otorgada por la Secretaría. No se autorizará la exportación para confinamiento de equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's, equipos contaminados BPC's y residuos BPC's que contengan cualquier concentración de BPC's.
- 12.2 Los límites máximos permisibles para emisiones al medio ambiente por BPC's, para cualquier actividad o proceso industrial que trate equipos, materiales y residuos que contengan cualquier concentración de BPC's, son los descritos en la Tabla 2.

TABLA 2 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES AL MEDIO AMBIENTE DE BPC'S EN TRATAMIENTOS TERMICOS, QUIMICOS Y BIOLOGICOS

EMISIONES	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
EMISION A LA ATMÓSFERA	0,5 µg/m ³
AGUA RESIDUAL	5 µg/l
SÓLIDOS RESIDUALES*	< 50 mg/kg
* Los resultados deben ser mg/kg base seca	

- 12.3 Los líquidos, equipos y materiales con concentraciones iguales o mayores a 50 ppm o 100 g/100 cm² de BPC's, y cualquier sólido o residuo que no pueda descontaminarse deben tratarse por procesos de oxidación térmica u otros procesos autorizados.
- 12.4 Todos los equipos eléctricos que contienen elementos internos impregnados o sumergidos en fluidos dieléctricos con concentraciones igual o mayor a 50 ppm o 100 µg/100 cm² de BPC's (con excepción de los capacitores BPC's), pueden desmantelarse en sus componentes, para su descontaminación.
- 12.5 Las carcasas de los equipos, contenedores y cualquier material sólido que en algún momento estuvo en contacto directo con fluidos que contenían concentraciones iguales o mayores a 50 ppm o 100 µg/100 cm² de BPC's, deben descontaminarse para su reuso o reciclaje.
- 12.6 Las balastras de lámparas de gas conteniendo BPC's no deben reciclarse.
- 12.7 La utilización de líquidos BPC's como combustible alterno requiere autorización de la Secretaría.
- 12.8 En el caso de derrames al suelo natural con líquidos BPC's, se deben cumplir los límites máximos de contaminación de la Tabla 3, a fin de establecer las medidas de restauración aplicables.

TABLA 3 LIMITES MAXIMOS DE CONTAMINACION

USO DE SUELO	BPC's en mg/kg B.S.
AGRICOLA	0,5
RESIDENCIAL	5
INDUSTRIAL/COMERCIAL	25

Cuantificados en base seca (B.S.) y con la sumatoria de todos los congéneres de BPC's detectados

- 12.9 Para la exportación de equipos BPC's, equipos eléctricos BPC's, equipos contaminados BPC's y residuos BPC's, las empresas de servicio deben contar con la autorización previa para el manejo de BPC's que otorgue la Secretaría.
- 12.10 Los líquidos BPC's no deben diluirse con el objeto de cumplir con la observancia de esta Norma.

13. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración

Esta Norma Oficial Mexicana no concuerda con ninguna norma ni lineamiento internacional, tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

14. Bibliografía

- 14.1 Code of Federal Regulations, title 40, part 761, Polychlorinated biphenyls (PCB's) manufacturing, processing, distribution in commerce and use prohibition, 1995, USA (Código de Normas Federales, título 40, parte 761, bifenilos policlorados (BPC's) manufactura, procesado, distribución en comercio y prohibiciones de uso, E.U.A.).
- 14.2 Waste Management Act (Electronic version), Special waste regulations, Additional Requirements, part 4, BPC's Reg. 63/88, Deposited february 18, 1988, o.c. 268/88, effective April 1, 1988 (Includes amendments up to B.C. Reg. 52/95) Province of British Columbia, Canadian: http://www.gp.gov.b.regs/lps/r63_88.htm. (Acta para administración de residuos-Versión electrónica, normas de residuos especiales; requerimientos adicionales, parte 4, BPC's Reg. 63/88, depositado el 1 de febrero de 1988, o.c. 268/88, efectivo al 1o. de abril de 1988 (incluye enmiendas posteriores a B.C. Reg. 52/95), Provincia de Columbia Británica, Canadá).
- 14.3 CCME-TS/WM-TRE011E, Guidelines for Mobile polychlorinated biphenyls destruction systems, Canadian Council of Ministers of the Environment. 1990 (Directrices para sistemas de destrucción móviles de bifenilos policlorados, Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente).
- 14.4 CCME-TS/WM-TRE012E, Guidelines for mobile polychlorinated biphenyls treatment systems, Canadian Council of Ministers of the Environment, 1990 (Directrices para sistemas de tratamiento móviles de bifenilos policlorados, Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente).
- 14.5 PCB Disposal Manual, EPRI Final report No. CS-4098, 1985 (Manual de disposición de BPC, Instituto de Investigación de Energía Eléctrica).
- 14.6 IEEE Guide for Handling and Disposal of Transformer Grade Insulating Liquids Containing PCB's, ANSI/IEEE Std 799-1987, 1987 (Guía para el manejo y disposición de transformadores con líquidos aislantes que contengan BPC's).
- 14.7 Code of Federal Regulations, title 40, parte 136, apéndice B.
- 14.8 Code of Federal Regulations, title 40, parte 131: 4270.
- 14.9 ASTM D2283-70 Standard Specification for Chlorinated Aromatic Hydrocarbons for Capacitors/American Society for Testing and Materials.
- 14.10 ASTM D2283-71 Standard Specification for Chlorinated Aromatic Hydrocarbons for Transformers/American Society for Testing and Materials.

14.11 ASTM Anual Book of Standards, part 31, D3370-76.

14.12 Review of Chlorinated Biphenyl in Natural Waters, Vehth, G.D. and G.F. Ler.

15. Observancia de esta Norma

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los sesenta días posteriores al de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

SEGUNDO.- La Secretaría a los dos años de entrada en vigor de la presente Norma, con base en los resultados que se hayan obtenido en su cumplimiento, promoverá la revisión de la Tabla 1 de la misma.

TERCERO.- Provéase la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el **Diario Oficial de la Federación**, México, Distrito Federal, a los nueve días del mes de noviembre de dos mil uno.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental, **Cassio Luiselli Fernández**.- Rúbrica.

ANEXO 1

IDENTIFICACION DE BIFENILOS POLICLORADOS (BPC's)

A. Por placa de identificación

Los equipos industriales en general cuentan con una placa de identificación en la que se describe, entre otras cosas, el tipo de fluido que utilizan y la cantidad. En el caso de equipo eléctrico, si la designación del líquido inicia con la letra L como LFAF, LFAN, LFWN, LNP, LNS, LNW y LNWN o bien, coincide con alguno de los nombres de la lista que se describe a continuación, es indicativo de que el equipo contiene bifenilos policlorados. Las marcas comerciales y sinónimos con que se conoce a los bifenilos policlorados o BPC's son los siguientes:

ACECLOR	DELOR	HYVOL	PHENOCLOR
APIROLO	DIACLOR	INCLOR	PYDRAUL
AROCLOR	DK	INERTEEN	PYRALENE
ASBESTOL	DP	KANECHLOR	PYRANOL
ASKAREL	DYKANOL o DYCANOL	KENNECHLOR	PYROCLOR
BAKOLA 131	EEC-118	MCS-1489	SAFT-KUHL
CLOPHEN	ELECTROPHENYL	MONTAR	SANTOTHERN
CLORPHEN	ELEMEX	NEPOLIN	SAT-T-AMERICA
CHLOREXTOL	EUCAREL	NO FLAMOL	SOVIOL o SOVOL SOVTOL SOROL
CLORINOL	FENCLOR	PCB o PCB's	THERMINOL

En el caso de fluidos para equipos de transferencia de calor algunos de los BPC's empleados son: SANTOTHERN FR y THERMINOL FR; para los equipos de sistemas hidráulicos se usa PYDRAUL (cuando se agrega la letra E el fluido no contiene compuestos halogenados).

ANEXO 2

**PELIGRO
CONTIENE**

BPC's

(BIFENILOS POLICLORADOS)

NUMERO DE IDENTIFICACION: _____

CONCENTRACION: _____ **ppm**

SUSTANCIA TOXICA

REQUIERE MANEJO ESPECIAL

EN CASO DE ACCIDENTE O DERRAME, REPORTARLO A:

PROTECCION CIVIL TEL.: _____

PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE

TEL.: _____

NOMBRE DE LA EMPRESA (POSEEDOR) _____

TEL.: _____

Responsable: Dirección General de Estadística e Información Ambiental
Correo electrónico: pagina@semarnat.gob.mx

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

1999

LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA

Artículo 224

- V.- Por las aguas que regresen a su fuente original o que sean vertidas en cualquier otro sitio previamente autorizado por la Comisión Nacional del Agua en los términos de la Ley de Aguas Nacionales, siempre que tengan el certificado de calidad del agua expedido por esta última en los términos del Reglamento de la citada Ley, de que cumple los lineamientos de calidad del agua señalados en la tabla contenida en esta fracción, de acuerdo con el grado de calidad correspondiente al destino inmediato posterior y se acompañe una copia de dicho certificado a la declaración del ejercicio. Estos contribuyentes deberán tener instalado medidor tanto a la entrada como a la salida de las aguas.

El certificado a que se refiere el párrafo anterior será válido únicamente por el periodo del ejercicio fiscal por el que se expide.

El certificado de calidad del agua deberá solicitarse dentro de los tres primeros meses del ejercicio fiscal de que se trate. En caso de ser solicitado posteriormente al plazo antes señalado, el certificado será válido a partir del momento en que se solicitó.

Tabla Lineamientos de Calidad del Agua

Parámetros	USOS			
	1	2	3	4
Unidades en mg/l si no se indican otras				
Parámetros Inorgánicos				
Alcalinidad (como CaCO ₃)	400.0	-	(I)	(I)
Aluminio	0.02	5.0	0.05	0.2
Antimonio	0.1	0.1	0.09	-
Arsénico	0.05	0.1	0.2	0.04
Asbestos (Fibras/L)	3000	-	-	-
Bario	1.0	-	0.01	0.5
Berilio	0.005	0.5	0.003	0.1
Bromo	1.0	0.7 (II)	-	0.009 (III)
Cadmio	0.01	0.01	0.004	0.0002
Cianuro (como CN ⁻)	0.02	0.02	0.005 (III)	0.002
Cloruros (como Cl ⁻)	250	150	250	-
Cobre	1.0	0.20	0.05	0.01
Cromo Total	0.05	0.1	0.05	0.01
Hierro	0.3	5.0	1.0	0.05
Fluoruros (como F ⁻)	1.4	1.0	1.0	0.5
Fósforo Total	0.1	-	0.05	0.01
Manganeso	0.05	0.2	-	0.02
Mercurio	0.001	-	0.0005	0.0001
Níquel	0.01	0.2	0.6	0.002
Nitratos (NO ₃ -como N)	5.0	-	-	0.04
Nitritos (NO ₂ -como N)	0.05	-	-	0.01
Nitrógeno Ammoniacal (como N)	-	-	0.06	0.01
Oxígeno Disuelto	4.0	-	5.0	5.0
Plata	0.001	-	0.06	0.002
Plomo	0.05	0.5	0.03	0.01
Selenio (como Selenato)	0.01	0.02	0.003	0.005
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	250	250	-	-
Sulfuros (como H ₂ S)	0.2	-	0.002	0.002
Talio	0.01	-	0.01	0.02
Zinc	5.0	2.0	0.02	0.02

Parámetros	USOS			
	Unidades en mg/l si no se indican otras			
	1	2	3	4
Parámetros Orgánicos				
Aceftaeno	0 02	-	0 02	0 01
Acido 2,4 Diclороfenoхacético	0 1	-	-	-
Acronitrilo	0 0006	-	0 07	-
Acroleína	0 3	0 1	0 0007	0 0005
Aldrin	0 001	0 02	0 0003	0 0074
Benceno	0 01	-	0 05	0 005
Bencidina	0 0001	-	0 02	-
Bifenilos policlорados	0 0005	-	0 0005	0 0005
BHC	-	-	0 001	0 00004
BHC (Lindano)	0 003	-	0 002	0 0002
Bis (2-Cloroetil) Éter	0 0003	-	0 00238	-
Bis (2-Cloroisopropil) Éter	0 03	-	0 00238	-
Bis (2-Etilhexil) Ftalato	0 032	-	0 0094	0 02944
4-Bromofenil-Fenil-Éter	-	-	0 01	-
Bromoforno	0 002	-	-	-
Bromuro de Metilo	0 002	-	-	-
Carbono Orgánico	-	-	-	-
Extractable en Alcohol	1 5	-	-	-
Extractable en Cloroformo	0 3	-	-	-
Clordano (Mezcla Técnica de Metabolitos)	0 003	0 003	0 002	0 00009
Clorobenceno	0 02	-	0 0025	0 0016
2-Cloroetil-Vinil-Éter	-	-	0 5	-
2-Clorofenol	0 03	-	0 04	0 1
Cloroformo	0 03	-	0 03	0 1
CloroNafalenos	-	-	0 02	0 0001
Cloruro de Metileno	0 002	-	-	-
Cloruro de Metilo	0 002	-	-	-
Cloruro de Vinilo	0 005	-	-	-
DDD=Diclorofenildicloroetano	0 001	-	0 00001	0 00001
DDE=1,1 Di (Clorofenil)-2,2	-	0 04	0 01	0 0001
Dicloroetileno	-	-	-	-
DDT=1 1 Di (Clorofenil)-2,2 2	0 001	-	0 001	0 0001
Tricloroetano	-	-	-	-
Diclorobencenos	0 4	-	0 01	0 02
1,2 Dicloroetano	0 003	-	1 2	1 1
1,1 Dicloroetileno	0 003	-	0 116	2 24
1,2 Dicloroetileno	0 0003	-	0 116	2 24
2,4 Diclorofenol	0 03	-	0 02	-
1,2 Dicloropropano	-	-	0 2	0 1
1,2 Dicloropropileno	0 09	-	0 06	0 008
Dieldrin	0 001	0 02	0 002	0 0009
Dimftalato	0 35	-	0 0094	0 02944
1,2 Difenhidracina	0 0004	-	0 003	-
2,4 Dimetilfenol	0 4	-	0 02	-

Dimetilftalato	0 3	-	0 0094	0 02944
2,4 Dinitrofenol	0 07	-	0 002	0 05
Dinitro-o-Cresol	0 01	-	-	0 01
2 4 Dinitrotolueno	0 001	-	0 0033	0 0059
2,6 Dinitrotolueno	-	-	0 0033	0 0059
Endosulfan (Alfa y Beta)	0 07	-	0 0002	0 00003
Endrin	0 0005	-	0 00002	0 00004
Etilbenceno	0 3	-	0 1	0 5
Fenol	0 001	-	0 1	0 06
Fluoranteno	0 04	-	-	0 0004
Gases Disueltos	-	-	(V)	(V)
Halometanos	0 002	-	0 1	-
Heptacloro	0 0001	0 02	0 0005	0 0005
Hexaclorobenceno	0 00005	-	0 0025	0 0016
Hexaclorobuladeno	0 004	-	0 0009	0 0003
Hexaclorocicloпentadieno	0 001	-	0 0001	0 0001
Hexacloroetano	0 02	-	0 01	0 009
Hidrocarburos Aromáticos	0 0001	-	-	0 1
Polinucleares	-	-	-	-
Isofurona	0 052	-	1 2	0 1
Metoxiclоро	0 03	-	0 00005	0 00044
Naftaleno	-	-	0 02	0 02
Nitrobenzeno	0 020	-	0 3	0 07
2-Nitrofenol y 4-Nitrofenol	0 07	-	0 002	0 05
N-Nitrosodifenilamina	0 05	-	0 0585	0 033
N-Nitrosodimetilamina	0 0002	-	0 0585	0 033
N-Nitrosodi-N-Propilamina	-	-	0 0585	0 033
Paration	0 0001	-	0 0001	0 0001
Pentaclorofenol	0 03	-	0 0005	0 0005
Sustancias Activas al Azul de Metileno	0 5	-	0 1	0 1
2,3 7 8 Tetraclorodibenzo-P-Dioxina	0 0001	-	0 0001	0 0001
1,1,2,2 Tetracloroetano	0 002	-	0 09	0 009
Tetracloroetileno	0 008	-	0 05	0 1
Tetracloruro de Carbono	0 0002	-	0 3	0 5
Tolueno	0 7	-	0 2	0 06
Toxafeno	0 005	0 005	0 0002	0 0002
1,1,1 Tricloroetano	0 2	-	0 2	0 3
1,1,2 Tricloroetano	0 006	-	0 2	-
Tricloroetileno	0 03	-	0 01	0 02
2,4,6 Triclorofenol	0 01	-	0 01	-

Parámetros	USOS			
	Unidades en mg/l si no se indican otras			
	1	2	3	4
Parámetros Fisicos				
Color (unidades de escala Pt-Co)	75 0	-	15 0	15 0

Grasas y Aceites	10 0	-	10 0	10 0
Materia Flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Olor	Ausente	-	-	-
Potencial Hidrógeno (pH)	6 0 - 9 0	6 0 - 9 0	6 5 - 8 5	6 0 - 9 0
Sabor	Característico	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	500 0	500 0	-	-
Sólidos Suspensos Totales	50 0	50 0	30 0	30 0
Sólidos Totales	550 0	-	-	-
Temperatura (°C)	CN + 2 5	-	CN + 1 5	(7) + 1 5
Turbiedad (Unidades de Turbiedad Nefelométricas)	10	-	-	-
Parámetros Microbiológicos				
Cólores Fecales (NMP/100 ml)	1000	1000	1000	740

Para la aplicación de los valores contenidos en la tabla de lineamientos de calidad del agua, se deberá considerar lo siguiente:

USO 1: Fuente de abastecimiento para uso público urbano.

USO 2: Riego Agrícola.

USO 3: Protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales.

USO 4: Protección a la vida acuática: Aguas costeras y estuarios.

- (I): La alcalinidad natural no debe reducirse en más del 25%, ni cuando ésta sea igual o menor a 20 mg/l.
- (II): Cultivos sensibles al boro, un máximo de 0.75 mg/l; otros hasta 3 mg/l.
- (III): La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel, más de una vez cada año.

(IV): Cultivos sensibles 500-1000 mg/l; cultivos con manejo especial 1000-2000 mg/l; cultivos tolerantes en suelos permeables 2000-5000 mg/l; para frutas sensibles relación de absorción de sodio $RAS \leq 4$, y para forrajes de 8-18, cuando la descarga sea directamente a suelo con uso en riesgo agrícola.

(V) La concentración total de gases disueltos no debe exceder a 1.1 veces el valor de saturación en las condiciones hidrostáticas y atmosféricas prevalecientes.

C.N. Condiciones Naturales del sitio donde sea vertida la descarga de aguas residuales.

NMP= Número más probable. BHC=HCH=1,2,3,4,5,6 Hexaclorociclohexano. Niveles máximos en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

Lo dispuesto en esta fracción no será aplicable al agua que se use o aproveche para la generación de energía hidroeléctrica.

VI.- Por la explotación, extracción, uso o aprovechamiento de las aguas interiores salobres, cuando se obtenga certificado expedido por la Comisión Nacional del Agua en el que se establezca que dicha agua contiene más de 2,500 miligramos por litro, de sólidos disueltos totales, independientemente de si se desaliniza o se trata. Dicho certificado será válido durante tres ejercicios fiscales contado aquél en que fue expedido

LEYES

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (D.O.F. 5 de febrero de 1917)
- Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (D.O.F. 28 de enero de 1988) (Se incorporaron modificaciones publicadas en el D.O.F. de fecha 7 de enero de 2000)
- Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público (D.O.F. 4 de enero de 2000)
- Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas (D.O.F. 4 de enero de 2000)
- Ley de Aguas Nacionales (D.O.F. 1 de diciembre de 1992)
- Ley de Pesca (D.O.F. 25 de junio de 1992) (Incluye reformas publicadas en los D.O.F. del 30 de noviembre de 2000 y 8 de enero de 2001)
- Ley General de Vida Silvestre (D.O.F. 3 de Julio de 2000)
- Ley Federal de Procedimiento Administrativo (D.O.F. 4 de agosto de 1994) (Incluye reforma publicada en el D.O.F. de fecha 30 de mayo de 2000.)
- Ley Federal de Sanidad Animal (D.O.F. 18 de junio de 1993) (Incluye reforma publicada en el D.O.F. de fecha 12 de junio de 2000)
- Ley Federal de Sanidad Vegetal (D.O.F. 5 de enero de 1994)
- Ley Federal del Mar (D.O.F. 8 de enero de 1986)
- Ley Federal Sobre Metrología y Normalización (D.O.F. 1o. de julio de 1992) (Incluye Reformas publicadas en el D.O.F. de fecha 20 de mayo de 1997)
- Ley Forestal (D.O.F. 22 de diciembre de 1992) (Incluye Reforma publicada en el D.O.F. de fecha 20 de mayo de 1997)
- Ley General de Asentamientos Humanos (D.O.F. 21 de julio de 1993) (Se incorporaron modificaciones publicadas en el D.O.F. de fecha 5 de agosto de 1994)
- Ley General de Bienes Nacionales (D.O.F. 8 de enero de 1982) (Se incorporó la última modificación, publicada en el D.O.F. de fecha 29 de julio de 1994)
- Ley Minera (D.O.F. 26 de junio de 1992) (Se incorporaron modificaciones publicadas en el D.O.F. de fecha 24 de diciembre de 1996)
- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (D.O.F. 29 de diciembre de 1976) (Se incorporaron reformas publicadas en el D.O.F. de fecha 30 de noviembre de 2000)

Dr. Armando Soto Flores

**Director General de Control de Procedimientos Administrativos
y de Consulta**

Subprocuraduría Jurídica

Edificio AJUSCO

Carretera Picacho-Ajusco 200

Col. Jardines en la Montaña

Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.

asoto@correo.profepa.gob.mx

REGLAMENTOS

Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (D.O.F. 4 Junio de 2001)

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmosfera (D.O.F. 25 de noviembre de 1988)

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (D.O.F. 30 de mayo de 2000)

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (D.O.F. 25 de noviembre de 1988)

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para la Prevención y Control de la Contaminación Generada por los Vehículos Automotores que Circulan por el Distrito Federal y los Municipios de su Zona Conurbada (D.O.F. 25 de noviembre de 1988)

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Auditoría Ambiental (Dado en la Residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los veintidós días del mes de noviembre de dos mil)

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas (Dado en la Residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los veintidós días del mes de noviembre de dos mil)

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (D.O.F. 12 de enero de 1994) (Reforma publicada en el D.O.F. del 10 de diciembre de 1997)

Reglamento de la Ley de Pesca (Dado en la residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los veintiocho días del mes de septiembre de mil novecientos noventa y nueve)

Reglamento de la Ley de Sanidad Fitopecuaria de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Sanidad Vegetal (D.O.F. - 18 de enero de 1980)

Reglamento de la Ley Federal sobre Meteorología y Normalización (D.O.F. 14 de enero de 1999)

Reglamento de la Ley Forestal (D.O.F. 25 de septiembre de 1998)

Reglamento de Parques Nacionales e Internacionales (D.O.F. de fecha 20 de mayo de 1942)

Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (D.O.F. 7 de abril de 1993)

Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítima Terrestre y Terrenos ganados al Mar (D.O.F. 21 de agosto de 1991)

Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido (D.O.F. 6 de diciembre de 1982)

Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (D.O.F. 23 de enero de 1979)

Dr. Armando Soto Flores

Director General de Control de Procedimientos Administrativos

y de Consulta
Subprocuraduría Jurídica
Edificio AJUSCO
Carretera Picacho-Ajusco 200
Col. Jardines en la Montaña
Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.
asoto@correo.profepa.gob.mx

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERA DE AGUA

NOM-001-ECOL-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES (D. O. F. 6 de enero de 1997)

NOM-002-ECOL-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL (D. O. F. 3 de junio de 1998)

NOM-003-ECOL-1997 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997 QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO. (D. O. F. 21 de septiembre de 1998)

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERA DE RESIDUOS PELIGROSOS

NOM-052-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-ECOL-93, QUE ESTABLECE LAS CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS, EL LISTADO DE LOS MISMOS Y LOS LIMITES QUE HACEN A UN RESIDUO PELIGROSO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-053-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-053-ECOL-1993, QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO PARA LLEVAR A CABO LA PRUEBA DE EXTRACCION PARA DETERMINAR LOS CONSTITUYENTES QUE HACEN A UN RESIDUO PELIGROSO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-054-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-054-ECOL-1993, QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA INCOMPATIBILIDAD ENTRE DOS O MAS RESIDUOS CONSIDERADOS COMO PELIGROSOS POR LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-ECOL-1993 (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-055-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-055-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS AL CONFINAMIENTO CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS, EXCEPTO DE LOS RADIOACTIVOS. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-056-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-056-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-057-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-057-ECOL-1993, QUE ESTABLECE

LOS REQUISITOS QUE DEBEN OBSERVARSE EN EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACION DE CELDAS DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO PARA RESIDUOS PELIGROSOS. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-058-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-058-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA LA OPERACION DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-083-ECOL-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES. (D. O. F. 25 de noviembre de 1996)

NOM-087-ECOL-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-087-ECOL-1995, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA LA SEPARACIÓN, ENVASADO, ALMACENAMIENTO, RECOLECCION, TRANSPORTE, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS QUE SE GENERAN EN ESTABLECIMIENTOS QUE PRESTEN ATENCION MEDICA. (D. O. F. 7 de noviembre de 1995)

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERA DE CONTAMINACION ATMOSFERICA

NOM-034-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-034-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE MONOXIDO DE CARBONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION. (D. O. F. 18 de octubre de 1993)

NOM-035-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN EL AIRE AMBIENTE Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION (D. O. F. 18 de octubre de 1993)

NOM-036-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-036-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE OZONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION (D. O. F. 18 de octubre de 1993)

NOM-037-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-037-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE BIOXIDO DE NITROGENO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION. (D. O. F. 18 de octubre de 1993)

NOM-038-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-038-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE BIOXIDO DE AZUFRE EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION. (D. O. F. 18 de octubre de 1993)

NOM-039-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-039-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE BIOXIDO Y TRIOXIDO DE AZUFRE Y NEBLINAS DE ACIDO SULFURICO, EN PLANTAS PRODUCTORAS DE

ACIDO SULFURICO. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-040-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-040-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE PARTICULAS SOLIDAS, ASI COMO LOS REQUISITOS DE CONTROL DE EMISIONES FUGITIVAS, PROVENIENTES DE LAS FUENTES FIJAS DEDICADAS A LA FABRICACION DE CEMENTO. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-041-ECOL-1999 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-041-ECOL-1999, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACION QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE. (D. O. F. 6 de agosto de 1999)

NOM-042-ECOL-1999 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-042-ECOL-1999, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE HIDROCARBUROS NO QUEMADOS, MONOXIDO DE CARBONO, OXIDOS DE NITROGENO Y PARTICULAS SUSPENDIDAS PROVENIENTES DEL ESCAPE DE VEHICULOS AUTOMOTORES NUEVOS EN PLANTA, ASI COMO DE HIDROCARBUROS EVAPORATIVOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETROLEO, GAS NATURAL Y DIESEL DE LOS MISMOS, CON PESO BRUTO VEHICULAR QUE NO EXCEDA LOS 3,856 KILOGRAMOS. (D. O. F. 6 de septiembre de 1999)

NOM-043-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-043-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE PARTICULAS SOLIDAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-044-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-044-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE HIDROCARBUROS, MONOXIDO DE CARBONO, OXIDOS DE NITROGENO, PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y OPACIDAD DE HUMO PROVENIENTES DEL ESCAPE DE MOTORES NUEVOS QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE Y QUE SE UTILIZARAN PARA LA PROPULSION DE VEHICULOS AUTOMOTORES CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR DE 3,857 KILOGRAMOS. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-045-ECOL-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-045-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE VEHICULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACION QUE USAN DIESEL O MEZCLAS QUE INCLUYAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE (D. O. F. 22 de abril de 1997)

NOM-046-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-046-ECOL-1993 QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE BIOXIDO DE AZUFRE, NEBLINAS DE TRIOXIDO DE AZUFRE Y ACIDO SULFURICO, PROVENIENTES DE PROCESOS DE PRODUCCION DE ACIDO DODECILBENCENSULFONICO EN FUENTES FIJAS. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-047-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-047-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LAS CARACTERISTICAS DEL EQUIPO Y EL PROCEDIMIENTO DE MEDICION PARA LA VERIFICACION DE LOS NIVELES DE EMISION DE CONTAMINANTES, PROVENIENTES DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACION QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETROLEO, GAS NATURAL U OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-048-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-048-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE HIDROCARBUROS, MONOXIDO DE CARBONO Y HUMO, PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LAS MOTOCICLETAS EN CIRCULACION QUE UTILIZAN GASOLINA O MEZCLA DE GASOLINA-ACEITE COMO COMBUSTIBLE (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-049-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-049-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LAS CARACTERISTICAS DEL EQUIPO Y EL PROCEDIMIENTO DE MEDICION, PARA LA VERIFICACION DE LOS NIVELES DE EMISION DE GASES CONTAMINANTES, PROVENIENTES DE LAS MOTOCICLETAS EN CIRCULACION QUE USAN GASOLINA O MEZCLA DE GASOLINA-ACEITE COMO COMBUSTIBLE (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-050-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-050-ECOL-1993, QUE ESTABLECE

LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACION QUE USAN GAS LICUADO DE PETROLEO, GAS NATURAL U OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS COMO COMBUSTIBLE. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-051-ECOL-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-051-ECOL-1993, QUE ESTABLECE EL NIVEL MAXIMO PERMISIBLE EN PESO DE AZUFRE, EN EL COMBUSTIBLE LIQUIDO GASOLEO INDUSTRIAL QUE SE CONSUMA POR LAS FUENTES FIJAS EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO. (D. O. F. 22 de octubre de 1993)

NOM-075-ECOL-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-075-ECOL-1995, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LOS SEPARADORES AGUA-ACEITE DE LAS REFINERIAS DE PETROLEO. (D. O. F. 26 de diciembre de 1995)

NOM-076-ECOL-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-076-ECOL-1995, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE HIDROCARBUROS NO QUEMADOS, MONOXIDO DE CARBONO Y OXIDOS DE NITROGENO PROVENIENTES DEL ESCAPE, ASI COMO DE HIDROCARBUROS EVAPORATIVOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE, QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETROLEO, GAS NATURAL Y OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS Y QUE SE UTILIZARAN PARA LA PROPULSION DE VEHICULOS AUTOMOTORES, CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR DE 3,857 KILOGRAMOS NUEVOS EN PLANTA. (D. O. F. 26 de diciembre de 1995)

NOM-077-ECOL-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-077-ECOL-1995, QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO DE MEDICION PARA LA VERIFICACION DE LOS NIVELES DE EMISION DE LA OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACION QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE. (D. O. F. 13 de noviembre de 1995)

NOM-085-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-085-ECOL-1994, CONTAMINACION ATMOSFERICA-FUENTES FIJAS.- PARA FUENTES FIJAS QUE UTILIZAN COMBUSTIBLES FOSILES SOLIDOS, LIQUIDOS O GASEOSOS O CUALQUIERA DE SUS COMBINACIONES, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE HUMOS, PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES, BIOXIDOS DE AZUFRE Y OXIDOS DE NITROGENO Y LOS REQUISITOS Y CONDICIONES PARA LA OPERACION DE LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO INDIRECTO POR COMBUSTION, ASI COMO LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE BIOXIDO DE AZUFRE EN LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO DIRECTO POR COMBUSTION. (D. O. F. 02 de diciembre de 1994)

NOM-086-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-ECOL-1994, CONTAMINACION ATMOSFERICA-ESPECIFICACIONES SOBRE PROTECCION AMBIENTAL QUE DEBEN REUNIR LOS COMBUSTIBLES FOSILES LIQUIDOS Y GASEOSOS QUE SE USAN EN FUENTES FIJAS Y MOVILES. (D. O. F. 02 de diciembre de 1994) (Modificación a la norma NOM-086-ECOL-1994 publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de noviembre de 1997.)

NOM-092-ECOL-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-092-ECOL-1995, QUE REGULA LA CONTAMINACION ATMOSFERICA Y ESTABLECE LOS REQUISITOS, ESPECIFICACIONES Y PARAMETROS PARA LA INSTALACION DE SISTEMAS DE RECUPERACION DE VAPORES DE GASOLINA EN ESTACIONES DE SERVICIO Y DE AUTOCONSUMO UBICADAS EN EL VALLE DE MEXICO. (D. O. F. 6 de septiembre de 1995)

NOM-093-ECOL-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-093-ECOL-1995, QUE ESTABLECE EL METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LABORATORIO DE LOS SISTEMAS DE RECUPERACION DE VAPORES DE GASOLINA EN ESTACIONES DE SERVICIO Y DE AUTOCONSUMO. (D. O. F. 6 de septiembre de 1995)

NOM-097-ECOL-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-097-ECOL-1995, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE MATERIAL PARTICULADO Y OXIDOS DE NITROGENO EN LOS PROCESOS DE FABRICACION DE VIDRIO EN EL PAIS (D. O. F. 1 de diciembre de 1996)

NOM-105-ECOL-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-105-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES A LA ATMOSFERA DE PARTICULAS

SOLIDAS TOTALES Y COMPUESTOS DE AZUFRE REDUCIDO TOTAL PROVENIENTES DE LOS PROCESOS DE RECUPERACION DE QUIMICOS DE LAS PLANTAS DE FABRICACION DE CELULOSA. (D. O. F. 2 de abril de 1998)

NOM-121-ECOL-1997 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-121-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (COV'S) PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO DE CARROCERIAS NUEVAS EN PLANTA DE AUTOMOVILES, UNIDADES DE USO MULTIPLE, DE PASAJEROS Y UTILITARIOS; CARGA Y CAMIONES LIGEROS, ASI COMO EL METODO PARA CALCULAR SUS EMISIONES, (D. O. F. 14 de julio de 1998)

NOM-123-ECOL-1998 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-123-ECOL-1998, QUE ESTABLECE EL CONTENIDO MAXIMO PERMISIBLE DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (COVs), EN LA FABRICACION DE PINTURAS DE SECADO AL AIRE BASE DISOLVENTE PARA USO DOMESTICO Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE LOS MISMOS EN PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS. (D. O. F. 14 de junio de 1999)

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERA DE RUIDO

NOM-079-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-079-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE RUIDO DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES NUEVOS EN PLANTA Y SU METODO DE MEDICION. (D. O. F. 12 de enero de 1995)

NOM-080-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-080-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE RUIDO PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES, MOTOCICLETAS Y TRICICLOS MOTORIZADOS EN CIRCULACION Y SU METODO DE MEDICION (D. O. F. 13 de enero de 1995)

NOM-081-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-081-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE RUIDO DE LAS FUENTES FIJAS Y SU METODO DE MEDICION (D. O. F. 13 de enero de 1995) (Incluye Aclaración a esta norma, publicada en el D.O.F. de fecha 3 de marzo de 1995.)

NOM-082-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-082-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE RUIDO DE LAS MOTOCICLETAS Y TRICICLOS MOTORIZADOS NUEVOS EN PLANTA Y SU METODO DE MEDICION (D. O. F. 16 de enero de 1995) (Incluye Aclaración a esta norma, publicada en el D.O.F. de fecha 3 de marzo de 1995.)

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE RECURSOS NATURALES

NOM-001-RECNAT-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-RECNAT-1995, QUE ESTABLECE LAS CARACTERISTICAS QUE DEBEN DE TENER LOS MEDIOS DE MARQUEO DE LA MADERA EN ROLLO, ASI COMO LOS LINEAMIENTOS PARA SU USO Y CONTROL. (D. O. F. 1 de diciembre de 1995)

NOM-002-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-RECNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RESINA DE PINO. (D. O. F. 30 de mayo de 1996)

NOM-003-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-RECNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE TIERRA DE MONTE. (D. O. F. 5 de junio de 1996)

NOM-004-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-RECNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RAICES Y RIZOMAS DE VEGETACION FORESTAL. (D. O. F. 24 de junio de 1996)

NOM-005-RECNAT-1997 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-005-RECNAT-1997, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CORTEZA, TALLOS Y PLANTAS COMPLETAS DE VEGETACION FORESTAL (D. O. F. 20 de mayo de 1997)

NOM-006-RECNAT-1997 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-006-RECNAT-1997, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE HOJAS DE PALMA. (D. O. F. 28 de mayo de 1997)

NOM-007-RECNAT-1997 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-007-RECNAT-1997, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RAMAS, HOJAS O PENCAS, FLORES, FRUTOS Y SEMILLAS (D. O. F. 30 de mayo de 1997)

NOM-008-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-RECNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE COGOLLOS. (D. O. F. 24 de junio de 1996)

NOM-009-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-009-RECNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LATEX Y OTROS EXUDADOS DE VEGETACION FORESTAL. (D. O. F. 26 de junio de 1996)

NOM-010-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-010-RECNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE HONGOS. (D. O. F. 28 de mayo de 1996)

NOM-011-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-RECNAT-1996, QUE

ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MUSGO, HENO Y DORADILLA. (D. O. F. 26 de junio de 1996)

NOM-012-RECNAT-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-012-RECNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO DE LEÑA PARA USO DOMESTICO. (D. O. F. 26 de junio de 1996)

NOM-018-RECNAT-1999 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-018-RECNAT-1999, QUE ESTABLECE LOS PROCEDIMIENTOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS Y ADMINISTRATIVAS PARA REALIZAR EL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LA HIERBA DE CANDELILLA, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DEL CEROTE. (D. O. F. 27 de octubre de 1999)

NOM-059-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-059-ECOL-1994, QUE DETERMINA LAS ESPECIES Y SUBESPECIES DE FLORA Y FAUNA SILVESTRES TERRESTRES Y ACUATICAS EN PELIGRO DE EXTINCION, AMENAZADAS, RARAS Y LAS SUJETAS A PROTECCION ESPECIAL Y QUE ESTABLECE ESPECIFICACIONES PARA SU PROTECCION. (D. O. F. 16 de mayo de 1994)

NOM-060-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-060-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES PARA MITIGAR LOS EFECTOS ADVERSOS OCASIONADOS EN LOS SUELOS Y CUERPOS DE AGUA POR EL APROVECHAMIENTO FORESTAL. (D. O. F. 13 de mayo de 1994)

NOM-061-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-061-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES PARA MITIGAR LOS EFECTOS ADVERSOS OCASIONADOS EN LA FLORA Y FAUNA SILVESTRES POR EL APROVECHAMIENTO FORESTAL. (D. O. F. 13 de mayo de 1994)

NOM-062-ECOL-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-062-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES PARA MITIGAR LOS EFECTOS ADVERSOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD QUE SE OCACIONEN POR EL CAMBIO DE USO DEL SUELO DE TERRENOS FORESTALES A AGROPECUARIOS. (D. O. F. 13 de mayo de 1994)

NOM-EM-135-SEMARNAT1-2001 NORMA Oficial Mexicana de Emergencia Para la captura, transporte, exhibición, manejo y manutención de mamíferos marinos en cautiverio. (D. O. F. 8 junio 2001)

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERA DE PESCA

NOM-001-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-PESC-1993, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LOS TUNIDOS CON EMBARCACIONES DE CERCO EN LAS AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS DEL OCEANO PACIFICO Y CON EMBARCACIONES DE CERCO DE BANDERA MEXICANA EN AGUAS INTERNACIONALES Y AGUAS JURISDICCIONALES DE OTROS PAISES QUE SE ENCUENTREN EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL.(D. O. F. 31 de diciembre de 1993)

NOM-001-PESC-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-PESC-1994, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS PESQUEROS EN EL EMBALSE DE LA PRESA EL CUCHILLO-SOLIDARIDAD, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE CHINA, N.L. (D. O. F. 14 de octubre

de 1994)

NOM-002-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-PESC-1993, PARA ORDENAR EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESPECIES DE CAMARON EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. (D. O. F. 31 de diciembre de 1993) (Modificación a la Norma Oficial Mexicana 002-Pesc-1993, publicada en el D.O.F. de fecha 30 de julio de 1997. "ARTICULO UNICO.- Se modifican los apartados 3.6, 4.2.2, 4 3.1, 4.3.11, 4.5.4, 4.6,y 7.1 y se adicionan los apartados 1.2, 3.7, 3.8, 3.9, 4.3.2.3 y del 6.10 al 6.19 pasando el actual apartado 1.2 a ser el apartado 1.3 de la Norma Oficial Mexicana 002-PESC-1993 para ordenar el aprovechamiento de las especies de camaron en aguas de jurisdiccion federal de los Estados Unidos Mexicanos.)

NOM-003-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-PESC-1993, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESPECIES DE SARDINA MONTERREY, PIÑA, CRINUDA, BOCONA, JAPONESA Y DE LAS ESPECIES ANCHOVETA Y MACARELA, CON EMBARCACIONES DE CERCO, EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DEL OCEANO PACIFICO, INCLUYENDO EL GOLFO DE CALIFORNIA (D. O. F. 31 de diciembre de 1993)

NOM-004-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-PESC-1993, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LA ALMEJA CATARINA EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DE LOS ESTADOS DE BAJA CALIFORNIA Y BAJA CALIFORNIA SUR. (D. O. F. 21 de diciembre de 1993)

NOM-005-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-005-PESC-1993, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LAS POBLACIONES DE LAS DISTINTAS ESPECIES DE ABULON EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA. (D. O. F. 21 de diciembre de 1993)

NOM-006-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-006-PESC-1993, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE TODAS LAS ESPECIES DE LANGOSTA EN LAS AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DEL GOLFO DE MEXICO Y MAR CARIBE, ASI COMO DEL OCEANO PACIFICO INCLUYENDO EL GOLFO DE CALIFORNIA. (D. O. F. 31 de diciembre de 1993)

NOM-007-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-007-PESC-1993, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LAS POBLACIONES DE ERIZO ROJO EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DEL OCEANO PACIFICO DE LA COSTA OESTE DE BAJA CALIFORNIA. (D. O. F. 21 de diciembre de 1993)

NOM-008-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-PESC-1993, PARA ORDENAR EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESPECIES DE PULPO EN LAS AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DEL GOLFO DE MEXICO Y MAR CARIBE. (D. O. F. 21 de diciembre de 1993).

NOM-009-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-009-PESC-1993, QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LAS EPOCAS Y ZONAS DE VEDA PARA LA CAPTURA DE LAS DIFERENTES ESPECIES DE LA FLORA Y FAUNA ACUATICAS EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS (D. O. F. 4 de marzo de 1994)

NOM-010-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-010-PESC-1993, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS SANITARIOS PARA LA IMPORTACION DE ORGANISMOS ACUATICOS VIVOS EN CUALESQUIERA DE SUS FASES DE DESARROLLO, DETINADOS A LA ACUACULTURA U ORNATO, EN EL TERRITORIO NACIONAL. (D. O. F. 16 de agosto de 1994)

NOM-011-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-PESC-1993, PARA REGULAR LA APLICACION DE CUARENTENAS, A EFECTO DE PREVENIR LA INTRODUCCION Y DISPERSION DE ENFERMEDADES CERTIFICABLES Y NOTIFICABLES, EN LA IMPORTACION DE ORGANISMOS ACUATICOS VIVOS EN CUALESQUIERA DE SUS FASES DE DESARROLLO, DESTINADOS A LA ACUACULTURA Y ORNATO EN LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS (D. O. F. 16 de agosto de 1994)

NOM-012-PESC-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-012-PESC-1993, POR LA QUE SE ESTABLECEN MEDIDAS PARA LA PROTECCION DE LAS ESPECIES DE TOTOABA Y VAQUITA EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DEL GOLFO CALIFORNIA (D. O. F. 29 de junio de 1994)

NOM-013-PESC-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-013-PESC-1994, PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESPECIES DE CARACOL EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DE LOS ESTADOS DE CAMPECHE, QUINTANA ROO Y YUCATAN. (D. O. F. 21 de abril de 1995)

NOM-015-PESC-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-015-PESC-1994, PARA REGULAR LA EXTRACCION DE LAS EXISTENCIAS NATURALES DE OSTION EN LOS SISTEMAS LAGUNARIOS ESTUARINOS DEL ESTADO DE TABASCO. (D. O. F. 24 de abril de 1995)

NOM-016-PESC-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-016-PESC-1994, PARA REGULAR LA PESCA DE LISA Y LISETA O LEBRANCHA EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DEL GOLFO DE MEXICO Y MAR CARIBE, ASI COMO DEL OCEANO PACIFICO, INCLUYENDO EL GOLFO DE CALIFORNIA. (D. O. F. 24 de abril de 1995)

NOM-017-PESC-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-017-PESC-1994, PARA REGULAR LAS ACTIVIDADES DE PESCA DEPORTIVO RECREATIVA EN LAS AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. (D. O. F. 9 de mayo de 1995)

NOM-023-PESC-1996 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-023-PESC-1996, QUE REGULA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESPECIES DE TUNIDOS CON EMBARCACIONES PALANGRERAS EN AGUAS DE JURISDICCION FEDERAL DEL GOLFO DE MEXICO Y MAR CARIBE. (D. O. F. 4 de agosto de 1997)

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERA DE IMPACTO AMBIENTAL

NOM-113-ECOL-1998 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-113-ECOL-1998, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCION AMBIENTAL PARA LA PLANEACION, DISEÑO, CONSTRUCCION, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS DE POTENCIA O DE DISTRIBUCION QUE SE PRETENDAN UBICAR EN AREAS URBANAS, SUBURBANAS, RURALES, AGROPECUARIAS, INDUSTRIALES, DE EQUIPAMIENTO URBANO O DE SERVICIOS Y TURISTICAS. (D. O. F. 26 de octubre de 1998)

NOM-114-ECOL-1998

NOM-115-ECOL-1998 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-115-ECOL-1998, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCION AMBIENTAL QUE DEBEN OBSERVARSE EN LAS ACTIVIDADES DE PERFORACION DE POZOS PETROLEROS TERRESTRES PARA EXPLORACION Y PRODUCCION EN ZONAS AGRICOLAS, GANADERAS Y ERIALES. (D. O. F. 25 de noviembre de 1998)

NOM-116-ECOL-1998 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-116-ECOL-1998, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCION AMBIENTAL PARA PROSPECCIONES SISMOLOGICAS TERRESTRES QUE SE REALICEN EN ZONAS AGRICOLAS, GANADERAS Y ERIALES. (D. O. F. 24 de noviembre de 1998)

NOM-117-ECOL-1998 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-117-ECOL-1998, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCION AMBIENTAL PARA LA INSTALACION Y MANTENIMIENTO MAYOR DE LOS SISTEMAS PARA EL TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE HIDROCARBUROS Y PETROQUIMICOS EN ESTADO LIQUIDO Y GASEOSO, QUE SE REALICEN EN DERECHOS DE VIA TERRESTRES EXISTENTES, UBICADOS EN ZONAS AGRICOLAS, GANADERAS Y ERIALES. (D. O. F. 24 de noviembre de 1998)

NOM-120-ECOL-1997 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-120-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCION AMBIENTAL PARA LAS ACTIVIDADES DE EXPLORACION MINERA DIRECTA, EN ZONAS CON CLIMAS SECOS Y TEMPLADOS EN DONDE SE DESARROLLE VEGETACION DE MATORRAL XEROFILO, BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO, BOSQUES DE CONIFERAS O ENCINOS. (D. O. F. 19 de noviembre de 1998)

Dr. Armando Soto Flores

**Director General de Control de Procedimientos Administrativos
y de Consulta**

Subprocuraduría Jurídica

Edificio AJUSCO

Carretera Picacho-Ajusco 200

Col. Jardines en la Montaña

Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.

asoto@correo.profepa.gob.mx

VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA LEY POR PARTE DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES, DE SERVICIOS Y COMERCIALES DE JURISDICCIÓN FEDERAL.

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a través de la Subprocuraduría de Verificación Industrial, tiene como atribuciones la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones legales relacionadas con la prevención y el control de la contaminación ambiental generada por establecimientos industriales, de servicios o comerciales, así como de las medidas de prevención, control, mitigación, restauración o compensación señaladas en las resoluciones, autorizaciones, permisos y licencias derivadas de la legislación en materia de prevención y control de la contaminación, impacto ambiental y actividades altamente riesgosas.

Para dar cumplimiento a las disposiciones legales en materia ambiental, la Subprocuraduría de Verificación Industrial coordina los programas de inspección y vigilancia a los establecimientos industriales, de servicios y comerciales - fuentes de jurisdicción federal - a lo largo del país, establecidos en cada una de las Delegaciones de la Procuraduría en las entidades federativas de la República Mexicana.

Se consideran fuentes de jurisdicción federal los establecimientos que emiten contaminantes a la atmósfera, generan o manejan residuos peligrosos - industriales, biológico infecciosos y prestadores de servicios - realizan actividades altamente riesgosas o de impacto ambiental, clasificados dentro de los giros de actividad siguientes:

1	Petroquímica básica
2	Petróleo
3	Química
4	Gasera
5	Servicios en materia de residuos peligrosos
6	Metalúrgica
7	Eléctrica
8	Pinturas y tintas
9	Plantas de tratamiento concesionadas que usan gas cloro
10	Alcoholes industriales y bebidas alcohólicas
11	Vidrio
12	Cementera
13	Calera
14	Automotriz
15	Asbesto
16	Celulosa y papel

17	Metalmecánica
18	Componentes eléctricos y electrónicos
19	Empacadoras, hieleras y refresqueras
20	Curtiduría
21	Hospitales
22	Minería
23	Impresión e imprentas
24	Clínicas y laboratorios
25	Alimentos
26	Textil
27	Talleres mecánicos
28	Industrial del plástico
29	Transporte y servicio de carga
30	Productos y muebles de madera
31	Arcilla y cerámica
32	Otros giros generadores de residuos peligrosos

El orden en que se presentan los giros implica más que un orden descendente. Se ha considerado el tamaño de las fuentes contaminantes, la complejidad de los procesos productivos que caracterizan a cada giro de actividad, las materias primas que se emplean para obtener productos inocuos o con cierto grado de peligrosidad, el impacto ambiental y el riesgo que conlleva el efectuar de por sí esas actividades productivas; así como la generación de contaminantes que se emiten a la atmósfera y los residuos peligrosos obtenidos como subproductos y productos secundarios.

La clasificación de actividades aquí presentada, tiene el propósito de facilitar la asignación de prioridades en la programación de visitas de inspección y verificación, de tal manera que las fuentes industriales y de servicios de competencia federal de mayor potencial contaminante sean visitadas con mayor instancia y con mayor frecuencia, sin descuidar la vigilancia del cumplimiento de la normatividad de establecimientos industriales de menor impacto ambiental.

En agosto de 1992, cuando inició la operación real de la Procuraduría, se contaba en el ámbito nacional sólo con expedientes de alrededor de 3,000 fuentes de contaminación, por lo que fue necesario idear algún procedimiento que permitiera en el corto plazo la obtención del padrón de fuentes más completo posible. Para ello se inició la realización de visitas de inspección rápidas en las que solamente se solicitaba en los establecimientos industriales y comerciales, que se suponían de competencia federal, mostraran a los inspectores la Licencia de Funcionamiento y/o el Registro como Generador de Residuos Peligrosos, independientemente de las visitas de inspección completas realizadas a las empresas para las que se contaba con un expediente.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, LGEEPA, fue reformada en diciembre de 1996 y a partir de entonces se redefinieron las fuentes de jurisdicción federal para quedar entre ellas, a nivel nacional, los establecimientos industriales cuyo giro correspondiera con el petrolero, petroquímico, químico, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgico, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, del cemento, calero y de tratamiento de residuos peligrosos.

Se agregaron las unidades médicas por ser generadoras de residuos peligrosos biológico infecciosos y en materia de impacto ambiental se agregaron los poliductos y eliminaron las obras nuevas o ampliaciones relativas a actividades industriales cuyo giro fuera el de bebidas, automotriz y del asbesto.

Hoy en día se cuenta con un padrón de fuentes contaminantes de jurisdicción federal de poco más 33,000 establecimientos, entre industriales, comerciales y de servicios.

Responsable de la información:
Lic. Artemio Roque Álvarez.
Dirección General de Inspección de Fuentes de Contaminación.

ANÁLISIS ESTATAL Y ANUAL 1993-2001

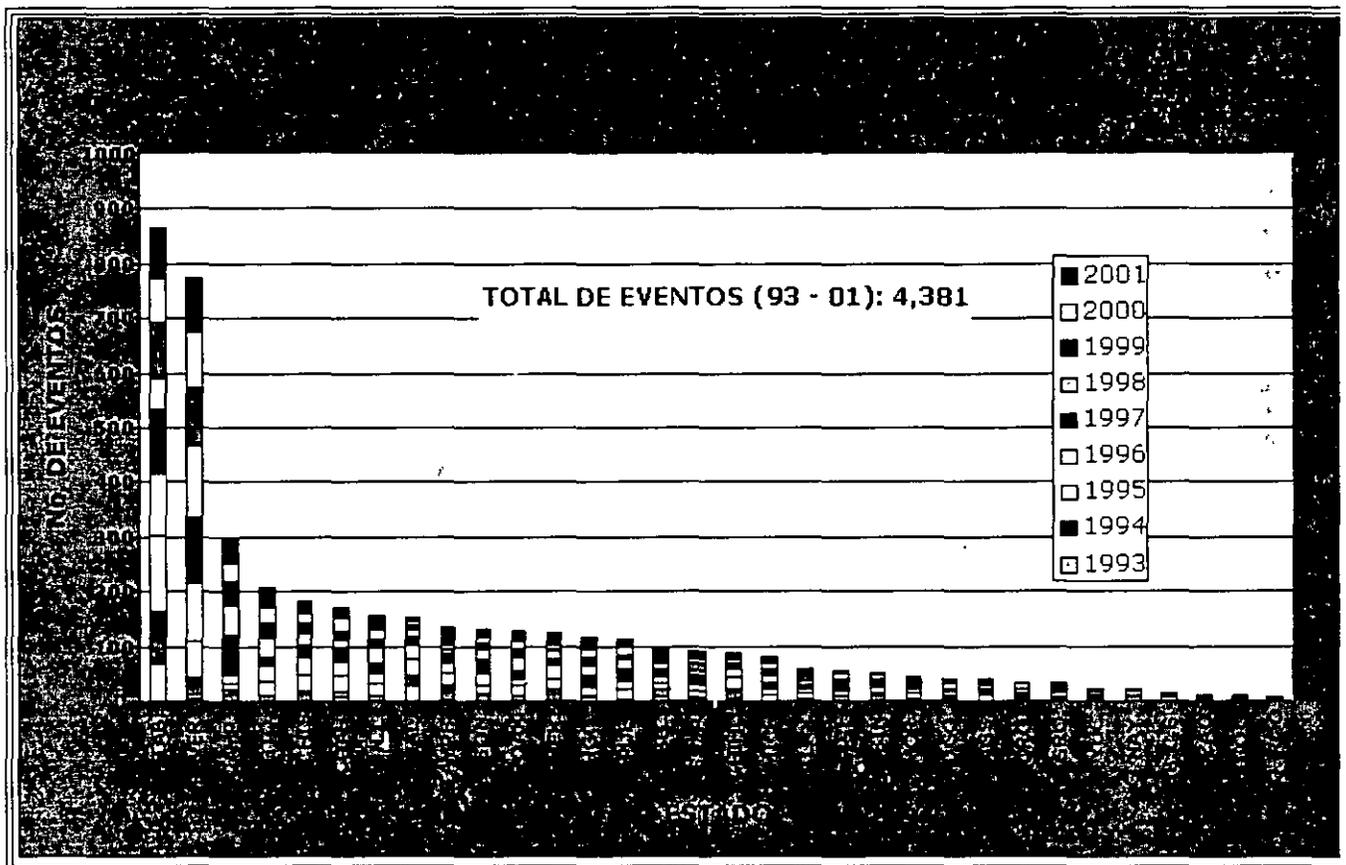


ESTADO	AÑO									TOTAL	
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	NUMERO	%
TABASCO	69	96	140	113	116	57	100	85	89	865	19.74
VERACRUZ	6	39	66	105	121	130	107	103	97	774	17.67
CAMPECHE	1	20	14	15	70	55	45	34	42	296	6.76
GUANAJUATO	4	11	23	29	16	35	24	31	37	210	4.79
CHIAPAS	-	20	27	34	24	19	18	21	21	184	4.20
COAHUILA	9	11	28	25	27	16	14	24	19	173	3.95
NUEVO LEÓN	-	15	18	19	20	28	14	19	23	156	3.56
JALISCO	30	19	28	27	15	13	9	6	8	155	3.54
TAMAULIPAS	1	28	23	17	10	7	9	8	32	135	3.08
SONORA	2	15	14	20	25	20	10	11	15	132	3.01
OAXACA	4	10	16	12	14	25	14	15	20	130	2.97
MÉXICO	3	22	17	25	10	13	7	4	22	123	2.81
HIDALGO	7	8	13	2	17	20	14	16	20	117	2.67
PUEBLA	1	5	17	15	22	18	8	12	15	113	2.58
BAJA CALIFORNIA	7	17	9	10	18	9	8	5	12	95	2.17
SAN LUIS POTOSÍ	1	6	13	11	15	10	12	9	15	92	2.10
CHIHUAHUA	6	15	22	17	11	5	4	1	8	89	2.03
MICHOACÁN	1	2	7	15	11	12	12	8	14	82	1.87
TLAXCALA	-	6	11	8	6	8	5	6	9	59	1.35
DISTRITO FEDERAL	-	12	8	6	13	2	-	12	3	56	1.28
SINALOA	2	8	7	11	5	1	6	6	6	52	1.19
MORELOS	-	6	10	10	7	4	4	3	1	45	1.03
DURANGO	-	5	2	2	4	6	3	10	10	42	0.96
AGUASCALIENTES	-	1	1	11	10	6	3	3	5	40	0.91
QUERÉTARO	-	5	1	3	7	5	4	8	3	36	0.82
GUERRERO	2	3	2	10	5	3	2	2	3	32	0.73
YUCATÁN	-	-	1	2	5	6	4	3	5	26	0.59
NAYARIT	1	6	1	3	2	-	2	4	3	22	0.50
BAJA CALIFORNIA SUR	-	3	4	2	1	-	2	-	4	16	0.37
ZACATECAS	-	1	1	2	2	-	3	1	4	14	0.32
COLIMA	-	-	2	3	2	3	2	-	-	12	0.27

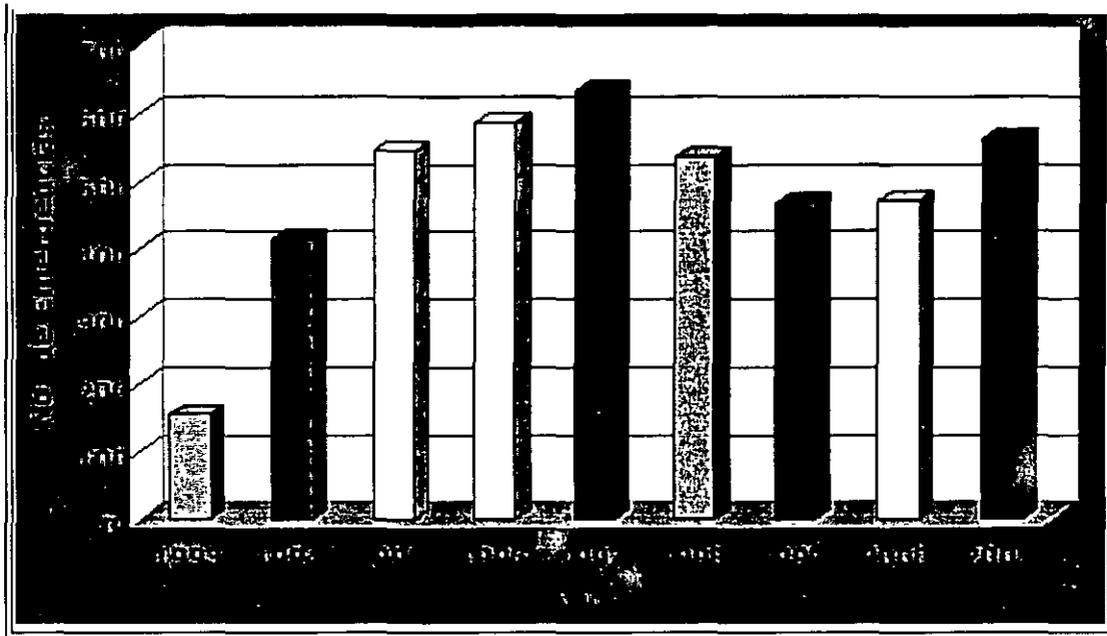
QUINTANA ROO	-	1	1	3	1	2	-	-	-	8	0.18
TOTAL	157	416	547	587	632	538	469	470	565	4381	100.00
EVENTOS/DIA	0.43	1.14	1.50	1.61	1.73	1.47	1.28	1.29	1.55	1.33	

GRÁFICOS

Distribución Estatal de las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA Durante el Período 1993 - 2001



Distribución Anual de las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA Durante el Período 1993 - 2001



FUENTE: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
Subprocuraduría de Auditoría Ambiental

Ing. Ma. del Rocío Sarmiento Torres

Directora General de Auditoría del Riesgo Ambiental y Prevención de Accidentes

Edificio AJUSCO

Carretera Picacho-Ajusco 200

Col. Jardines en la Montaña

Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.

Tel/Fax: 2615-2045

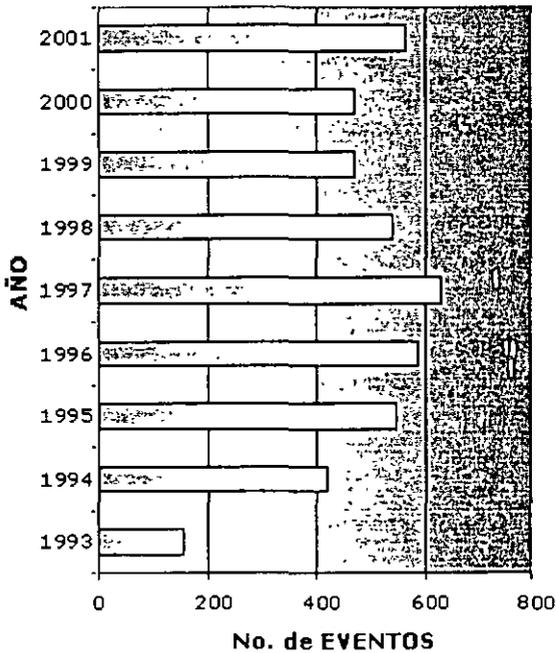
rsarmiento@correo.profepa.gob.mx



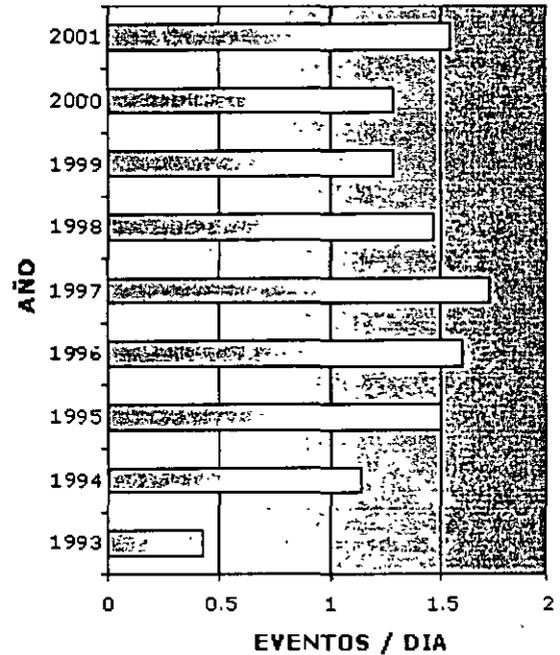
FRECUENCIA DE EMERGENCIAS

**Análisis de las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA
Durante el Período 1993 - 2001**

Eventos / Año



Frecuencia de Eventos / Día / Año



Ing. Ma. del Rocío Sarmiento Torres

Directora General de Auditoría del Riesgo Ambiental y Prevención de Accidentes

Edificio AJUSCO

Carretera Picacho-Ajusco 200

Col. Jardines en la Montaña

Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.

Tel/Fax: 2615-2045

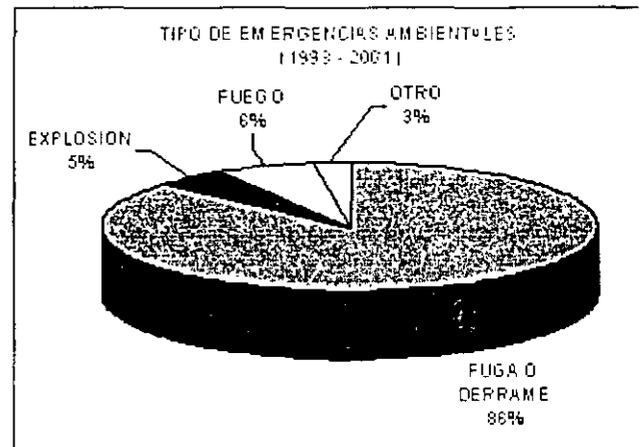
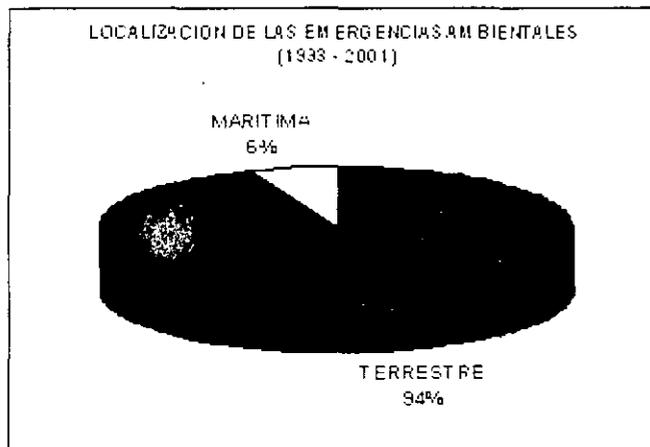
rsarmiento@correo.profepa.gob.mx



LOCALIZACIÓN Y TIPO

Número, Localización y Tipo de las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA Durante el Período 1993 - 2001

AÑO	NUMERO DE EVENTOS	LOCALIZACION				TIPO							
		TERRESTRE		MARITIMA		FUGA O DERRAME		EXPLOSION		FUEGO		OTRO	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
1993	157	154	98.1	3	1.9	141	89.8	9	5.7	3	1.9	4	2.5
1994	416	389	93.5	27	6.5	359	86.3	21	5.0	28	6.7	8	1.9
1995	547	540	98.7	7	1.3	428	78.2	35	6.4	53	9.7	31	5.7
1996	587	578	98.5	9	1.5	460	78.4	34	5.8	70	11.9	23	3.9
1997	632	574	90.8	58	9.2	541	85.6	49	7.8	26	4.1	16	2.5
1998	538	483	89.8	55	10.2	467	86.8	18	3.3	39	7.2	14	2.6
1999	469	426	90.8	43	9.2	446	95.1	7	1.5	16	3.4	0	0.0
2000	470	437	93.0	33	7.0	441	93.8	10	2.1	16	3.4	3	0.6
2001	565	530	93.8	35	6.2	517	91.5	17	3.0	19	3.4	12	2.1
TOTAL:	4381	4111	93.8	270	6.2	3800	86.7	200	4.6	270	6.2	111	2.5



Ing. Ma. del Rocío Sarmiento Torres

Directora General de Auditoría del Riesgo Ambiental y Prevención de Accidentes

Edificio AJUSCO

Carretera Picacho-Ajusco 200

Col. Jardines en la Montaña

Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.

Tel/Fax: 2615-2045

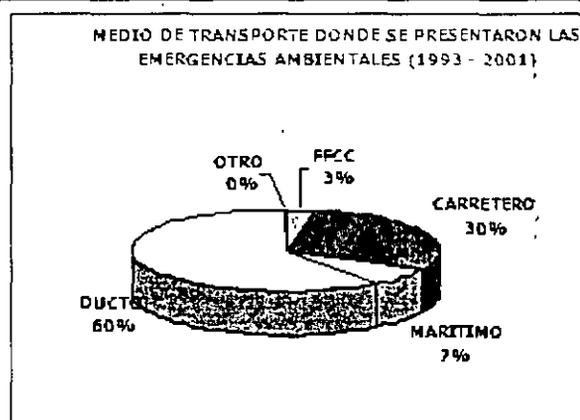
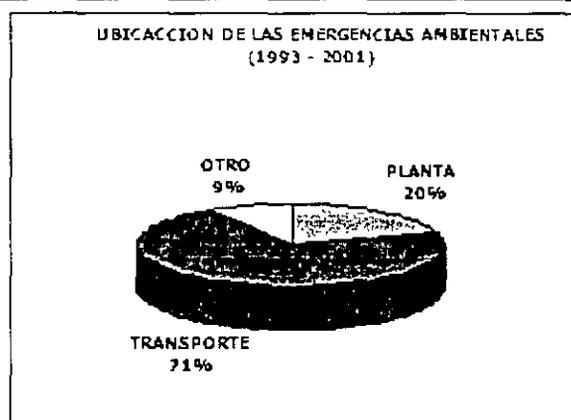
rsarmiento@correo.profepa.gob.mx



UBICACIÓN Y MEDIOS DE TRANSPORTE

Número, Ubicación y Medio de Transporte de las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA Durante el Período 1993 - 2001

AÑO	NÚMERO DE EVENTOS	UBICACIÓN						TOTAL	MEDIO DE TRANSPORTE									
		PLANTA		TRANSPORTE		OTRO			FFCC		CARRETERO		MARÍTIMO		DUCTO		OTRO	
		No.	%	No.	%	No.	%		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
1993	157	38	24.2	117	68.2	12	7.6	107	3	2.8	27	25.2	5	4.7	69	64.5	3	2.8
1994	416	92	22.1	221	53.1	103	24.8	221	15	6.8	65	29.4	2	0.9	139	62.9	-	-
1995	547	110	20.1	322	58.9	115	21.0	322	13	4.0	90	28.0	7	2.2	212	65.8	-	-
1996	587	140	23.8	332	56.6	106	18.1	332	13	3.9	96	28.9	9	2.7	214	64.5	-	-
1997	632	145	22.9	477	75.5	10	1.6	477	8	1.7	132	27.7	58	12.2	279	58.5	-	-
1998	538	96	17.8	429	79.7	13	2.4	429	13	3.0	133	31.0	55	12.8	228	53.1	-	-
1999	169	61	36.1	395	84.2	10	2.1	395	14	3.5	107	27.1	43	10.9	231	58.5	-	-
2000	470	68	14.5	392	83.4	10	2.1	392	5	1.3	118	30.1	33	8.4	236	60.2	-	-
2001	565	110	20.9	424	75.0	23	4.1	424	10	2.4	158	37.3	6	1.4	245	57.8	5	1.2
TOTAL:	4381	888	20.1	3099	70.7	402	9.2	3099	94	3.0	926	29.9	218	7.0	1853	59.9	8	0.3



Ing. Ma. del Rocío Sarmiento Torres

Directora General de Auditoría del Riesgo Ambiental y Prevención de Accidentes

Edificio AJUSCO

Carretera Picacho-Ajusco 200

Col. Jardines en la Montaña

Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.

Tel/Fax: 2615-2045

rsarmiento@correo.profepa.gob.mx



SUSTANCIAS INVOLUCRADAS

Principales Sustancias Involucradas en las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA Durante el Período 1997 - 1999

SUSTANCIA INVOUCRADA	CANTIDAD
PETROLEO CRUDO	40.02
GASOLINA	0.01
DIESEL	0.06
COMBUSTOLEO	6.59
AMONIACO	0.29
ACIDO SULFURICO	2.62
GAS L.P.	2.68
ACEITE RESIDUAL	0.61
GAS NATURAL	0.55
SUBTOTAL	53.83
OTRAS SUSTANCIAS	27.77
TOTAL	81.60

Ing. Ma. del Rocío Sarmiento Torres

Directora General de Auditoría del Riesgo Ambiental y Prevención de Accidentes

Edificio AJUSCO

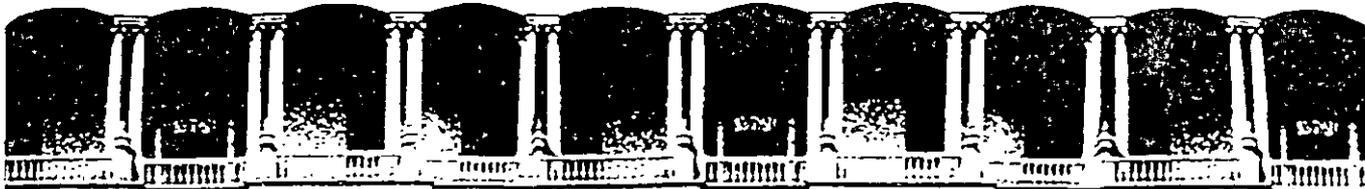
Carretera Picacho-Ajusco 200

Col. Jardines en la Montaña

Del. Tlalpan, C. P. 14210, México, D. F.

Tel/Fax: 2615-2045

rsarmiento@correo.profepa.gob.mx



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS
CON CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

LEGISLACIÓN AMBIENTAL

**EXPOSITOR: ING. ISABEL ZECUA FERNÁNDEZ
PALACIO DE MINERIA
OCTUBRE DE 2002**

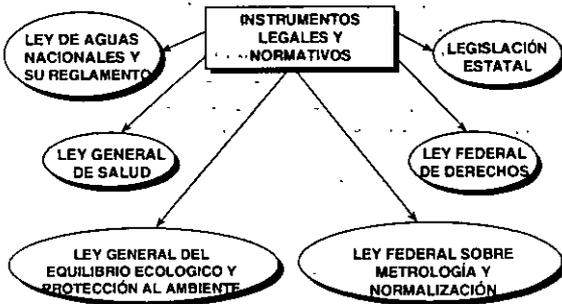


COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

LEGISLACIÓN AMBIENTAL



Legislación Ambiental





COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

La autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al Ejecutivo Federal, quien lo ejerce directamente o a través de la Comisión Nacional del Agua (Artículo 4 de la Ley de Aguas Nacionales).

La Comisión Nacional del Agua es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Misión: Administrar y preservar las aguas nacionales, con la participación de la sociedad, para lograr el uso sustentable del agua.

Visión: Una nación que, cuente con seguridad en el suministro del agua que requiere para su desarrollo, que la utilice de manera eficiente, reconozca su valor estratégico y económico, proteja los cuerpos de agua y preserve el medio ambiente para las futuras generaciones.



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

LEGISLACIÓN AMBIENTAL SOBRE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES



Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento

ARTÍCULO 86.- "La Comisión" tendrá a su cargo:
III.-Establecer y vigilar el cumplimiento de las Condiciones Particulares de Descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.



Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento

ARTÍCULO 88.- Las personas físicas y morales requieren Permiso de la CNA para descargar aguas residuales a cuerpos receptores.

ARTÍCULO 89.- La CNA para otorgar permisos, considerará:

- ✦ La clasificación de cuerpos nacionales.
- ✦ Normas Mexicanas correspondientes.
- ✦ Condiciones Particulares de Descarga.



Derechos por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales

De acuerdo con el Artículo 276 de la Ley Federal de Derechos, las personas físicas y morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuita, aguas residuales en cuerpos receptores o las descarguen en suelos o las infiltren en terrenos propiedad de la Nación, están sujetas al pago del derecho.



Normativa en Materia de Descargas de Aguas Residuales Municipales e Industriales

Al publicarse en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997, la NOM-001-ECOL-1996, se cumplió con lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y quedaron derogadas las 44 NOM que regulaban por giro industrial.



Comisión Nacional del Agua

**CRITERIOS DE
REMEDIACIÓN DE AGUA
CONTAMINADA**



Comisión Nacional del Agua

PROBLEMÁTICA.

- Caso particular: denuncia popular de la contaminación del acuífero de Salamanca originada por La Refinería Ing. Antonio M. Amor
- Contaminación acuíferos por Terminales de Almacenamiento y Distribución de PEMEX.
- No existe normatividad específica en la materia.
- Responsabilidad de los usuarios que originaron la contaminación para remediar los acuíferos dañados.



Comisión Nacional del Agua

ACCIONES

Caso particular: contaminación del acuífero de Salamanca

Se efectuaron dos campañas de monitoreo. (Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Instituto Mexicano del Petróleo)

- Se monitorearon pozos de abastecimiento
- Pozos de la Refinería
- Tomas domiciliarias

Se integró grupo de trabajo para análisis de información.



Comisión Nacional del Agua

RESULTADOS

El monitoreo refleja lo siguiente:

- En tomas domiciliarias no se encontró contaminación del agua.
- En varios pozos de abastecimiento subsiste contaminación por plaguicidas.
- No existe aportación de hidrocarburos al acuífero superficial, por lo que tiende a disminuir la concentración.
- Se encontró presencia de fenoles pero no representa riesgo a la salud (no son cancerígenos).



Comisión Nacional del Agua

RECOMENDACIONES

- Clausura definitiva de 3 pozos de abastecimiento.
- Continuar con el análisis de calidad del agua, únicamente en pozos que alcanzan el acuífero profundo para verificar que en este aún no este contaminado.
- Identificar el origen de la presencia de plaguicidas en el acuífero superior.
- La refinería continuará con su programa de mejora continua.



Comisión Nacional del Agua

ALTERNATIVA





Comisión Nacional del Agua

Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana para la Recarga Artificial de Acuíferos



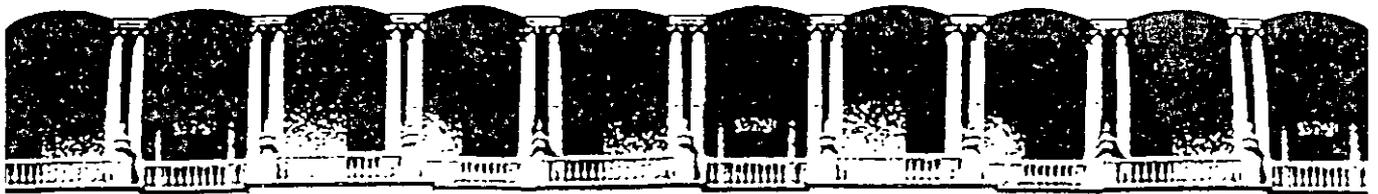
Objetivo de la Norma

El presente anteproyecto de NOM establece los requisitos que deben cumplir la calidad del agua, las obras y los procedimientos utilizados en la recarga artificial de acuíferos.



Objetivos de la Recarga Artificial

- Almacenar escurrimientos superficiales en los acuíferos;
- Reducir el abatimiento generado por la sobreexplotación;
- Apoyar esquemas de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas;
- Disminuir la intrusión salina en acuíferos costeros;
- Reducir costos de transporte, almacenamiento o bombeo de agua subterránea;
- Diluir el contenido de nitratos, cloruros u otros constituyentes químicos de las aguas de los acuíferos;
- Reducir los efectos de subsidencia o asentamiento de terrenos;
- Almacenar agua en periodo de lluvias para su uso en época de secas;
- Almacenar agua tratada con objeto de darle un reuso más productivo; y
- Aprovechar las propiedades de la zona no saturada como elemento de filtración o tratamiento de aguas residuales



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS

MODULO II CA 113

CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES ORGÁNICOS

TEMAS

- **CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE**
 - **ENFOQUE INTEGRAL DE RIESGO**
- **NORMATIVIDAD Y PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS II**

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERIA
OCTUBRE DE 2002**

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
PALACIO DE MINERÍA

XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS

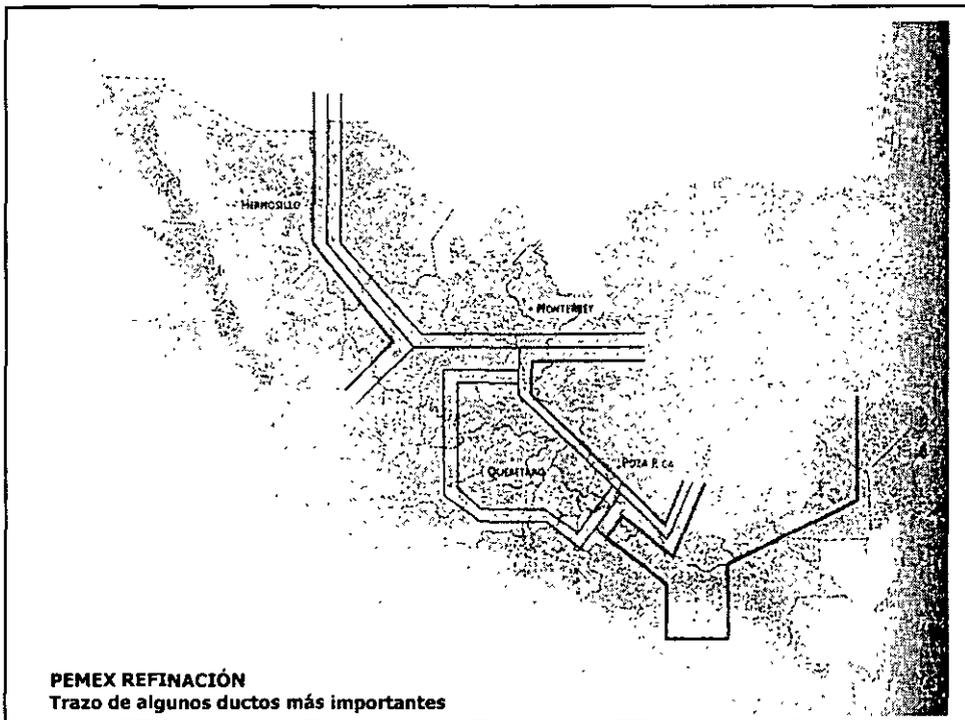
MÓDULO II:

CONTAMINANTES ORGÁNICOS

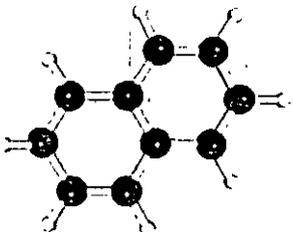
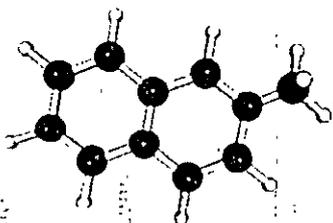
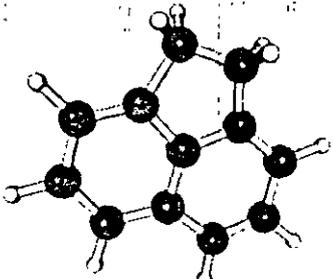
TEMAS:

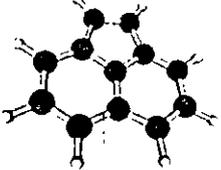
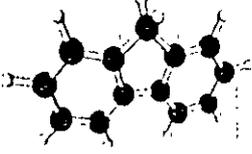
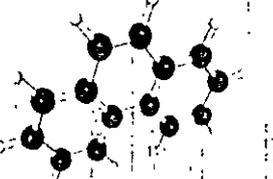
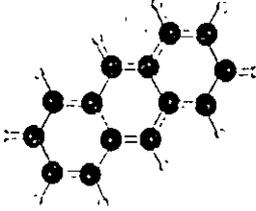
- Características y comportamiento en el ambiente
 - Enfoque integral de riesgo
- Normatividad y procedimientos administrativos11

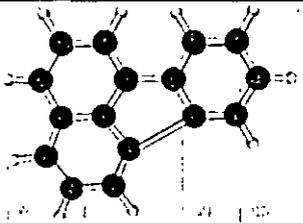
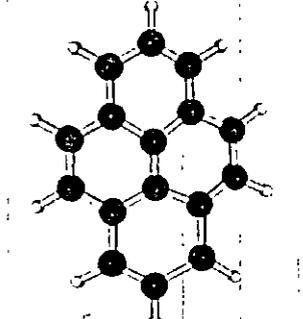
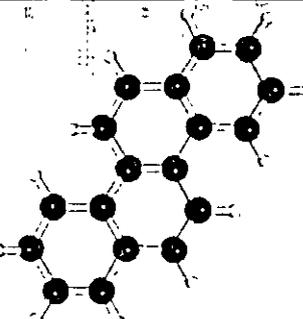
EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL
OCTUBRE DEL 2002

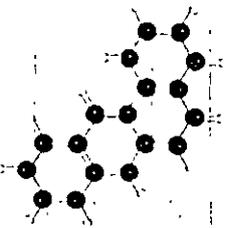
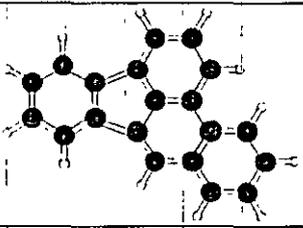
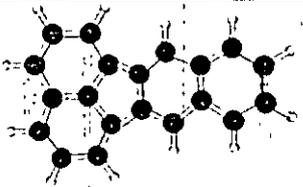
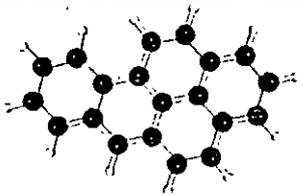


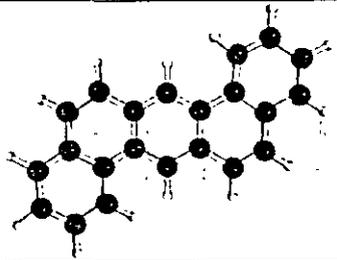
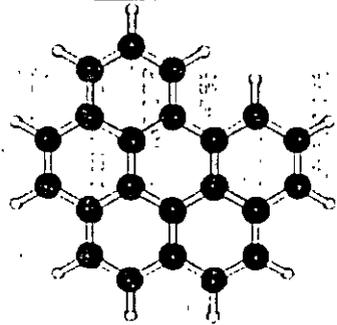
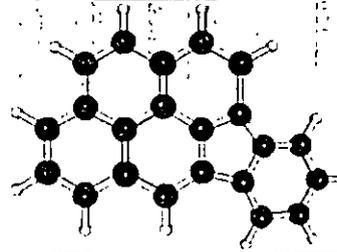
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLINUCLEARES

NOMBRE	FORMULA MOLECULAR	FORM. COND	PM (g/mol)	SOL./AGUA			PE (°C)	PF (°C)	GE	μ	Punto Flama (°C)	Cof. Partición Octanol/H ₂ O	H (25°C) atm m ³ /mol
				20°C mg/L	21°C mg/L	25°C mg/L							
Naftaleno		C ₁₀ H ₈	128.2			31	217.9	80.6	1.162		88	3.30	0.00044
2-Metilnaftaleno		C ₁₁ H ₁₀	142.2			24.6	241.1	34.4	1.006		97	3.86	0.000518
Acenafteno		C ₁₂ H ₁₀	154.2			3.9	279	3.9	1.024		125	0.000184	

NOMBRE	FORMULA MOLECULAR	FORM. COND	PM (g/mol)	SOL./AGUA			PE (°C)	PF (°C)	GE	μ	Punto Flama (°C)	Coef. Partición Octanol/H ₂ O	H (25°C) atm m ³ /mol
				20°C mg/L	21°C mg/L	25°C mg/L							
Acenafileno		C ₁₂ H ₈	152.2			16.1	265	93	0.899		-	3.94	0.000114
Fluoreno		C ₁₃ H ₁₀	166.2			1.89	294	117	1.203		151	4.18	9.62X10 ⁻⁵
Fenantreno		C ₁₄ H ₁₀	178.2			1.15	340	101	1.025		171	4.57	3.5X10 ⁻⁵
Antraceno		C ₁₄ H ₁₀	178.2			0.043	340	216	1.283 (20°C)		121	4.45	5.56X10 ⁻⁵

NOMBRE	FORMULA MOLECULAR	FORM. COND	PM (g/mol)	SOL./AGUA			PE (°C)	PF (°C)	GE	μ	Punto Flama (°C)	Coef. Partición Octanol/H ₂ O	H (25°C) atm m ³ /mol
				20°C mg/L	21°C mg/L	25°C mg/L							
Fluoranteno		C ₁₆ H ₁₀	202.3			0.265	375	110.8	1.252 (0°C)		-	5.16	8.8610 ⁻⁶
Pireno		C ₁₆ H ₁₀	202.3			0.135	404	156	1.271 (23°C)		210	4.88	1.19X10 ⁻⁵
Criseno		C ₁₈ H ₁₂	228.3			0.002	448	255.8	1.274		-	5.81	5.23X10 ⁻⁶

NOMBRE	FORMULA MOLECULAR	FORM. COND	PM (g/mol)	SOL./AGUA			PE (°C)	PF (°C)	GE	μ	Punto Flama (°C)	Coef. Partición Octanol/H ₂ O	H (25°C) atm m ³ /mol
				20°C mg/L	21°C mg/L	25°C mg/L							
Benzo(a)antraceno		C ₁₈ H ₁₂	228.3			0.009	435	159	-		-	5.76	1.2X10 ⁻⁵
Benzo(b)fluoranteno		C ₂₀ H ₁₂	252.3			0.002	357	168	-		-	5.78	6.57X10 ⁻⁷
Benzo(k)fluoranteno		C ₂₀ H ₁₂	252.3			5x10 ⁻⁴	481	217	-			6.06	-
Benzo(a)pireno		C ₂₀ H ₁₂	252.3	4.9 X10 ⁻⁵			196	177				6.5	1.2X10 ⁻⁶

NOMBRE	FORMULA MOLECULAR	FORM. COND	PM (g/mol)	SOL./AGUA			PE (°C)	PF (°C)	GE	μ	Punto Flama (°C)	Coef. Partición Octanol/H ₂ O	H (25°C) atm m ³ /mol
				20°C mg/L	21°C mg/L	25°C mg/L							
Dibenzo(a,h) antraceno		C ₂₂ H ₁₄	278.4			2.5 X10 ⁻³	524	270	1.282			6.75	1.23X10 ⁻⁷
Benzo(g,h,i) perileno		C ₂₂ H ₁₂	276.3			2.6 X10 ⁻⁴	500	278				6.63	1.31 X10 ⁻⁷
Indeno(1,2,3-c,d) pireno		C ₂₂ H ₁₂	276.3			0.062	536	162.5					

COMPUESTO	SOLUBILIDAD EN AGUA (mg/l)
Aldrin	0.0784
Dieldrin	0.195
1,2-Diclorobenceno	149.55
Hexaclorobenceno	0.006
Fenol	82,800.00
2-Clorofenol	22,000.00
Pentaclorofenol	14.00
Mwtiletilcetona	320,000.00
Tetracloroetileno	200.00

COMPUESTO	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN OCTANOL/AGUA (log K_{o/w} adim)
benceno	1.77
tolueno	2.13
etilbenceno	2.56
p-xileno	2.38
MTBE	1.08
naftaleno	3.30
fenantreno	4.15
benzo(a)pireno	6.01
benzo(b)fluoranteno	5.74
benzo(g,h,i)perileno	6.20

COMPUESTO	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN OCTANOL/AGUA (log K_{o/w} adim)
Aldrin	8.50
Dieldrin	5.48
1,2-Diclorobenceno	3.38
Hexaclorobenceno	5.50
Fenol	1.45
2-Clorofenol	2.15
Pentaclorofenol	2.96
Diclorometano	1.15
Tetracloroetileno	2.88

COMPUESTO	CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY adim
benceno	0.2290
tolueno	0.2600
etilbenceno	0.3250
p-xileno	0.2900
MTBE	0.0238
naftaleno	0.0199
fenantreno	0.2500
benzo(a)pireno	0.0000466
benzo(b)fluoranteno	0.000829
benzo(g,h,i)perileno	0.00000577

COMPUESTO	CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY adim
Aldrin	0.0206
Dieldrin	0.0012
1,2-Diclorobenceno	0.080
Hexaclorobenceno	0.0618
Fenol	0.000016
2-Clorofenol	0.016
Pentaclorofenol	0.0000825
Tetracloruro de carbono	1.237
Tetracloroetileno	0.7588

COMPUESTO	COEFICIENTE DE SORCIÓN Log L/kg
benceno	1.77
tolueno	2.13
etilbenceno	2.56
m-xileno	3.20
MTBE	1.08
naftaleno	3.30
fenantreno	4.15
benzo(a)pireno	6.00
benzo(b)fluoranteno	5.74
benzo(g,h,i)perileno	6.20

COMPUESTO	COEFICIENTE DE SORCIÓN Log L/kg
Aldrin	2.61
Dieldrin	4.55
1,2-Diclorobenceno	3.32
Hexaclorobenceno	3.40
Fenol	1.46
2-Clorofenol	2.59
Pentaclorofenol	2.96
Tetracloruro de carbono	2.67
Tetracloroetileno	2.19

COMPUESTO	PRESIÓN DE VAPOR mm Hg
benceno	95.2
tolueno	30.0
etilbenceno	10.0
m-xileno	7.0
MTBE	249.0
naftaleno	0.23
fenantreno	0.00021
benzo(a)pireno	0.000568
benzo(b)fluoranteno	0.000000667
benzo(g,h,i)perileno	0.000000001

COMPUESTO	PRESIÓN DE VAPOR mm Hg
Aldrin	0.0000167
Dieldrin	0.000000996
1,2-Diclorobenceno	1.50
Hexaclorobenceno	0.0000123
Fenol	0.341
2-Clorofenol	1.40
Pentaclorofenol	0.000017
Tetracloruro de carbono	113.00
Tetracloroetileno	19.00

COMPUESTO	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AGUA cm ² /s	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AIRE cm ² /s
benceno	0.0000098	0.088
tolueno	0.0000094	0.085
etilbenceno	0.0000078	0.075
m-xileno	0.0000085	0.072
MTBE	0.0000940	0.079
naftaleno	0.0000075	0.059
fenantreno	0.0000074	0.033
benzo(a)pireno	0.0000090	0.043
benzo(b)fluoranteno	0.0000055	0.023
benzo(g,h,i)perileno	0.0000056	0.049

COMPUESTO	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AGUA cm ² /s	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AIRE cm ² /s
Aldrin	0.0000048	0.013
Dieldrin	0.0000047	0.012
1,2-Diclorobenceno	0.0000079	0.069
Hexaclorobenceno	0.0000059	0.054
Fenol	0.0000091	0.082
2-Clorofenol	0.0000095	0.050
Pentaclorofenol	0.0000061	0.056
Tetracloruro de carbono	0.0000088	0.078
Tetracloroetileno	0.0000082	0.072



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS**

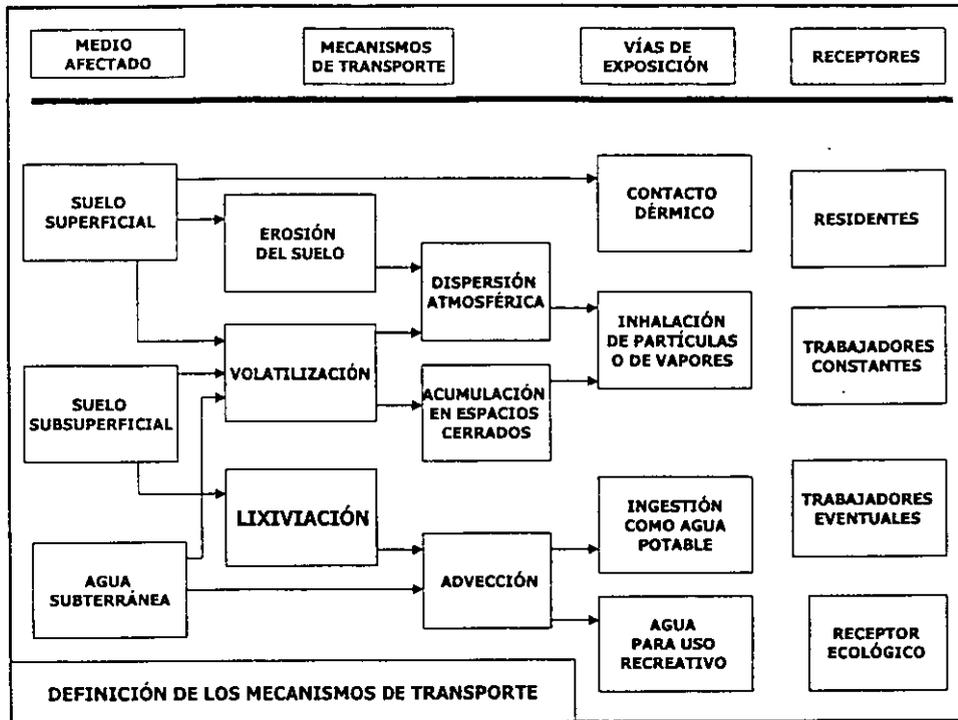
**MODULO II
CA 113**

**CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS
CON CONTAMINANTES ORGÁNICOS**

TEMA

CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERIA
OCTUBRE DE 2002**



CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES

- ✓ tiempo de exposición
- ✓ edad, sexo
- ✓ calidad de vida
- ✓ actividad dentro del sitio

**FACTOR DE
RIESGO
DE CÁNCER**

Uno de cada "n" individuos
puede ser afectado en
función de la vía de
exposición (entre mayor
sea "n" el riesgo es menor)

Riesgo aceptable individual: 10^{-6}

Riesgo aceptable acumulado: 10^{-5}

**ÍNDICE DE PELIGROSIDAD
POR TOXICIDAD**

número de veces
que la dosis está
por encima de la
concentración que
no causa daño

Índice aceptable : 1

CASO DE ESTUDIO:
**EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD EN UN SITIO
 CON PRESENCIA DE COMBUSTIBLES EN EL SUBSUELO**

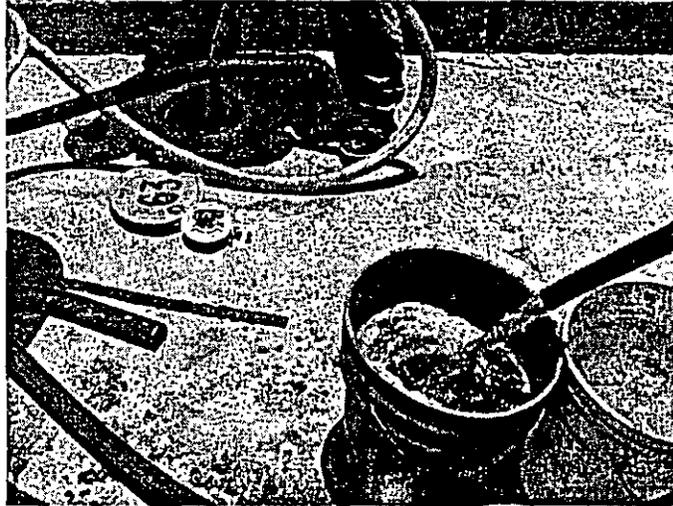


Tabla 1. DATOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD

SUELO

HIDROCARBURO	LÍMITE DE DETECCIÓN mg/kg	No MUESTRAS ANALIZADAS	CONCENTRACIONES ENCONTRADAS EN LAS MUESTRAS (mg/kg)			CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVA mg/kg
			MÁXIMA	PROMEDIO	ULC95 SOBRE EL PROMEDIO	
benzoflantantraceno	0.0167	10	0.1030	0.0096	0.0120	0.0120
fenantreno	0.0167	10	0.203	0.0100	0.0140	0.0140
fluoreno	0.6670	10	1.2000	0.3600	0.4600	0.4600
naftaleno	0.6670	10	0.3300	0.3300	0.3300	0.3300
pireno	0.0167	10	0.3600	0.0100	0.0140	0.0140
acenaftileno	0.6670	10	0.3300	0.3300	0.3300	0.3300
xilenos	0.0300	17	31.0000	0.0580	0.1400	0.1400
tolueno	0.0100	17	0.1600	0.0073	0.0110	0.0110
etilbenceno	0.0100	17	2.3000	0.0075	0.0140	0.0140
benceno	0.0100	17	0.0620	0.0058	0.0075	0.0075

AGUA SUBTERRÁNEA

HIDROCARBURO	LÍMITE DE DETECCIÓN mg/l	No MUESTRAS ANALIZADAS	CONCENTRACIONES ENCONTRADAS EN LAS MUESTRAS (mg/l)			CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVA mg/l
			MÁXIMA	PROMEDIO	ULC95 SOBRE EL PROMEDIO	
benzoflantantraceno	0.0005	9	0.00025	0.00025	0.00025	0.00025
fenantreno	0.0050	9	0.06000	0.00450	0.00840	0.00840
fluoreno	0.0200	9	0.04300	0.01300	0.01800	0.01800
naftaleno	0.0700	9	0.24000	0.13000	0.19000	0.19000
pireno	0.0005	9	0.00025	0.00025	0.00025	0.00025
acenaftileno	0.0200	9	0.03100	0.01200	0.01600	0.01600
xilenos	0.0300	19	2.90000	0.04500	0.09000	0.09000
tolueno	0.0100	19	0.16000	0.00800	0.01300	0.01300
etilbenceno	0.0100	19	0.52000	0.01000	0.01900	0.01900
benceno	0.0100	19	0.15000	0.00970	0.01600	0.01600

Tabla 2. FACTORES DE RIESGO A LA SALUD HUMANA

Hidrocarburo	VIA DE EXPOSICIÓN								
	INHALACIÓN DE HIDROCARBUROS PROVENIENTES DE SUELO Y SUBSUELO				INGESTIÓN Y CONTACTO DÉRMICO CON SUELO		INGESTIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA		
	EN LA PLANTA DE COMBUSTIBLES	POR MOVIMIENTO DEL SUELO	EN EL EDIFICIO ADJUNTO	EN LA ZONA RESIDENCIAL	EN LA PLANTA DE COMBUSTIBLES	POR MOVIMIENTO DEL SUELO	EN LA PLANTA DE COMBUSTIBLES	EN EL EDIFICIO ADJUNTO	EN LA ZONA RESIDENCIAL
Factores de riesgo individuales (por hidrocarburo) Riesgo aceptable 1 E-6									
benzo(a)antraceno	9.6 E-12	1.3 E-12	5.1 E-14	5.9 E-15	1.2 E-8	3.8 E-10	6.4 E-7	7.1 E-10	1.5 E-9
fenantreno*									
fluoreno*									
naftaleno*									
pireno*									
acenaftileno*									
xilenos*									
tolueno*									
etilbenceno*									
benceno	2.1 E-9	2.3 E-10	1.1 E-11	1.3 E-12	2.3 E-9	6.8 E-11	1.6 E-8	2.1 E-7	7.0 E-7
Factores de riesgo acumulado (por todos los hidrocarburos juntos) Riesgo aceptable 1 E-5									
Acumulado	2.1 E-9	2.3 E-10	1.1 E-11	1.3 E-12	1.4 E-8	4.5 E-10	2.2 E-8	2.1 E-7	7.1 E-7
Factores de riesgo acumulado (por todos los hidrocarburos juntos) Riesgo aceptable 1 EN 100,000 INDIVIDUOS									
Acumulado	1 de 470 millones	1 de 4.348 millones	1 de 90.090 millones	1 de 769.230 millones	1 de 74 millones	1 de 2.222 millones	1 de 454,000 millones	1 de 476 millones	1 de 1.41 millones
Nota: los hidrocarburos marcados con * no son carcinógenos a humanos, por ello las celdas quedaron vacías									

Tabla 3. ÍNDICES DE PELIGROSIDAD POR TOXICIDAD

Hidrocarburo	VIA DE EXPOSICIÓN								
	INHALACIÓN DE HIDROCARBUROS PROVENIENTES DE SUELO Y SUBSUELO				INGESTIÓN Y CONTACTO DÉRMICO CON SUELO		INGESTIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA		
	EN LA PLANTA DE COMBUSTIBLES	POR MOVIMIENTO DEL SUELO	EN EL EDIFICIO ADJUNTO	EN LA ZONA RESIDENCIAL	EN LA PLANTA DE COMBUSTIBLES	POR MOVIMIENTO DEL SUELO	EN LA PLANTA DE COMBUSTIBLES	EN EL EDIFICIO ADJUNTO	EN LA ZONA RESIDENCIAL
Índice de peligrosidad individual (por hidrocarburo) Índice aceptable 1									
benzo(a)antraceno	3.0 E-10	1.0 E-9	1.5 E-12	1.6 E-13	9.0 E-7	4.0 E-7	7.2 E-3	8.5 E-5	1.0 E-8
fenantreno**					1.7 E-6	1.4 E-6	1.0 E-3	6.6 E-2	1.8 E-5
fluoreno**					4.2 E-5	3.5 E-5	4.6 E-3	3.3 E-4	9.2 E-4
naftaleno	1.2 E-6	7.0 E-6	6.2 E-9	6.1 E-10	3.1 E-6	2.5 E-6	4.6 E-3	8.5 E-5	2.4 E-4
pireno**					1.8 E-6	1.5 E-6	8.2 E-5	2.7 E-6	7.5 E-6
acenaftileno**					3.1 E-4	2.5 E-4	3.9 E-2	1.7 E-3	4.8 E-3
xilenos	1.1 E-6	2.8 E-6	5.7 E-6	5.6 E-10	2.2 E-6	1.6 E-6	1.1 E-4	5.7 E-5	1.6 E-4
tolueno	2.2 E-8	5.4 E-6	1.2 E-8	1.1 E-9	2.1 E-6	1.5 E-6	6.2 E-4	7.7 E-6	2.2 E-4
etilbenceno	9.3 E-7	1.8 E-6	4.9 E-9	4.9 E-10	4.2 E-6	3.1 E-6	1.8 E-3	7.7 E-5	2.1 E-4
benceno	1.2 E-4	3.2 E-4	5.4 E-7	6.7 E-8	7.2 E-5	5.3 E-5	5.1 E-2	6.7 E-3	1.9 E-2
Índice de peligrosidad acumulado (por todos los hidrocarburos juntos) Índice aceptable 1									
Acumulado	1.3 E-4	3.4 E-4	6.7 E-7	6.4 E-8	4.4 E-4	3.5 E-4	1.1 E-1	9.1 E-3	2.5 E-2
Nota: para los hidrocarburos marcados con ** no existe información suficiente con la cual se puedan realizar los cálculos, por ello las celdas quedaron vacías									

Mitos de la evaluación de riesgo a la salud

- ✓ **La metodología de evaluación de riesgo a la salud y riesgo ecológico en sitios contaminados representa un sustento científico para evaluar la gravedad de la contaminación**
- ✓ **Útil en la toma de decisiones**

Realidades de la evaluación de riesgo a la salud

- ✓ **Puede ser un traje a la medida**
- ✓ **No existe aún en el país la suficiente capacidad para instrumentar este tipo de metodologías**
- ✓ **Como todo modelo puede ser cuestionable y tiene sus limitantes, la más importante es que no existe información de las características fisicoquímicas de todas las sustancias que puedan alimentar el modelo**
- ✓ **Cuando no existen sustancias de preocupación potencial, no existe riesgo, entonces cual fue la utilidad del estudio? cuanto tiempo tomó hacerlo? a partir del estudio de riesgo, qué se concluye respecto a las necesidades de remediación?**

RIESGO ECOLÓGICO

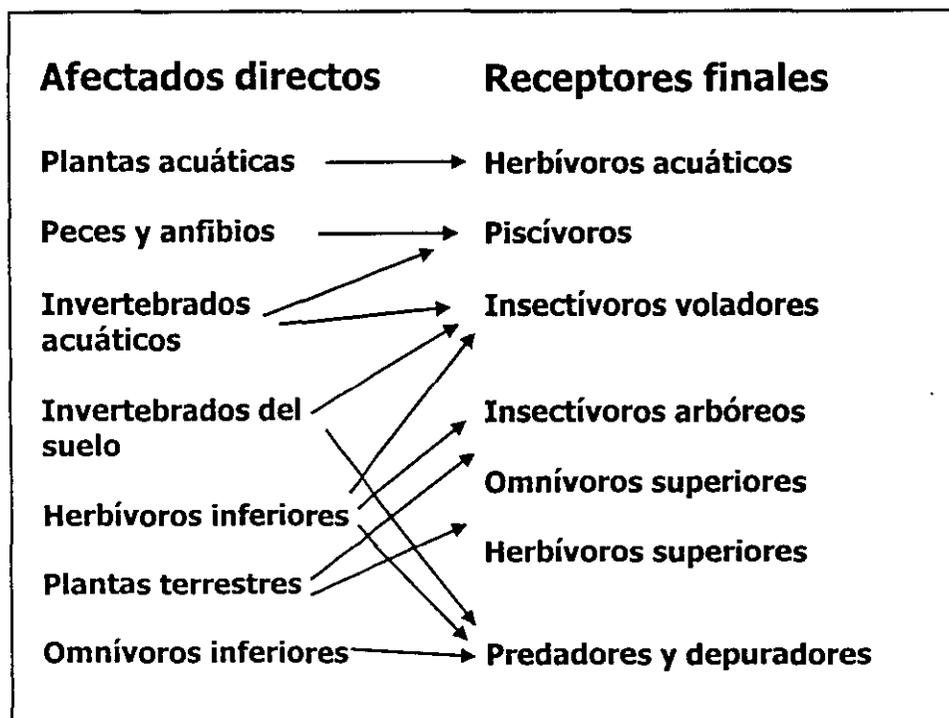
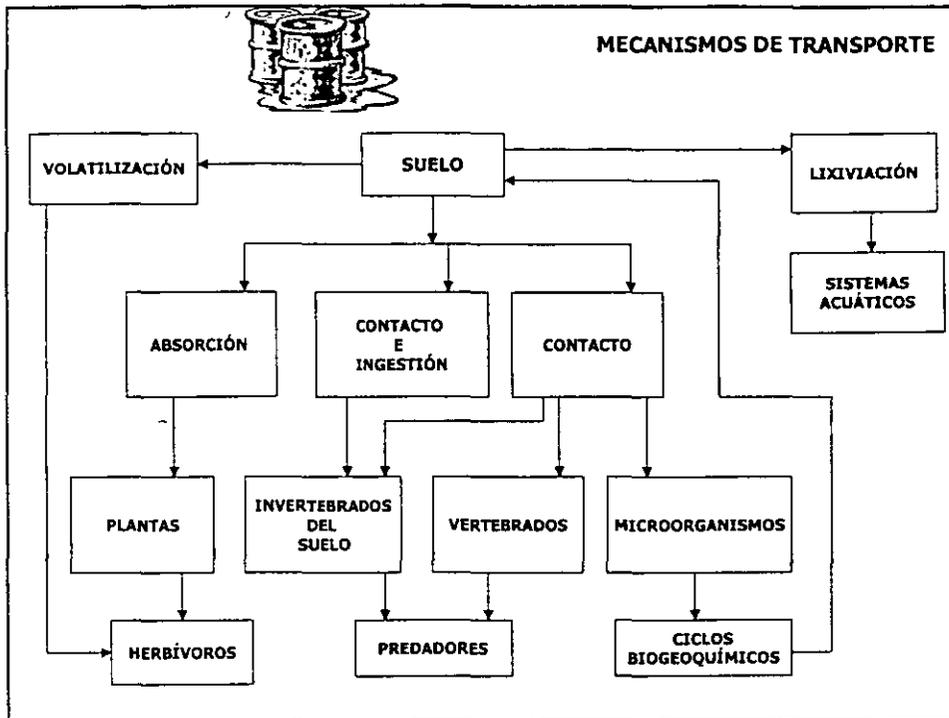


√ **Destrucción de especies nativas
vegetales y/o animales presentes en suelo
o cuerpos de agua superficiales**



INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO

- **Características de los receptores**
- **Identificación de las formas de exposición de los receptores**
- **Identificación de los receptores finales de las cadenas alimenticias involucradas**
- **Concentración de los contaminantes en el medio afectado**



**RIESGO ASOCIADO A LA LIBERACIÓN EN ESPACIOS
ABIERTOS DE MICROORGANISMOS
TRANSGÉNICOS (MMGs) USADOS EN
BIORREMEDIACIÓN**

- √ **Presencia de genes marcadores con resistencia a antibióticos**
- √ **Vías de exposición a humanos y animales:
inhalación, ingestión y/o contacto dérmico**
- √ **Diseminación incontrolada en el ambiente**
- √ **Impacto sobre la biodiversidad**

ssb@pumas.iingen.unam.mx

entidad mexicana de acreditación, a.c.

Ramas que acredita:

- √ Agua
- √ Residuos, fuentes fijas, ambiente laboral (suelos)
- √ Química
- √ Alimentos (agua potable)

La ema, a.c. entrega al laboratorio un documento con el No. de Acreditación por cada rama indicando la vigencia de la misma, incluye un listado con todas las pruebas acreditadas. El cliente debe tener acceso a esta información.

organismos encargados de la aprobación de métodos analíticos que la ema, a.c. acredita a los laboratorios de prueba

√ **CENICA-INE**

fuentes fijas, residuos y ambiente laboral (suelos)

NOM-052-ECOL-1993; NOM-053-ECOL-1993; NOM-085-ECOL-1994;
PRY-NOM-098-ECOL-2000; NOM-010-STPS-1999; (NOM-EM-138-ECOL-2002)

√ **SECRETARÍA DE SALUD**

alimentos (agua potable)

NOM-127-SSA1-1994 (2002);

√ **CNA**

aguas naturales, subterránea, residual

NOM-001-ECOL-1996, Lineamientos de la Ley Federal de Derechos en
Materia de Agua, Criterios Ecológicos de Calidad del Agua

ESTADO ACTUAL DE LOS MÉTODOS EPA

MÉTODO EPA	PARÁMETRO	VIGENTE DESDE	REVISIONES	ESTATUS	MÉTODO ACTUAL
8020	orgánicos volátiles GC/FID	1978		baja	
8021	orgánicos volátiles GC/FID			vigente	
8240	orgánicos volátiles GC/MS	1986		baja	
8260	orgánicos volátiles GC/MS/CC	1996		vigente	8260 B
8100	HAPs GC/	1986		vigente	
8310	HAPs GC/MS/CC	1986		vigente	
8270	orgánicos semivolátiles GC/MS/CC	1987	1994 (B) 1996 (C)	vigente	8270 D 1998
8015	fracciones gasolina y diesel GC/FID	1986	1996 (B)	vigente	8015 B 1996
418.1	HTPs	1978		vigente NMX-AA-117-SCFI-2001	

NOM-003-CNA-1996

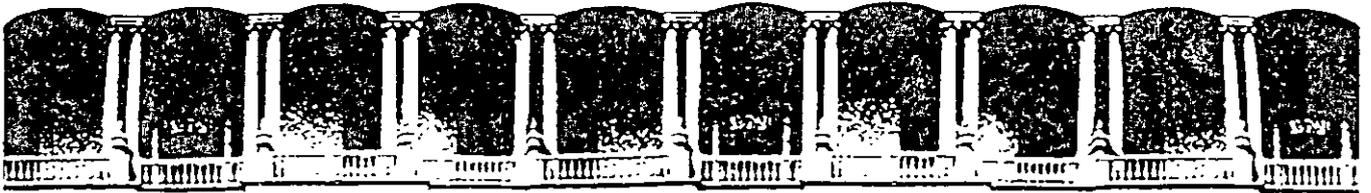
DOF 6 enero 1997

**REQUISITOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
DE POZOS DE AGUA PARA PREVENIR LA
CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS**

NOM-004-CNA-1996

DOF 24 julio 1997

**PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS DURANTE EL
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE
POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA Y PARA
EL CIERRE DE POZOS EN GENERAL**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**COMITÉ DE FORTALECIMIENTO ACADÉMICO DE RIESGO Y ACUÍFEROS
COMITÉ DE INVESTIGACIÓN**

CURSOS ABIERTOS

**COMITÉ DE FORTALECIMIENTO ACADÉMICO DE RIESGO Y ACUÍFEROS
COMITÉ DE INVESTIGACIÓN**

XIV CURSO INTERNACIONAL SOBRE CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS

**MODULO II
CA 113**

**COMITÉ DE FORTALECIMIENTO ACADÉMICO DE RIESGO Y ACUÍFEROS
COMITÉ DE INVESTIGACIÓN**

CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES ORGÁNICOS

TEMA

**ENFOQUE INTEGRAL DE RIESGO EN CONTAMINACIÓN
DE SUELOS Y ACUÍFEROS**

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
PALACIO DE MINERIA
OCTUBRE DE 2002**

**ENFOQUE INTEGRAL DE
RIESGO EN CONTAMINACIÓN DE
SUELOS Y ACUÍFEROS**

**Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM**

**RIESGOS ASOCIADOS A LA
CONTAMINACIÓN CON HIDROCARBUROS**

- √ riesgo de explosión con pérdida de vidas y bienes materiales
- √ riesgo a la salud humana por las diferentes vías de exposición
- √ riesgo geohidrológico, con afectación a cuerpos de agua que son fuente de abastecimiento para uso y consumo humano y/o de animales, o para riego agrícola
- √ riesgo ecológico con afectación a especies de flora y fauna que son fuente de alimentación, tienen interés comercial o están en peligro de extinción

RIESGO DE EXPLOSIÓN

Por acumulación de gases en el subsuelo

✓ **en el sistema de drenaje y alcantarillado**

✓ **en ductos fuera de uso**

✓ **en tanques enterrados**

ELEMENTOS QUE FAVORECEN UNA EXPLOSIÓN.

- 1. Volatilidad e inflamabilidad típicas del material**
- 2. Espacio libre que permita acumulación de vapores**
- 3. Una concentración mínima de oxígeno del 16%**
- 4. Presencia de un detonador**

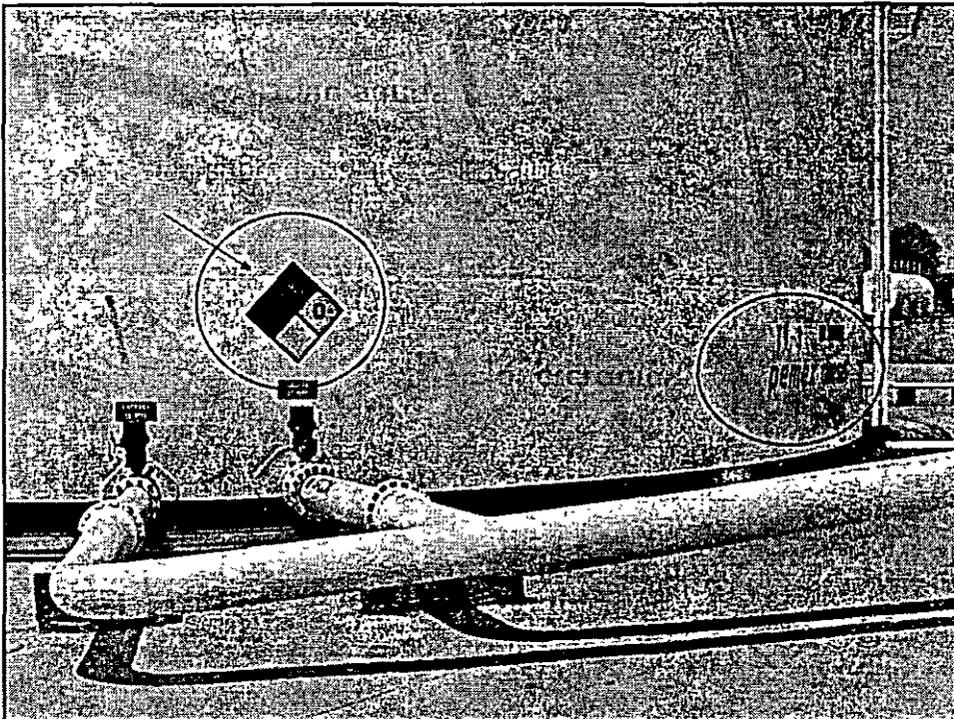
RIESGO DE EXPLOSIÓN

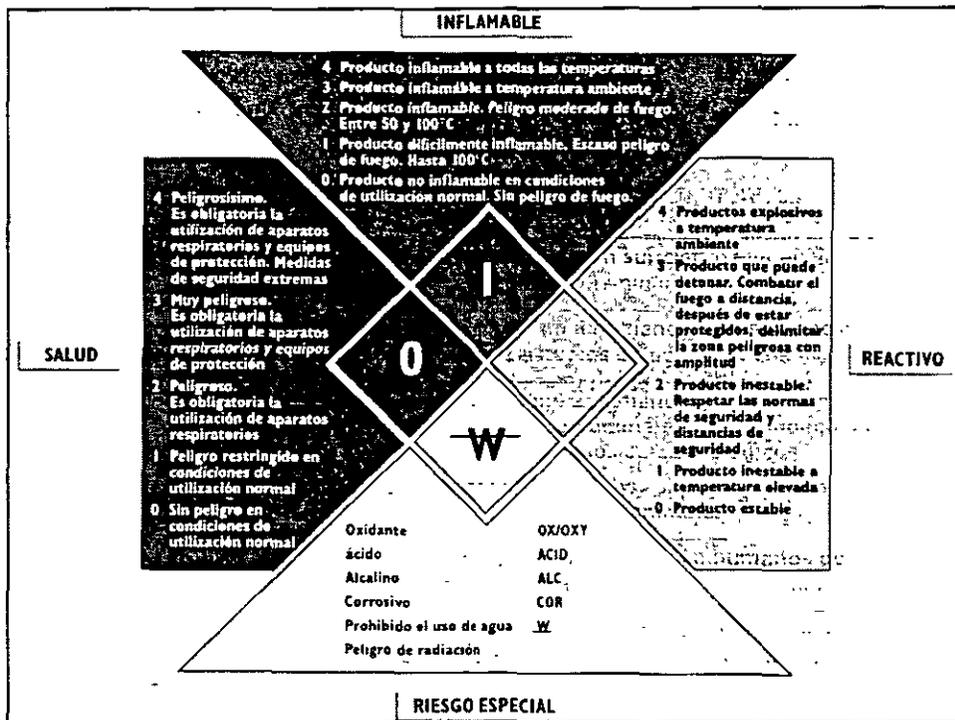
	gasolina	diesel
Salud	2-1	1-0
Flamabilidad	4-3	2-1
Reactividad	1-0	0-1
Temperatura de inflamación °C	-38	52

Límite de inflamabilidad de la gasolina en aire:
1.4 a 7.6 % (v/v)

Consideraciones de la USEPA

gasolina riesgo agudo a la salud y riesgo de fuego
diesel riesgo de fuego





NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES

COMBUSTIBLE	RIESGO A LA SALUD	RIESGO DE INFLAMABILIDAD	RIESGO POR REACTIVIDAD
Gasnafta	1	3	0
Gasolina	1	3	0
Gasavión	1	3	0
Gasolvente	1	3	0
Turbosina	1	3	0
Diesel	0	2	0
Gasóleo	0	2	0
Combustóleo	0	2	0
Asfalto	0	1	0
Crudo	2	3	0

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGO DE DIFERENTES PRODUCTOS DESTILADOS

COMBUSTIBLE	RIESGO A LA SALUD	RIESGO DE INFLAMABILIDAD	RIESGO POR REACTIVIDAD
Benceno	2	3	0
Tolueno	2	3	0
Etilbenceno	2	3	0
Xilenos	2	3	0
Hexano	1	3	0
n-Heptano	1	3	0
Ciclohexano	1	3	0

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGO DE OTROS PRODUCTOS QUE SE MANEJAN EN REFINERÍAS

COMBUSTIBLE	RIESGO A LA SALUD	RIESGO DE INFLAMABILIDAD	RIESGO POR REACTIVIDAD
Tetraetilo de plomo	3	2	3
MTBE	1	3	0
Azufre	2	1	0
Cloruro de vinilo	2	4	1

RIESGO GEOLÓGICO

- √ **Formación de fracturas**
- √ **Ruptura de ductos subterráneos**
- √ **Daños estructurales por malas prácticas de remediación**
 - **Sobre-extracción de agua subterránea**
 - **Oxidación de la materia orgánica del suelo**
 - **Inyección de agentes ajenos al subsuelo**

RIESGO GEOHIDROLÓGICO

Afectación a fuentes de abastecimiento de agua potable



Aspectos a considerar:

- √ **Características de los contaminantes que determinan su dispersión**
- √ **Características del sitio que determinan la dispersión de los contaminantes**

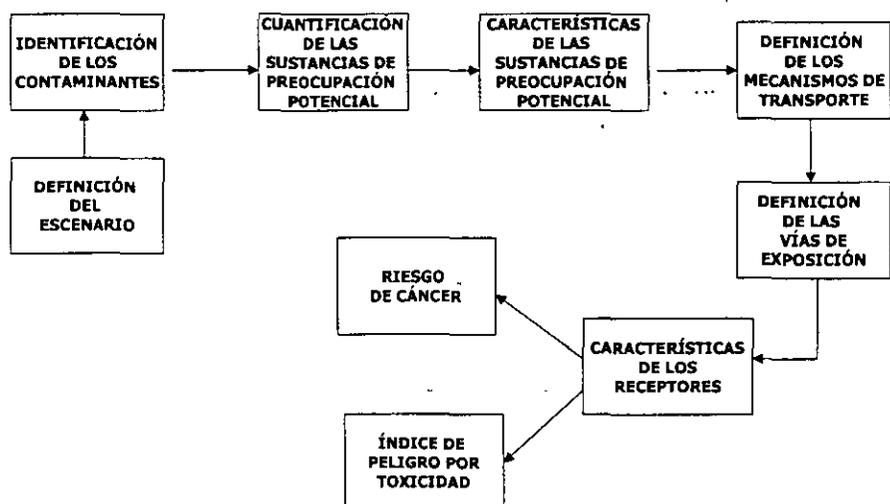
EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD HUMANA

Daños a la salud humana por la presencia de contaminantes



RIESGO A LA SALUD HUMANA

Evaluación mediante el procedimiento RBCA (*Risk Based Corrective Action*)



IDENTIFICACIÓN DEL ESCENARIO AFECTADO

SUELO SUPERFICIAL

- **TERRENO NATURAL**
- **LOSA DE CONCRETO O ASFALTO**

SUBSUELO

- **ZONA VADOSA (no-saturada)**
- **ACUITARDO (no explotable)**
- **ACUÍFERO (agua de abastecimiento)**

CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL

- **PRESAS, LAGOS, RÍOS**
- **MANGLARES, PANTANOS**
- **ZONAS COSTERAS, MAR ABIERTO**

FORMAS EN QUE SE PUEDEN ENCONTRAR LOS HIDROCARBUROS AL ENTRAR EN CONTACTO CON SUELO Y SUBSUELO

- **adsorbidos a las partículas del suelo**
- **en fase gaseosa**
- **disueltos en agua
(intersticial y agua subterránea)**
- **en fase libre flotando sobre el agua subterránea**

SUSTANCIAS INDICADORAS DE RIESGO

GRUPO DE COMPUESTOS	GASOLINA	DIESEL	TURBOSINA	PETRÓLEO CRUDO Y SUS RESIDUOS	ACEITES Y RESIDUOS ACEITOSOS
BTEX	X		X		
HPAs		X	X	X	X
MTBE / TEP	X				
METALES ESPECÍFICOS DEL PETRÓLEO				X	

toxicidad aguda

una sola sobredosis afecta la salud
(intoxicación)

toxicidad crónica

dosis frecuentes de
compuestos bioacumulables,
aunque sean mínimas pueden causar
carcinogenicidad,
teratogenicidad
o **mutagenicidad**

**CRITERIOS USEPA PARA LA CLASIFICACIÓN
DE SUSTANCIAS QUÍMICAS CON BASE
EN EL RIESGO DE CÁNCER
PARA CUALQUIER VÍA DE EXPOSICIÓN**

A	Carcinógeno a humanos con suficiente evidencia de estudios epidemiológicos
B1	Probable carcinógeno a humanos, con evidencia limitada de estudios epidemiológicos
B2	Probable carcinógeno a humanos, con suficiente evidencia de estudios con animales, pero inadecuada evidencia de estudios epidemiológicos
C	Posible carcinógeno a humanos con limitada evidencia de estudios con animales
D	No clasificable como carcinógeno a humanos por inadecuada evidencia en estudios con animales
E	Evidencia de no-carcinogenicidad en humanos y ninguna evidencia en animales de diferentes especies

**CRITERIOS NPDWR PARA LA CLASIFICACIÓN
DE SUSTANCIAS QUÍMICAS CON BASE
EN EL RIESGO DE CÁNCER
SE ENFOCA A LA INGESTIÓN DE AGUA SIN
CONSIDERAR INHALACIÓN**

I	EQUIVALENTE A USEPA A, B1 Y B2
II	EQUIVALENTE A USEPA C
III	EQUIVALENTE A USEPA D Y E

NÚMERO DE COMPUESTOS CLASIFICADOS POR LA USEPA (2002)

CLASIFICACIÓN USEPA	CATEGORÍA DE RIESGO A LA SALUD	NÚMERO DE COMPUESTOS CLASIFICADOS
A	CARCINÓGENO A HUMANOS	11
B1	PROBABLE CARCINÓGENO, EVIDENCIA LIMITADA EN HUMANOS	5
B2	PROBABLE CARCINÓGENO, EVIDENCIA SUFICIENTE EN ANIMALES	69
C	POSIBLE CARCINÓGENO, EVIDENCIA LIMITADA EN ANIMALES	41
D	NO CLASIFICABLE COMO CARCINÓGENO A HUMANOS	113
E	EVIDENCIA DE NO-CARCINOGENICIDAD EN HUMANOS	3

CLASIFICACIÓN USEPA Y EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS

IRIS: Integrated Risk Information System 2002

COMPUESTO	CLASIFICACIÓN USEPA (años de clasificación y de revisiones)	VÍA DE EXPOSICIÓN CORRESPONDIENTE A LA CLASIFICACIÓN	EFECTOS A LA SALUD (Años de publicación de estudios empleados como base para la clasificación)
Benceno	A 86/00	Inhalación (exposición ocupacional) Ingestión (de agua)	Leucemia en humanos Estudios epidemiológicos en humanos 1974, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1985, 1986, 1987, 1992, 1993, 1994, 1996, 1997, 1998, 1999
Tolueno*	D 86/92/94	Ingestión / Inhalación	Efectos neurológicos, degeneración del epitelio nasal en animales de laboratorio 1956, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1989, 1990
Etilbenceno	D 86/87/90/91	Ingestión / Inhalación	Toxicidad al hígado y riñón en animales de laboratorio 1956, 1980, 1981, 1983, 1985, 1988, 1989, 1990, 1991
Xileno*	D 86/87/91	Ingestión / Inhalación	Hiperactividad y reducción del peso corporal en animales de laboratorio 1984, 1985, 1986

* En proceso de revisión (2002)

CLASIFICACIÓN USEPA Y EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS

IRIS: Integrated Risk Information System 2002

COMPUESTO11	CLASIFICACIÓN USEPA (años de clasificación y de revisiones)	VÍA DE EXPOSICIÓN CORRESPONDIENTE A LA CLASIFICACIÓN	EFFECTOS A LA SALUD (Años de publicación de estudios empleados como base para la clasificación)
Benzo(a)pireno	B2 86/92/94	Implantación en pulmones / Inyección intraperitoneal y subcutánea	Desarrollo de tumores y genotoxicidad en animales de laboratorio 1967, 1973, 1981, 1991, 1992
Benzo(a)antraceno	B2 86/90/94	Inyección intraperitoneal / subcutánea / intramuscular	Desarrollo de tumores en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias 1951, 1952, 1959, 1963, 1969, 1971, 1972, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1981, 1984, 1986, 1987, 1988, 1990
Benzo(b)fluoranteno	B2 86/90/93/94	Implantación en pulmones / Inyección intraperitoneal y subcutánea	Desarrollo de carcinomas en aparato digestivo y pulmones en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias 1959, 1963, 1982, 1983, 1985, 1986, 1987,
Benzo(k)fluoranteno	B2 86/90/94	Implantación en pulmones / Inyección subcutánea	Desarrollo de tumores en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias 1966, 1980, 1982, 1983, 1985, 1987,
Criseno	B2 86/90/94	Inyección intraperitoneal / Contacto dérmico	Desarrollo de carcinomas y linfomas en piel, anomalías cromosómicas en animales de laboratorio 1959, 1966, 1972, 1973, 1974, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1983, 1985, 1986
Dibenzo(a,h)antraceno	B2 86/90/94	Inyección intramuscular y subcutánea	Desarrollo de carcinomas en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias 1943, 1955, 1959, 1962, 1963, 1967, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983

CLASIFICACIÓN USEPA Y EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS

IRIS: Integrated Risk Information System 2002

COMPUESTO	CLASIFICACIÓN USEPA (años de clasificación y de revisiones)	VÍA DE EXPOSICIÓN CORRESPONDIENTE A LA CLASIFICACIÓN	EFFECTOS A LA SALUD (Años de publicación de estudios empleados como base para la clasificación)
Naftaleno	C 86/90/98	Ingestión / Inhalación	Hiperplasia y metaplasia en epitelio respiratorio y nasal en animales de laboratorio 1964, 1980, 1981, 1982, 1984, 1985, 1986, 1989, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1997, 1998
Acenafteno	- 89/90/93/94	Inyección intraperitoneal	Hepatotoxicidad en animales de laboratorio 1969, 1970, 1975, 1989
Acenaftileno	D 86/90/91	Apliación dérmica	Estudios en animales de laboratorio 1932
Antraceno	D 86/90/91/93/94	Inyección intraperitoneal	Ninguno observado en animales de laboratorio 1955, 1972, 1973, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984, 1985, 1988, 1989,
Fenantreno	D 86/90/94	Inyección intraperitoneal y subcutánea	Estudios en animales de laboratorio 1962, 1963, 1964, 1973, 1976, 1977, 1979, 1981, 1982, 1985

CLASIFICACIÓN USEPA Y EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS
 IRIS: Integrated Risk Information System 2002

COMPUESTO	CLASIFICACIÓN USEPA (años de clasificación y de revisiones)	VÍA DE EXPOSICIÓN CORRESPONDIENTE A LA CLASIFICACIÓN	EFECTOS A LA SALUD (Años de publicación de estudios empleados como base para la clasificación)
Fluoranteno	D 86/90/93/94	Inyección intraperitoneal	Nefropatía, alteraciones hematológicas en animales de laboratorio 1957, 1959, 1972, 1974, 1976, 1979, 1983, 1987, 1988
Fluoreno	D 86/90	Inyección intraperitoneal	Estudios en animales de laboratorio 1960, 1981, 1984, 1988, 1989
Benzo(g,h,i)perileno	D 86/90	Implantación en pulmones/ Inyección subcutánea	Estudios en animales de laboratorio 1959, 1966, 1968, 1973, 1976, 1983
Pireno	D 86/90/91/93/94	Inyección intraperitoneal	Estudios en animales de laboratorio 1940, 1973, 1974, 1976, 1981, 1986, 1989

La probable carcinogenicidad de los hidrocarburos poliaromáticos en humanos se ha relacionado con mezclas de diferentes compuestos presentes en el humo del cigarro, así como en emisiones a la atmósfera de los hornos de carbón de piedra (mineral) también conocido como hulla, durante el proceso de obtención de coque, así como en la destilación de la hulla y de la madera de coníferas para obtener alquitrán y creosota. En su caso, la vía de exposición sería la de inhalación de humos.

Sin embargo, no ha sido posible concluir que los hidrocarburos poliaromáticos son los agentes directamente responsables.