



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS 2006

CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA

LA GEOHIDROLOGÍA EN LA CARACTERIZACIÓN Y
RESTAURACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

LA GEOHIDROLOGIA EN LA CARACTERIZACIÓN Y RESTAURACION DE SITIOS CONTAMINADOS

POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
lesser@prodigy.net.mx

1.- ROCAS Y ACUÍFEROS

La corteza terrestre se encuentra formada por diferentes rocas y materiales que varían en su capacidad geohidrológica. Mientras que algunas tienen porosidad y permeabilidad, permitiendo el paso del agua, otras se presentan compactadas e impermeables.

Para su explicación, se tomo como ejemplo a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se agruparon los diferentes tipos de rocas y/o materiales en relación a su composición y a sus características geohidrológicas en: (1) rocas fracturadas y piroclásticos; (2) materiales granulares; (3) rocas impermeables; (4) materiales impermeables y; (5) materiales semipermeables. A continuación se describen estas unidades.

Rocas fracturadas y piroclásticos.- Un ejemplo de *roca fracturada* corresponde a los *basaltos*. Estos, son el producto de erupciones volcánicas a partir de centros eruptivos, de donde son eyectadas corrientes de lavas de composición basáltica, muchas de las cuales forman los flancos de los volcanes. Algunas de dichas coladas de lava se extiende hacia los valles en donde se encuentran formando acuíferos.

Las coladas de basalto al enfriarse, se enjutan provocando el fracturamiento de la roca, lo que ocasiona que permitan fácilmente la infiltración, circulación y almacenamiento de agua.

Los *piroclásticos* son fragmentos de material expulsados por un volcán durante las erupciones explosivas. Cuando los fragmentos presentan tamaño fino se les denominan cenizas, que al compactarse forman las *tobas*. Fragmentos de mayor tamaño y que son

importantes geohidrológicamente son los denominados *tezontles*. Estos, corresponden a la misma roca basáltica que, en el momento de ser eyectada, incluye abundantes gases, lo cual hace que presente una textura de apariencia de esponja. Es común que durante las erupciones volcánicas los fragmentos de la lava sean lanzados al aire, acumulándose sobre los flancos de los conos volcánicos. Los tezontles asociados con las lavas fracturadas, presentan una alta permeabilidad y permiten la fácil infiltración y circulación del agua en el subsuelo.

Materiales granulares.- Como su nombre lo indica, los *materiales granulares* corresponden a fragmentos de rocas que semejan granos, los cuales se clasifican de acuerdo a su tamaño. Se originan por la erosión y transporte de rocas que forman elevaciones topográficas. El principal agente erosivo lo constituyen las corrientes superficiales, las cuales mueven o transportan los fragmentos de roca de las partes altas de las sierras hacia las porciones bajas, donde son acumulados o depositados. Durante su trayecto, los fragmentos son redondeados obteniendo la apariencia de granos. El tamaño de estos puede variar desde fracciones de milímetro hasta varios centímetros. Los materiales granulares más finos (con diámetros menores de 1/256 y 1/16 mm) se conocen con el nombre de *arcillas y limos* respectivamente. Los materiales granulares de mayor tamaño (entre 1/16 y 2 milímetros) se denominan *arenas*, tamaños mayores de 2 milímetros corresponden a *gravas y cantos rodados*. Al encontrarse sueltos estos granos se denominan “materiales”. Cuando se encuentran consolidados por cementación u otro proceso reciben el nombre de “roca”. Los materiales granulares finos (arcillas y limos) presentan baja permeabilidad y se clasifican como impermeables al flujo subterráneo. Por lo que respecta a las arenas y gravas, éstas presentan permeabilidades altas y constituyen buenos acuíferos. Generalmente las arenas y las gravas incluyen un cierto porcentaje de arcilla; su permeabilidad esta en relación a la mezcla resultante.

Rocas impermeables.- Son rocas que impiden el paso de agua a través de ellas. Cuando las rocas se presentan densas y sin fracturamiento, impiden el flujo de agua a través de ellas lo cual hace que se comporten como *impermeables*.

Materiales impermeables.- Conforme se mencionó en párrafos anteriores se hizo la distinción entre “roca” (cuerpo de material compacto) y “materiales”, siendo estos últimos los constituidos por fragmentos no consolidados. Cuando estos materiales son de tipo arcilloso, como es el caso de sedimentos lacustres arcillosos de lagos, entonces presentan una baja permeabilidad y pueden clasificarse como impermeables. En ciertas

zonas, su permeabilidad puede llegar a permitir el paso de reducida cantidad de agua y se clasifican como materiales semipermeables (ver párrafo siguiente). Las arcillas están constituidas por fragmentos de tamaños menores de 1/256 mm. El agua que puede saturar a estos materiales, en su mayor parte es retenida por atracción molecular hacia cada uno de los granos de arcilla, como se ilustra en la figura No. 2.1 y solamente un porcentaje muy reducido de agua circula a través de los espacios sobrantes. En general, las arcillas se consideran como material impermeable, especialmente para propósitos prácticos, ya que los pozos perforados en estos materiales rinden caudales de agua muy reducidos, generalmente menores de 1 lps lo que hace que se clasifiquen como negativos.

Materiales semipermeables.- Cuando los materiales granulares consisten en una mezcla de arcillas y arenas, los espacios libres entre granos permiten la circulación de cierta (aunque reducida) cantidad de agua, ocasionando que la permeabilidad del material sea mayor que en las arcillas pero menor que en las arenas.

Acuífero.- Se denomina *acuífero* a un cuerpo de roca que se encuentra saturado y presenta una permeabilidad tal que permite la circulación de agua en cantidades económicamente significativas y que puede ser explotada a través de pozos. Existen diferentes acuíferos entre los cuales destacan los siguientes: *Acuífero libre*; es aquel en el que la superficie del nivel estático se encuentra a la presión atmosférica. *Acuífero confinado*; es aquel que se encuentra sujeto a una presión, generalmente ocasionada por el encajonamiento del agua entre dos cuerpos impermeables. *Acuífero colgado*, es aquel que circula sobre una capa impermeable localizada arriba del nivel estático de un acuífero regional. *Acuífero semiconfinado*; es aquel que se encuentra cubierto por un material semipermeable (figura 2.2).

Acuitardo.- Es una capa que retiene pero no evita el flujo del agua hacia un acuífero adyacente. El acuitardo no permite un paso rápido del flujo del agua pero puede servir como una zona de alta capacidad de almacenamiento. También se define como un material que acepta la entrada de agua pero que la cede lentamente.

2.- FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS

**Ciclo hidrológico **

En la corteza terrestre el agua en su gran mayoría se encuentra formando parte del ciclo hidrológico.

El agua de lluvia que se precipita sobre los continentes tiene tres caminos a seguir: Evaporarse para formar las nubes; escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten sus aguas al mar e, infiltrarse en el subsuelo para formar acuíferos. Esta agua infiltrada posteriormente es drenada por corrientes superficiales o aflora en forma de manantiales, para evaporarse o seguir su camino al mar donde también parte de ésta se evapora y continua en su ciclo natural conforme se ilustra en la figura No. 2.3. Las aguas que no se encuentran en movimiento dentro del ciclo hidrológico se caracterizan por incrementar su contenido salino y se conocen como aguas fósiles; la proporción de agua fósil respecto a agua dentro del ciclo hidrológico es sumamente baja.

El agua subterránea que forma los acuíferos proviene principalmente de la lluvia, donde parte de esta al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. El agua infiltrada, en ocasiones pasa por zonas cercanas a cámaras magmáticas donde incrementa su temperatura o puede permanecer atrapada entre sedimentos en forma de agua fósil.

Distribución del agua en el subsuelo

La distribución del agua en el subsuelo se ilustra en la figura 2.4, donde se muestra el límite de la zona saturada que se denomina nivel estático. La porción que se encuentra bajo el nivel estático en la roca saturada se denomina acuífero. La zona no saturada que corresponde a la porción entre la superficie del terreno y el nivel estático recibe también el nombre de zona vadosa. Cuando los acuíferos corresponden a materiales granulares, en los pozos se produce un efecto de capilaridad que permite la ascensión del agua, dando origen a una zona denominada de aguas capilares.

Zonas de recarga

Son las principales áreas donde se infiltra el agua de lluvia. Generalmente corresponden a porciones permeables ubicadas topográficamente altas, permiten la infiltración y circulación de agua hacia los acuíferos. Estas áreas son las principales zonas de recarga.

Zonas de descarga

La salida o descarga natural del agua de los acuíferos, se realiza en forma natural a través de manantiales o del drenado por medio de ríos. Actualmente, la salida del agua de la mayor parte de los acuíferos, se realiza mediante la extracción por el bombeo de pozos.

Niveles estático, dinámico y freático

En un acuífero libre, se define como *nivel estático* a la porción superficial del acuífero (figura 2.6). En contraste, se define como *nivel dinámico* al que se refleja en un pozo al encontrarse operando, razón por la que también se le denomina *nivel de bombeo*.

Nivel piezométrico generalmente se utiliza para los acuíferos confinados donde el nivel corresponde a la presión a que está sujeta el agua del acuífero.

Recibe el nombre de *nivel freático* el nivel que presentan los acuíferos someros, cuya agua en ocasiones se denomina también como aguas freáticas.

3.- PROPIEDADES DE LOS ACUÍFEROS

Permeabilidad (K)

Dentro de los conceptos fundamentales de las características de las rocas que forman acuíferos, se encuentra el concepto de *permeabilidad*, el cual es la propiedad de un medio poroso o fracturado para permitir el paso de un fluido. Se define como el flujo de agua por unidad de tiempo que cruza una sección unitaria bajo un gradiente también unitario. Se expresa en metros por segundo. Si el fluido es agua, a la permeabilidad se le conoce también como *conductividad hidráulica*.

En la tabla No. 2.1 se muestran valores de permeabilidad para diferentes materiales, las arcillas tienen una permeabilidad del orden entre 10^{-7} y 10^{-9} m/seg; los materiales granulares 1×10^{-5} m/seg y; los basaltos 5×10^{-2} m/seg.

Porosidad $n = V_h/V_t$
 $V_h =$ Volumen de huecos
 $V_t =$ Volumen total

Porosidad efectiva (S_y) = rendimiento

$S_y = V_d/V_t$
 V_d Volumen drenado
 V_t Volumen total

Coefficiente de almacenamiento

$S =$ Coeficiente de almacenamiento
 $S_s =$ Coeficiente específico = S_s/b
 $b =$ Espesor del acuífero

En acuíferos libres	S entre 2 y 30%
En acuíferos confinados	S entre 0.001 y 0.00001

(K) Permeabilidad = Conductividad hidráulica
Flujo en una sección unitaria

(T) Transmisividad
= Flujo sobre una franja de longitud = b
 $b =$ Espesor del acuífero

Transmisividad (T)

La *transmisividad* es otra forma de expresar la facilidad con que puede circular el agua en un acuífero. Se define como la cantidad de agua que puede fluir a través de una sección unitaria bajo un gradiente unitario y un tiempo instantáneo. En la figura No. 2.5 se muestra la diferencia entre la transmisibilidad y la permeabilidad, siendo la transmisibilidad la descarga que ocurre a través de un segmento unitario respecto a la anchura pero una altura (b) que equivale al espesor del acuífero, mientras que la permeabilidad corresponde a una descarga que ocurre a través de una sección unitaria y, para ambos casos, bajo un gradiente hidráulico unitario.

Coefficiente de almacenamiento (S)

Es el volumen de agua que puede contener o almacenar una roca permeable dentro de los huecos que presenta.

Rendimiento específico (Sy)

Es el volumen drenado entre el volumen total (material + agua) en acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento varía por lo general del 2 al 30% (0.02 a 0.30) mientras que en acuíferos confinados va de 0.001 a 0.00001.

4. ACUITARDOS

Funcionamiento

En contraste con el funcionamiento de los acuíferos mostrados en la figura 2.2, en el presente inciso se mencionan las características de los acuitardos.

Un *acuitardo* corresponde a una roca o material de baja permeabilidad que retarda pero no previene el flujo del agua de o hacia el acuífero adyacente. Las arcillas lacustres en muchos casos constituyen acuitardos.

Recarga y descarga de los acuitardos

La recarga de los acuitardos se genera por la infiltración de las aguas de lluvia o bien de las aguas que circulan a través de arroyos y canales, en forma similar a la recarga de los acuíferos pero con la diferencia de que la recarga de un acuitardo es muy lenta.

Su descarga se lleva a cabo también en forma muy lenta, generalmente como “lloraderos” que llegan a formar manantiales incipientes.

Permeabilidad de los acuitardos

Un ejemplo es la permeabilidad del acuitardo, (arcillas lacustres) que se encuentra cubriendo la parte plana del Valle de México, las cuales presentan valores de permeabilidad entre 10^{-7} y 10^{-9} m/seg.

Nivel freático

El nivel de saturación en las arcillas que forman el acuitardo de la Ciudad de México se encuentra muy cerca de la superficie, por lo general a profundidades del orden de 3 metros. A este **nivel somero** se le denomina *nivel freático*. El adjetivo freático se utiliza como sinónimo de somero.

Asentamientos del terreno

Las arcillas que se encuentran cubriendo la parte plana del Valle de México corresponden a sedimentos de los antiguos lagos. Tienen un espesor que fluctúa entre 40 y 60 metros en la mayor parte del valle, el cual se acuña hacia las elevaciones topográficas. En las partes centrales de las zonas de Texcoco y Tlahuac-Chalco, las arcillas se encuentran intercaladas y/o mezcladas con horizontes de arenas, y llegan a presentar espesores de más de 100 metros. Las arcillas están saturadas y presentan un nivel freático a entre 2.5 y 3.5 metros de profundidad. Bajo ellas, se encuentra un acuífero que actualmente, funciona como libre, teniendo el nivel estático a cierta profundidad bajo el acuitardo, lo que provoca que éste último presente un “goteo” o drenado vertical hacia el acuífero. La pérdida de agua del acuitardo ocasiona una pérdida de su volumen, que se traduce en el asentamiento del terreno que es típico en la Ciudad de México.

Las arcillas tienen una compresibilidad que va de 0.11 a 6 centímetros cuadrados por kilogramo, una relación de vacíos que varía de 2 a 15 y; una permeabilidad entre 1×10^{-9} m/seg.

5.- CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NATURALES

El agua de lluvia que se infiltra al subsuelo circula a través de las rocas disolviendo las sales y minerales que las forman, produciendo cambios en su composición química. Por lo tanto, la composición química del agua subterránea dependerá del tipo y grado de solubilidad de las rocas y sales naturales con las que el agua tiene contacto al circular por el subsuelo.

Composición química del agua de lluvia

El agua de lluvia al precipitarse sobre la corteza terrestre arrastra materiales finos que se encuentran suspendidos en la atmósfera y que en muchos casos son transportados por el viento. La composición química general del agua de lluvia según Garrels y Mackenzie (1971), es la siguiente:

Na	1.98 ppm	Ca	0.09 ppm	HCO ₃	0.12 ppm
K	0.30 ppm	Cl	3.79 ppm		
Mg	0.27 ppm	SO ₄	0.58 ppm		

La contaminación de la atmósfera produce modificación en la composición química de las aguas de lluvia, generalmente ocasionando la presencia de lo que se denomina como “lluvia ácida”. Sin embargo, la concentración total de sales en un agua de lluvia se caracteriza por presentar valores bajos, generalmente menores de 40 miligramos por litro.

Calidad del agua en acuíferos basálticos

Los basaltos son rocas fracturadas constituidas por minerales ferromagnesianos. Presentan bajo grado de solubilidad, la alta permeabilidad de las rocas disminuye la capacidad de disolución de sales por el agua.

Por lo tanto, el agua de lluvia que se infiltra y circula por rocas basálticas se va a caracterizar por presentar bajos contenidos salinos, principalmente de bicarbonatos y sodio (del agua de lluvia), y en algunos casos magnesio, fierro y manganeso (de los minerales ferro-magnesianos).

Durante las erupciones volcánicas son comunes las emisiones de gases que contienen sales, las cuales se acumulan por lo general alrededor de los cráteres o centros eruptivos. Ocasionalmente éstas sales pueden ser transportadas y depositadas a lo largo de fallas y fracturas, por medio de soluciones hidrotermales. Por ello, ocasionalmente el agua de los acuíferos basálticos llega a tener contacto con dichos horizontes salinos e incrementa notablemente su concentración, como es el caso de los flancos de la Sierra de Santa Catarina y algunas porciones del pie de la Sierra del Chichinautzin

Origen de acuíferos con agua salada.

Otro origen de sales en el subsuelo se puede encontrar en la circulación de flujos de agua regional. Es común que estos flujos, después de circular grandes distancias y a gran profundidad, tengan contacto con sales las cuales son disueltas por el agua. Pueden existir también focos termales que ocasiona el incremento de temperatura en el agua, lo que a su vez facilita la disolución de sales. El agua de flujos regionales puede circular y en muchas ocasiones llegar a ascender hasta la superficie o cerca de ella, a través de fallas o fracturas. El agua con altos contenidos salinos se llega a manifestar en varias formas: (1) la presencia de manantiales, en ocasiones termales, con agua salada; (2) el depósito de sales a lo largo de fracturas con mecanismos semejantes a los que en minería son comunes y se conocen como depósitos hidrotermales y; (3) la acumulación o entrapamiento de agua salada en ciertos horizontes.

Durante la perforación de un pozo, se puede llegar a atravesar una falla o un horizonte donde se encuentre atrapada el agua salina o las sales que se pueden incorporar al acuífero a través del pozo.

Las aguas naturales generalmente tienen un largo tiempo de estancia en el subsuelo. Las aguas saladas naturales, se caracterizan por la ausencia de organismos.

6.- VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN (RIESGO GEHIDROLÓGICO)

Riesgo

El riesgo de que un acuífero pueda ser contaminado está en función tanto de las características propias del acuífero como de los materiales que se encuentren a su alrededor y que en determinados casos puedan servir de protección al acuífero o de permitir en mayor o menor grado su contaminación.

Por definición, el riesgo es la probabilidad de que se presente un efecto indeseable y se obtiene como producto de la probabilidad del riesgo por la frecuencia.

El manejo del riesgo es la decisión de las acciones que deben de tomarse ante una contingencia.

El riesgo ambiental es la probabilidad de efectos adversos sobre humanos y otros seres vivos como resultado de agentes químicos, físicos o biológicos que ocurren en el medio ambiente.

El análisis de riesgo a la salud es la determinación de la probabilidad de afectación y mortandad sobre el ser humano.

Vulnerabilidad.-

La forma de medir el "riesgo geohidrológico" es lo que se conoce como vulnerabilidad de los acuíferos.

Cada lugar presenta diferentes características químicas y físicas que pueden facilitar o impedir en mayor o menor grado la contaminación de los acuíferos. Un método para conocer la vulnerabilidad de los acuíferos es el denominado DRASTIC, publicado por la EPA (Environmental Protection Agency. Este método toma en cuenta los factores siguientes:

- Profundidad al nivel estático (D)
- Recarga neta (R)
- Tipo de roca que forma el acuífero (A)
- Tipo de suelo que cubre la superficie (S)
- Pendiente del terreno (T)
- Tipo de materiales que constituyen la Zona vadosa (I)
- Conductividad hidráulica o Permeabilidad (C)

Su nombre esta formado por las siglas en ingles de los factores mencionados: **Depth, Recharge, Aquifer, Soil, Topography, Impact, Conductivity.**

Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel del agua es un factor importante en la vulnerabilidad de los acuíferos, debido a que está en relación con la distancia que el contaminante va a viajar antes de alcanzar al acuífero, dando oportunidad para que existan procesos como la oxidación, adsorción y en general la atenuación del contaminante. Por otra parte, las aguas que se encuentran a profundidad implican mayores tiempos de estancia en el

subsuelo. Mientras mayor sea la profundidad al nivel estático, la vulnerabilidad al agua subterránea será menor.

En la tabla 2.2 se muestran los valores con que el programa DRASTIC de la EPA clasifica la vulnerabilidad de los acuíferos. Cuando la profundidad al agua se encuentra a entre 0 y 1.5 metros se le asigna un valor de 10 puntos, mientras que cuando el agua se encuentra a profundidades mayores de 30 metros, el valor con que se califica es de 1 punto. Además, la calificación mencionada debe de ser multiplicada por el peso específico de cada factor, el cual se consigna en la misma tabla.

Cantidad de recarga (recarga neta)

La recarga típica o más común a un acuífero es la precipitación pluvial, la cual se infiltra a través del subsuelo hasta el acuífero. La recarga neta consiste en la cantidad de agua que se infiltra por unidad de área. El agua que se infiltra es el principal vehículo que transporta contaminantes hacia los acuíferos. Mientras mayor sea el volumen de recarga, mayor será el potencial de contaminación al subsuelo, lo cual se cumple hasta que la cantidad de recarga es tan grande que causa dilución del contaminante. En la tabla 2.3 se muestran valores para calcular la vulnerabilidad a partir de recargas netas de agua al subsuelo.

Tipo de roca

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación está influenciada también por el tipo de materiales que constituyen el acuífero. Materiales granulares pueden “filtrar” a los contaminantes presentes en el agua al existir procesos de adsorción, reacción o dispersión. En los acuíferos formados en rocas fracturadas prácticamente no se presenta la atenuación de contaminantes, por lo que estos son más vulnerables a la contaminación.

En la tabla 2.4 se presentan las calificaciones que el programa DRASTIC aplica a diferentes tipos de rocas, observándose que los basaltos son muy vulnerables, calificándose con el valor 9, en contraste con otros tipos como se indica en la mencionada tabla.

Tipo de suelo

Incluye a la porción superficial del terreno donde generalmente existe una actividad biológica significativa. En esta clasificación, se considera al suelo como la porción superficial de terreno con una profundidad máxima de 2 metros. Los suelos tienen un impacto notable en la cantidad de agua que se puede infiltrar en el subsuelo y por lo tanto en la habilidad para mover a un contaminante en forma vertical a través de la zona vadosa. La presencia de materiales finos constituyendo a los suelos, tales como arcillas, disminuyen la permeabilidad y restringen el movimiento de contaminantes. Por otra parte, existen procesos de filtración, biodegradación, adsorción y volatilización, que remueven partículas contaminantes.

La textura del suelos puede variar de una grava a arena o a arcilla. En la figura 2.5 se muestra una tabla con calificaciones que se le asigna al tipo de suelo.

Pendiente del terreno

La topografía del terreno ayuda a controlar que el agua con contaminante permanezca en un sitio (donde la pendiente tiende a ser horizontal) o sea rápidamente arrastrada hacia otros sitios (donde la pendiente es fuerte). Este efecto se encuentra asociado con el grado de infiltración, siendo este menor en las zonas donde la pendiente del terreno es fuerte y mayor donde la pendiente es moderada o nula. En la tabla No. 2.6 se muestran los rangos de calificaciones de acuerdo a la pendiente del terreno.

Zona vadosa

La zona vadosa o zona de aereación, es la porción de terreno que se encuentra entre la superficie y el nivel estático. En esta porción se producen procesos de biodegradación, neutralización, filtración, reacciones químicas, volatilización y dispersión. El grado de biodegradación y volatilización decrece con la profundidad. De acuerdo a la composición de los materiales que constituyen a la zona vadosa, esta presenta un rango de calificación de vulnerabilidad el cual se muestra en la tabla No. 2.7.

Permeabilidad

La permeabilidad o conductividad hidráulica es la facilidad que presenta un medio para que circule el agua a través de él. En zonas donde la permeabilidad es alta, existirá mayor

vulnerabilidad a la contaminación. Donde los materiales presentan transmisividades bajas, el factor de contaminación disminuye.

Para calcular este factor, inicialmente se mide la permeabilidad del material, ya sea mediante pruebas de bombeo, o bien en forma general utilizando tablas como la del tipo de la mostrada en la figura No. 2.8. Posteriormente y conociendo el valor de permeabilidad, se obtiene la calificación de la vulnerabilidad respecto a este parámetro, la cual se muestra en la tabla No. 2.9.

Cálculo de la vulnerabilidad de una zona

Sumando las calificaciones de vulnerabilidad para cada uno de los factores mencionados, en los párrafos anteriores se obtiene un valor total de vulnerabilidad para un sitio o zona. Así por ejemplo, en una zona con rocas basálticas y arenas permeables, la vulnerabilidad serían de 164 conforme se muestra en la tabla 2.9, o sea una zona con alta vulnerabilidad, mientras que en una zona con arcillas de reducida permeabilidad, la vulnerabilidad del acuífero que se encuentre subyaciendo a estos materiales es muy baja.

Tabla 2.2.- Valores de vulnerabilidad
De acuerdo a la profundidad al nivel estático

Rango en metros	Valor
0-1.5	10
1.5-4.5	9
4.5-9.0	7
9.0-15.2	5
15.2-23.0	3
23.0-30.0	2
30.0-0+	1
Peso específico: 5	

Tabla 2.3.- Recarga neta

Rango en mm	Valor
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
250-+	9
Peso específico: 4	

Tabla 2.4.- Tipo de roca del acuífero

Tipo	Rango	Valor Típico
Lutita	1-3	2
Rocas ígneas y metamórficas	2-5	3
Rocas ígneas y metamórficas intemperizadas	3-5	4
Secuencias de capas de arenisca, caliza y lutita	4-6	5
Tilita	5-9	6
Arenisca	4-9	6
Caliza	4-9	6
Arena y grava	4-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza cástica	9-10	10
Peso específico: 3		

Tabla 2.5.- Tipo de suelo

Tipo	Valor
Capa delgada o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Carbón	8
Agregado de arcillas	7
Mezcla Arenosa	6
Mezcla	5
Mezcla limosa	4
Mezcla arcillosa	3
Abono	2
Arcilla	1
Peso específico: 2	

Tabla 2.6 Pendiente del terreno
(ángulo de inclinación en %)

Rango	Valor
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1
Peso específico: 1	

Tabla 2.7 Zona vadosa

Tipo	Rango	Valor típico
Capa confinante	1	1
Limo o arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-7	6
Arenisca		
Horizontes de caliza, arenisca y lutita	4-8	6
Arena y grava con alto contenido de limo y arcilla	4-8	6
Rocas ígneas y metamórficas	4-8	4
Arena y grava	6-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza carstica	8-10	10
Peso específico: 5		

Tabla 2.8.- Permeabilidad en varios tipos de roca
Conductividad hidráulica
(m/s)

Rango	Valor
$5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-5}$	1
$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-4}$	4
$3 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-4}$	6
$5 \times 10^{-4} - 9 \times 10^{-4}$	8
$9 \times 10^{-4} +$	10
Peso específico: 3	

Tabla 2.9.- Ejemplo del cálculo de vulnerabilidad

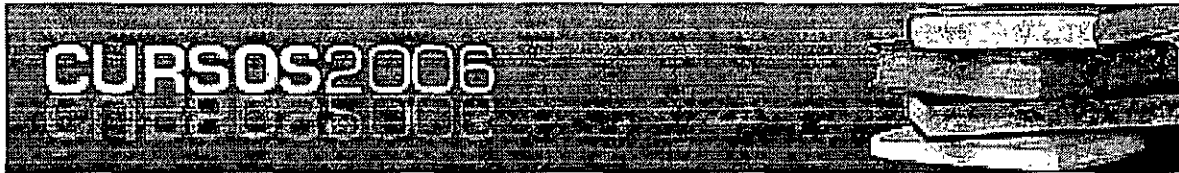
Factor	Sierra de basaltos	Valle de material granular Cubierto por arcillas
Nivel estático	5	5
Recarga neta	36	4
Tipo de roca	27	6
Tipo de suelo	20	2
Pendiente del terreno	1	10
Zona vadosa	45	5
Permeabilidad	30	3
Suma	164	35
Clasificación	Vulnerabilidad muy alta	Vulnerabilidad baja

Se propone la siguiente clasificación de acuerdo a los valores de vulnerabilidad calculados.

- Menor de 50, vulnerabilidad baja
- Entre 50 y 100, vulnerabilidad media
- Entre 100 y 150, vulnerabilidad alta
- Mayor de 150, vulnerabilidad muy alta



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

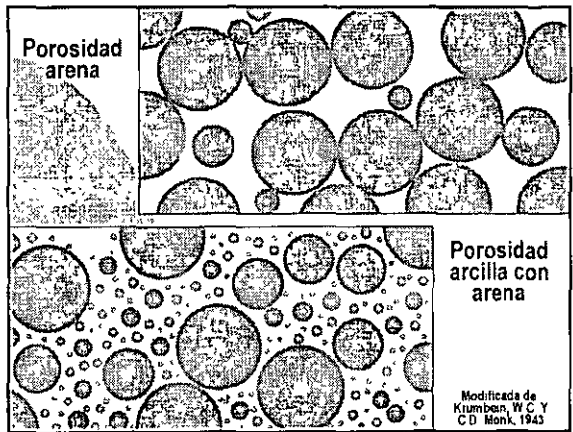
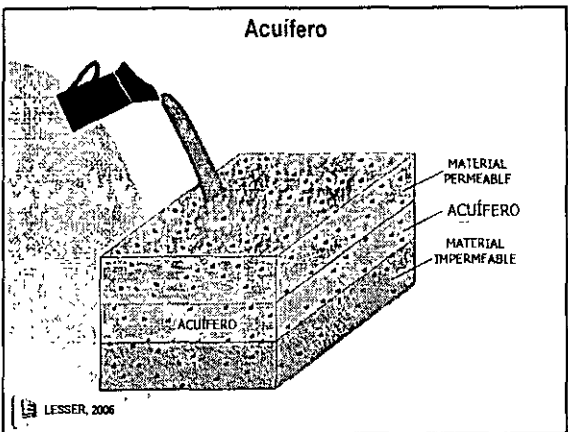
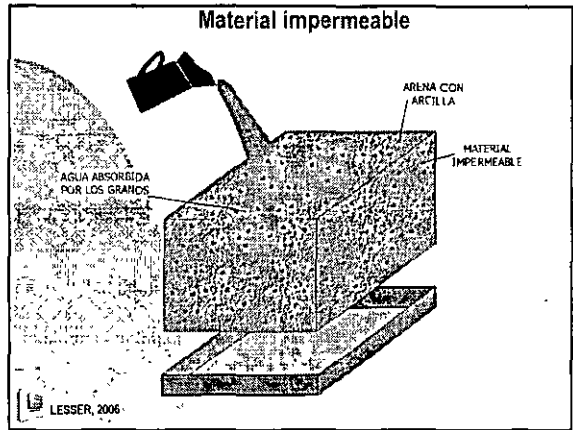
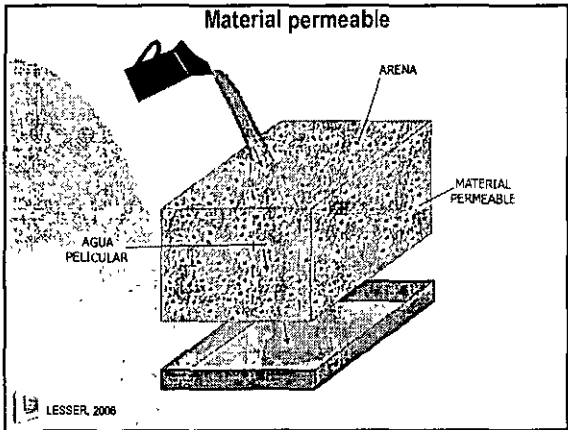
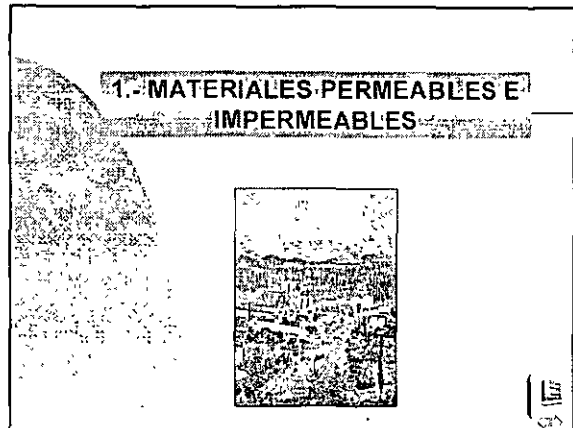
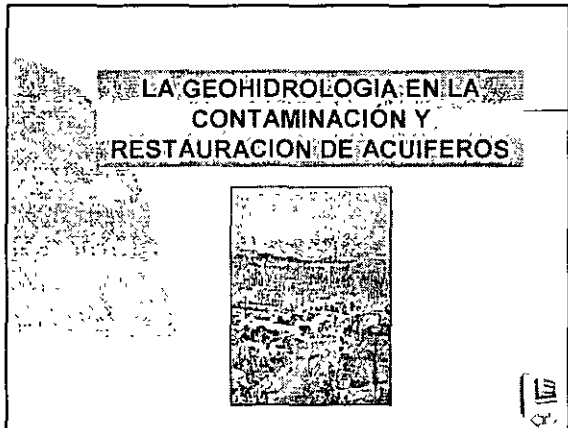
RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

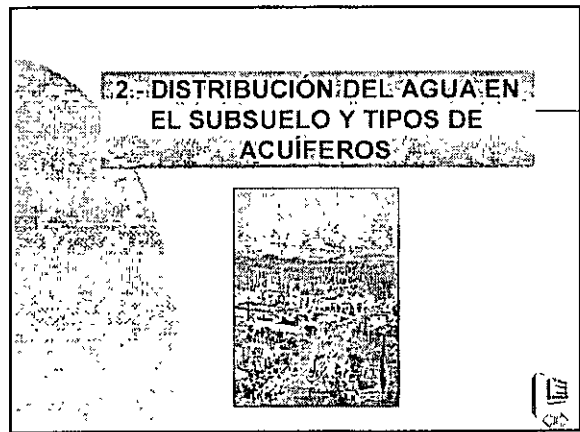
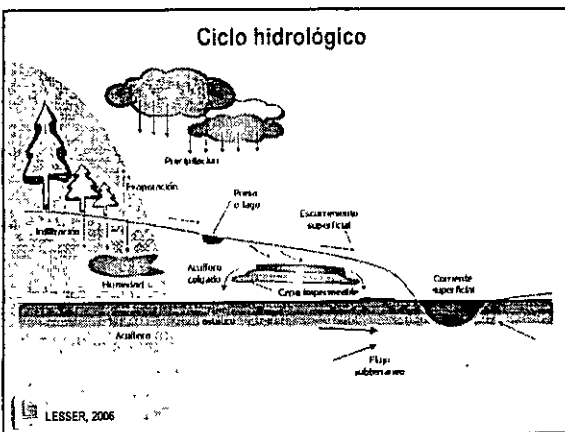
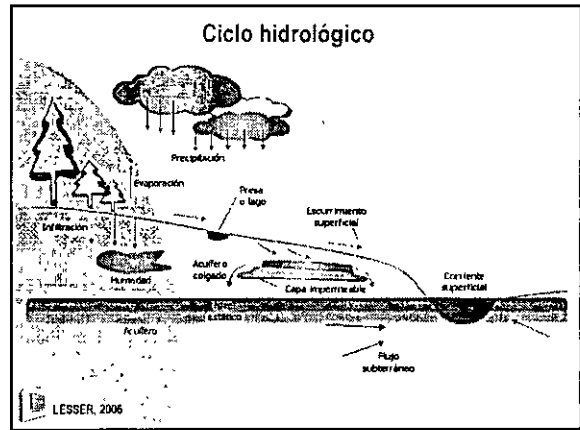
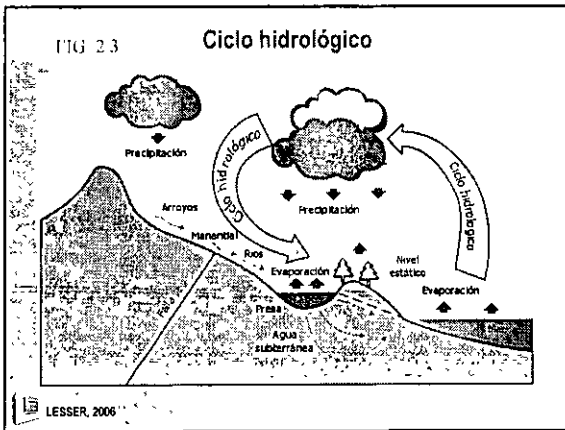
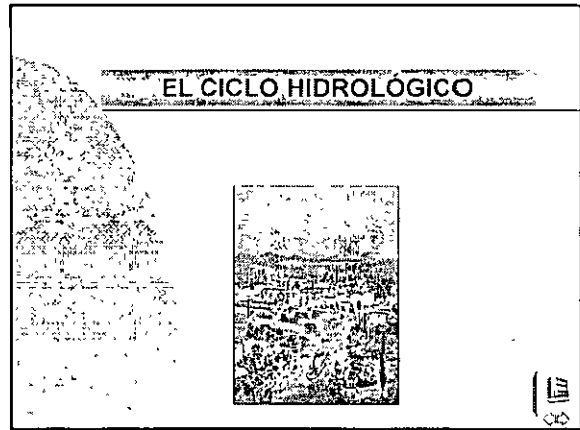
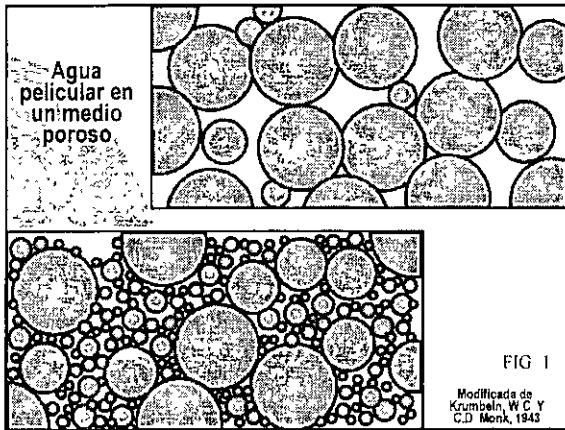
CA 157

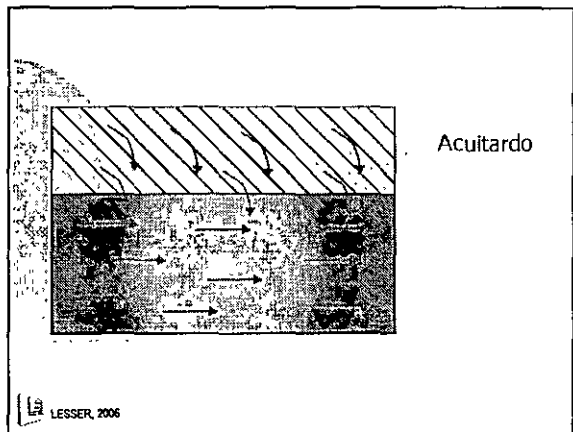
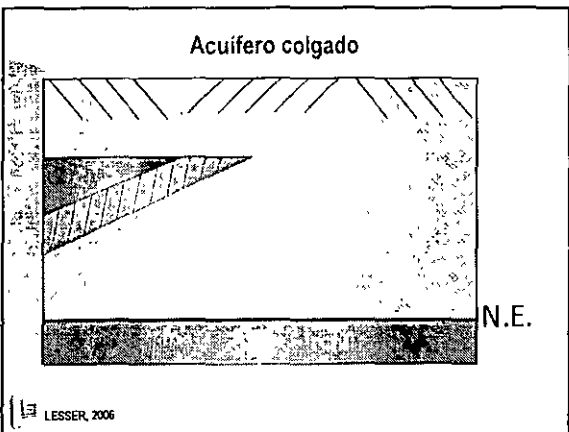
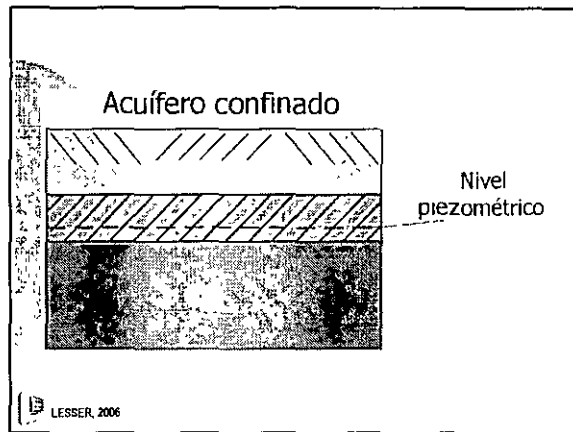
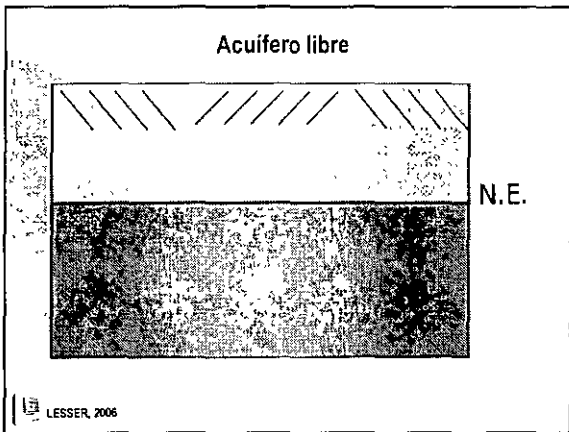
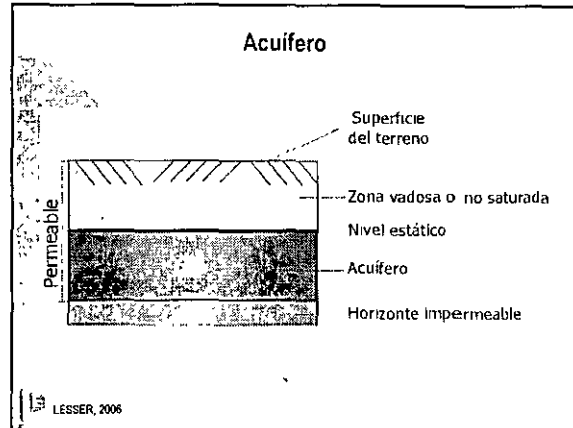
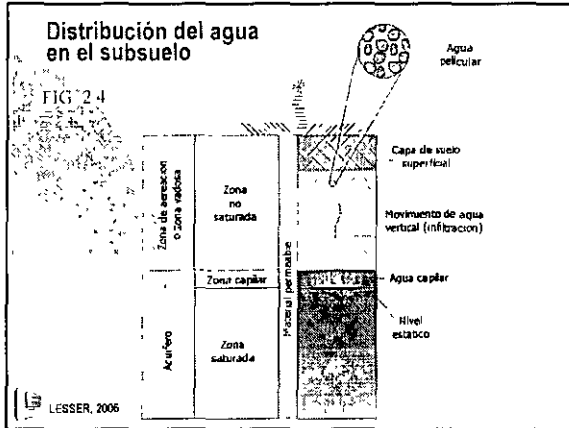
TEMA

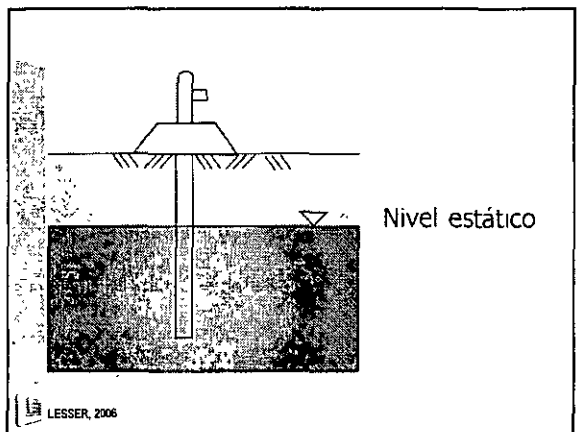
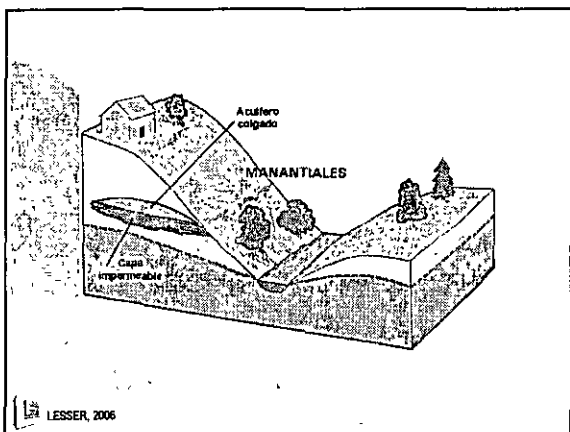
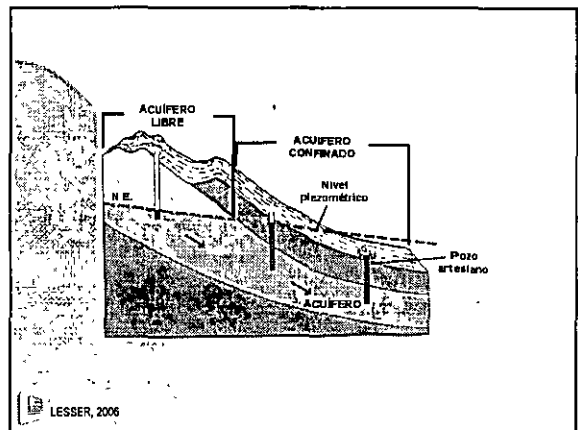
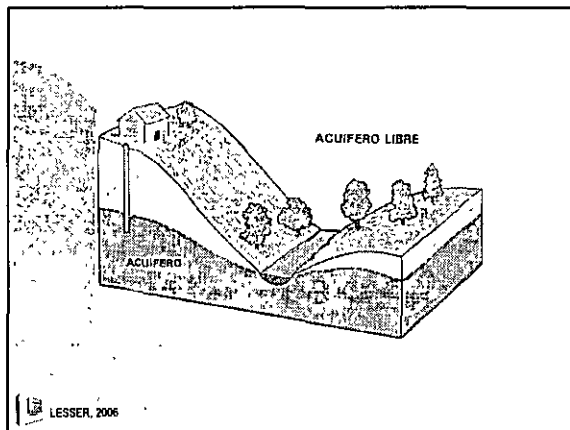
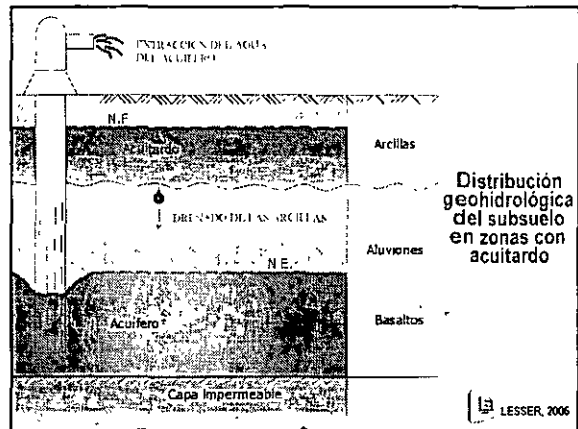
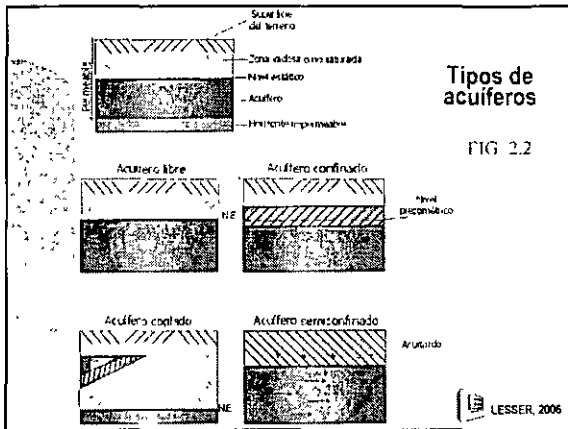
LA GEOHIDROLOGÍA EN LA CONTAMINACIÓN Y
RESTAURACIÓN DE ACUIFEROS

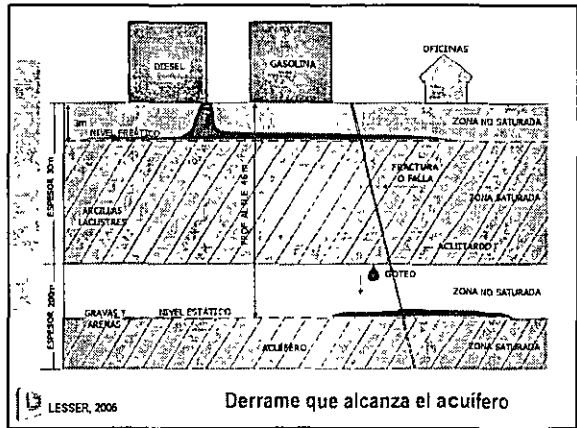
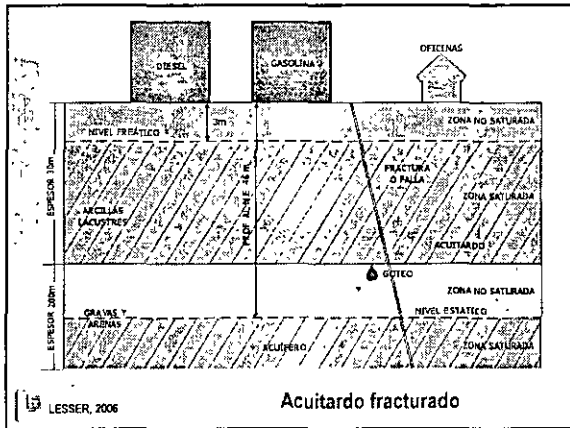
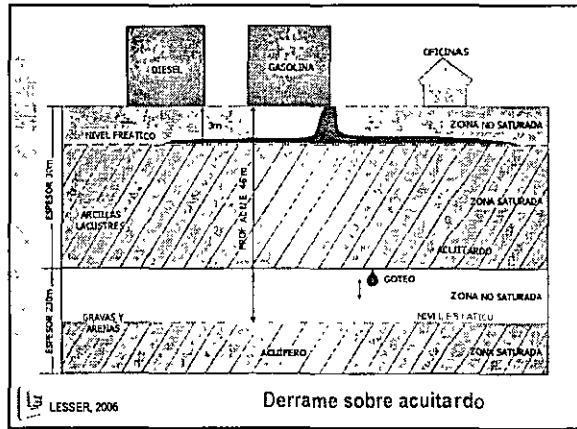
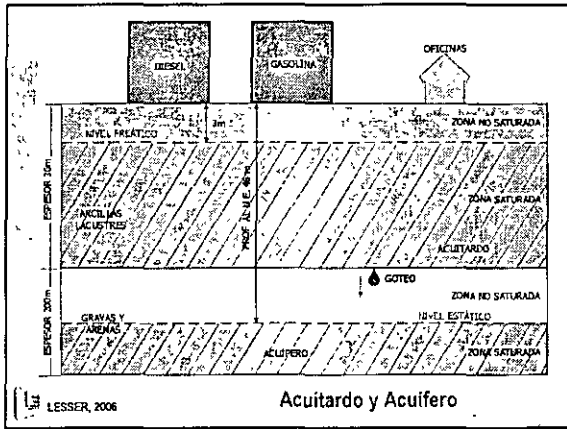
**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**





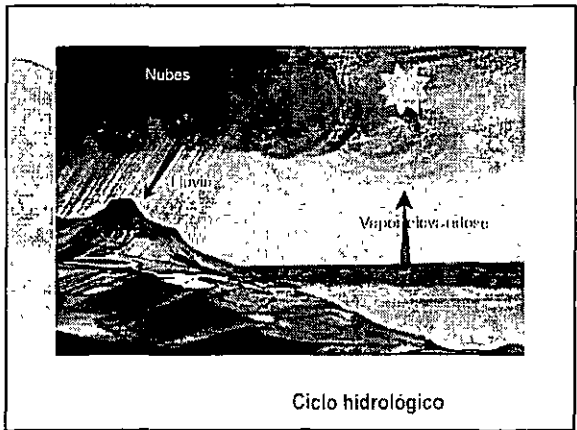


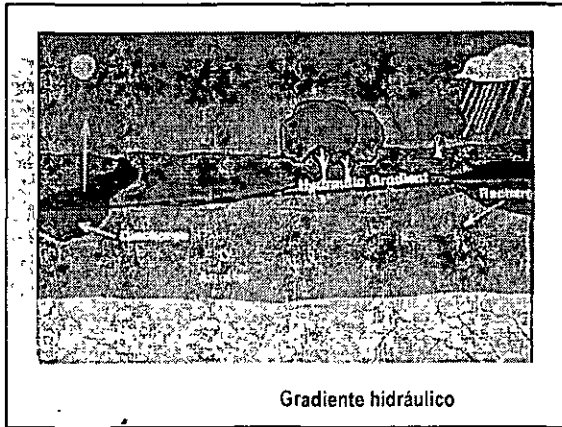




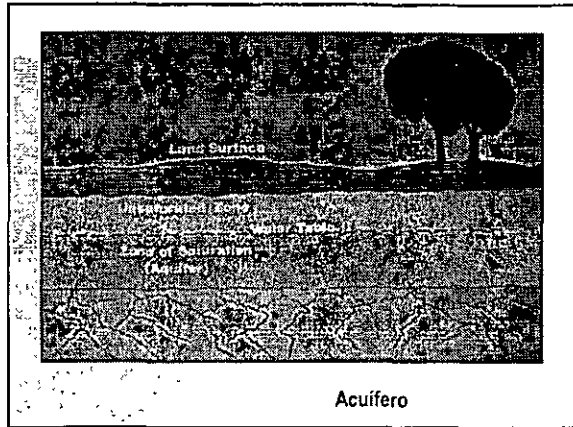
4.- MOVIMIENTO DEL AGUA Y DE CONTAMINANTES

LESSEY, 2006

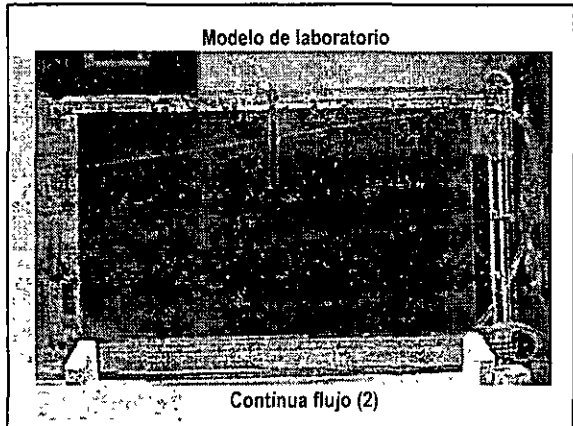
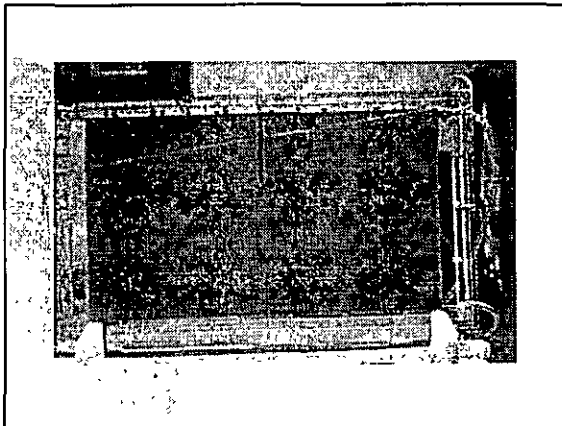




Gradiente hidráulico

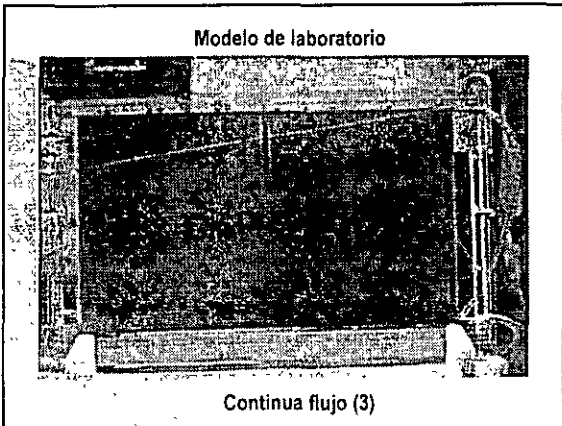


Acuífero



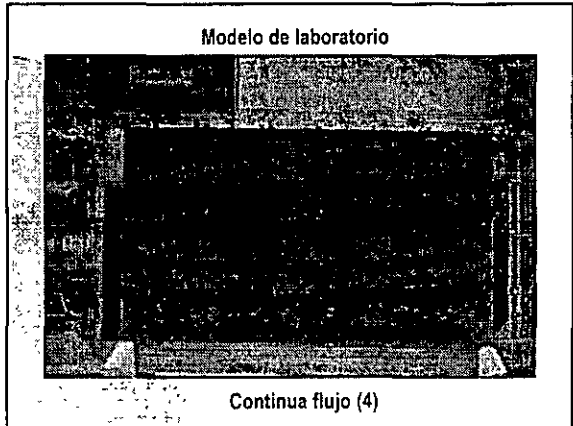
Modelo de laboratorio

Continua flujo (2)



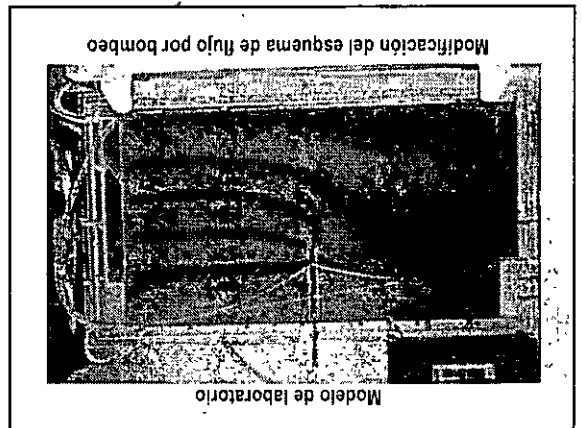
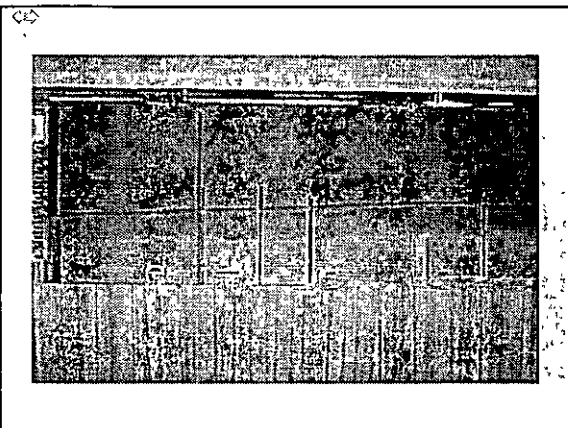
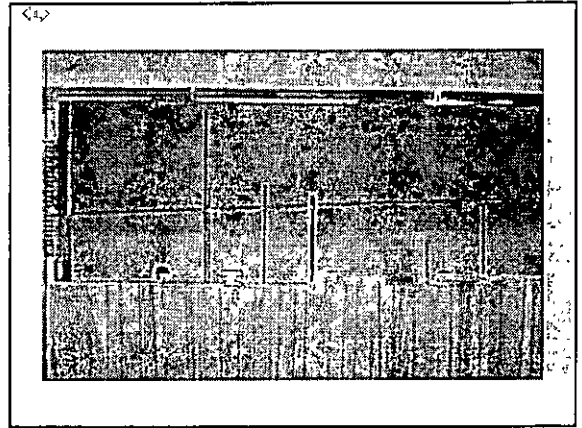
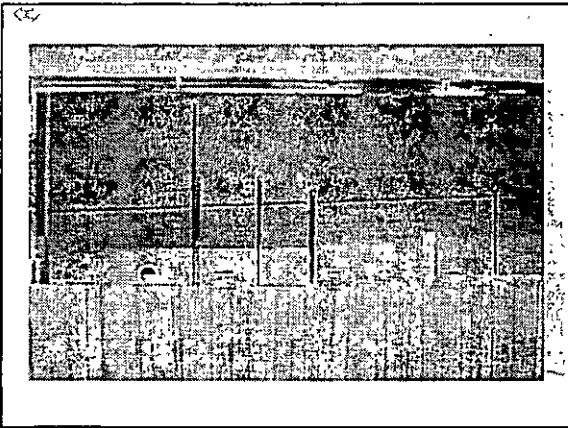
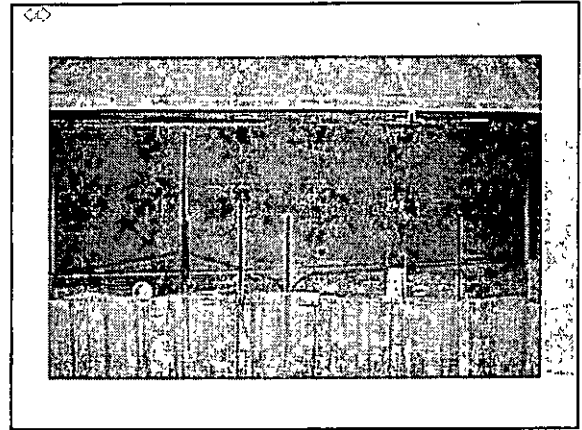
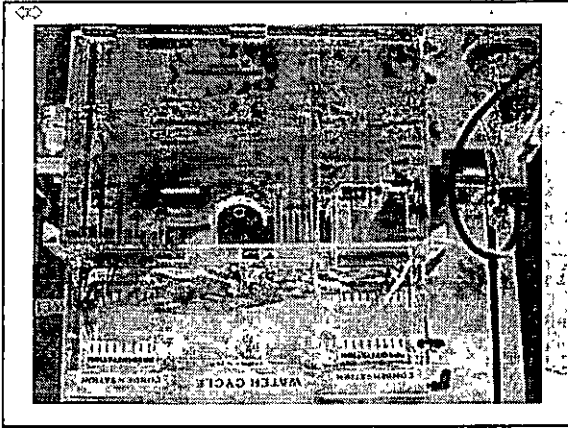
Modelo de laboratorio

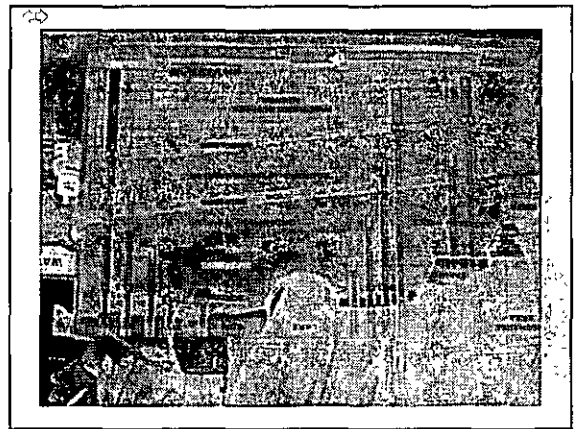
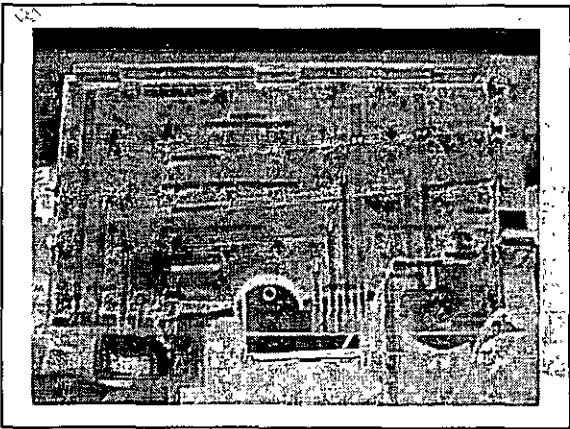
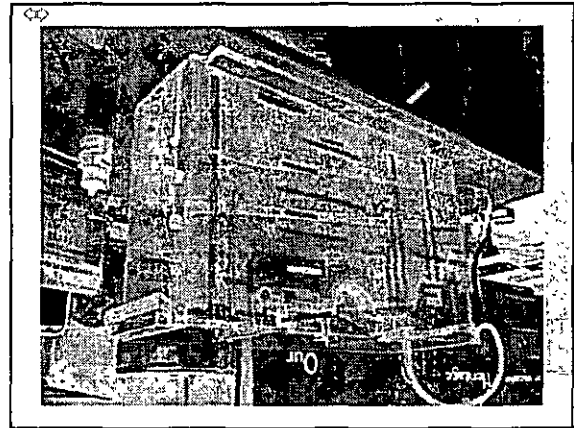
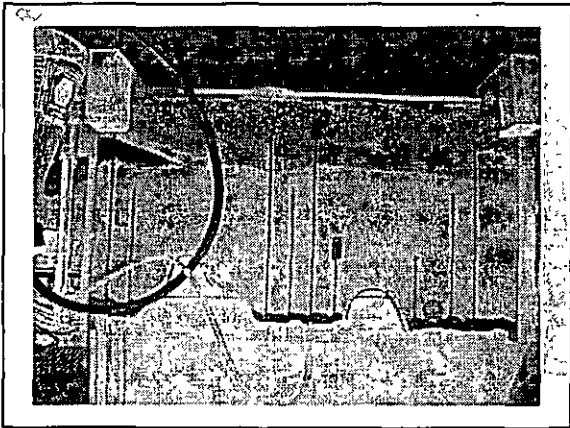
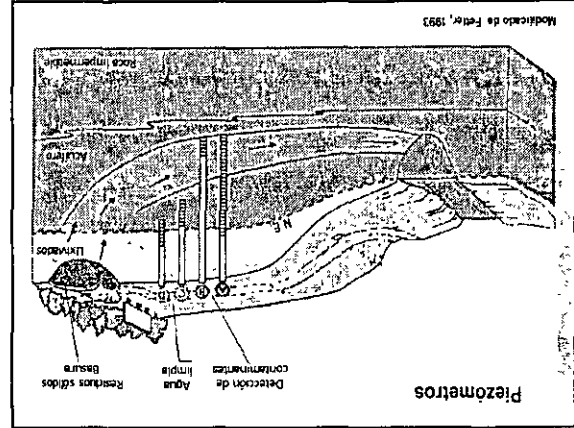
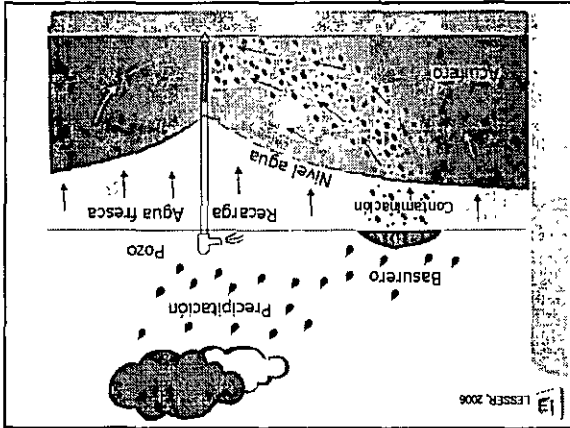
Continua flujo (3)

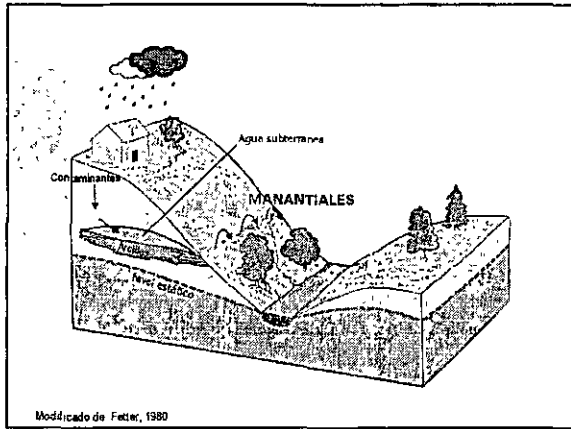


Modelo de laboratorio

Continua flujo (4)



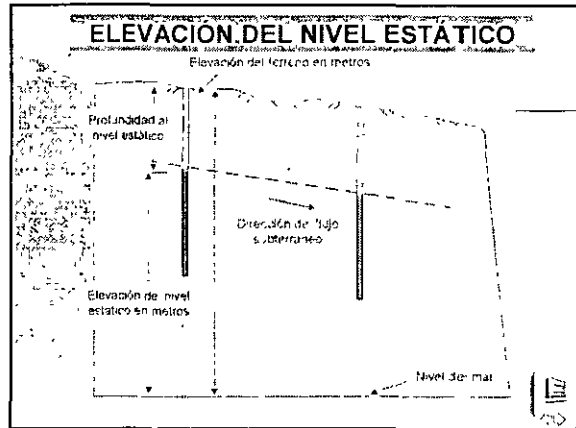
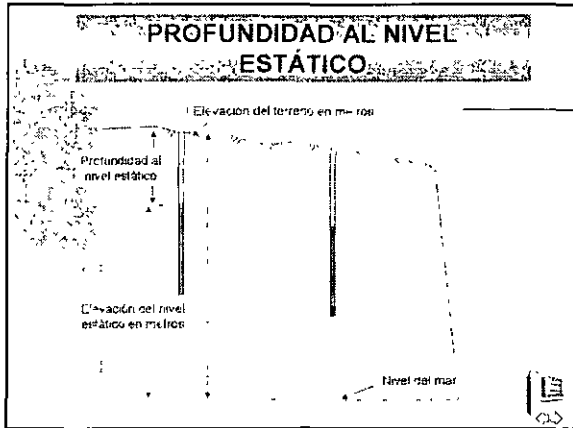




PIEZOMETRÍA

PROFUNDIDAD AL N. E.
 ELEVACION DEL N. E.
 EVOLUCIÓN DEL N. E.

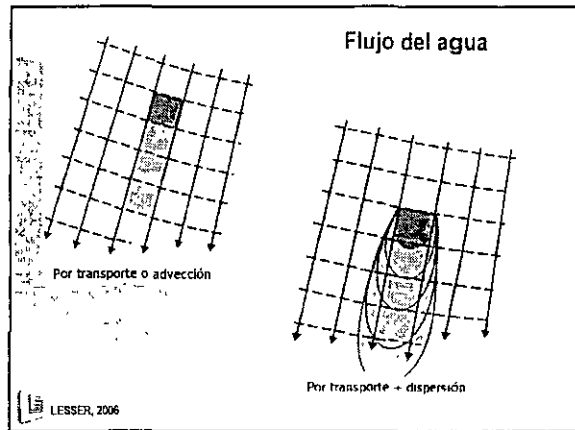
LESSER, 2006

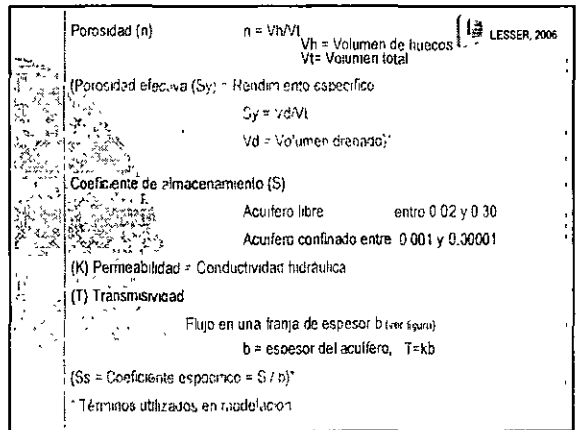
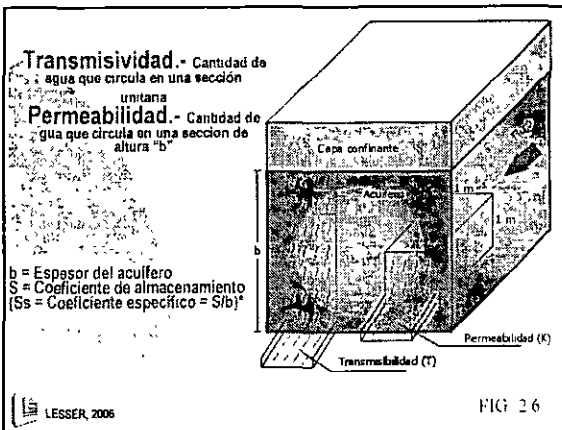
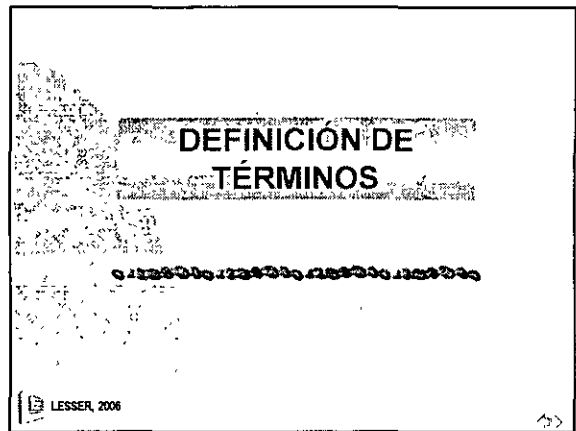
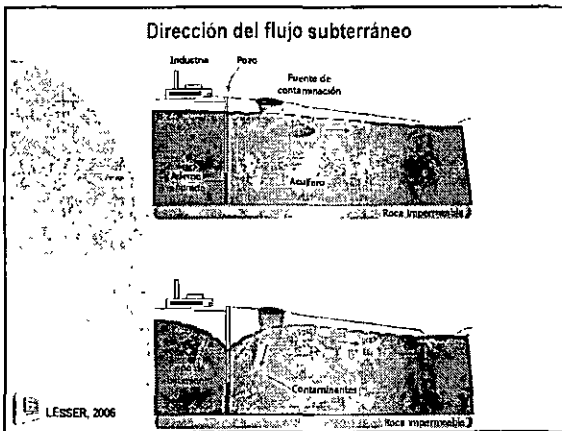
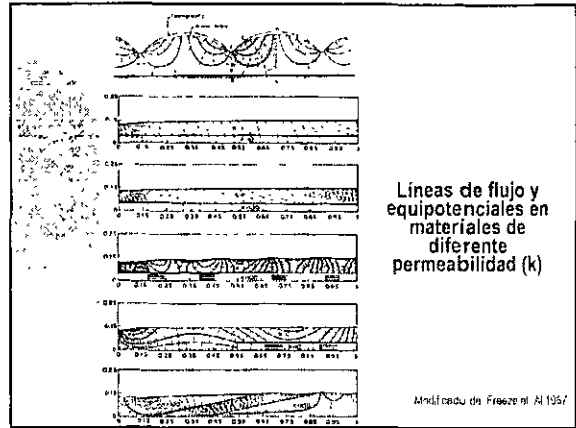
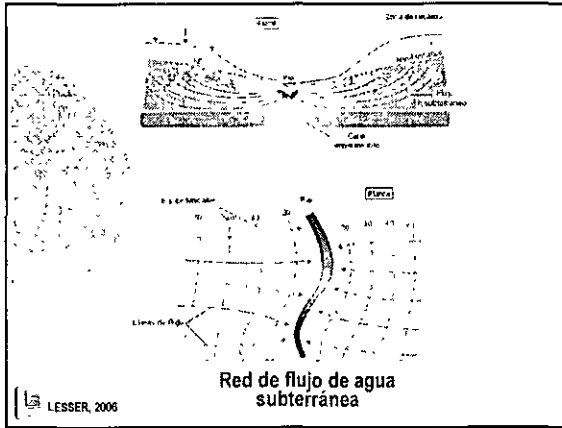


FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

REDES DE FLUJO

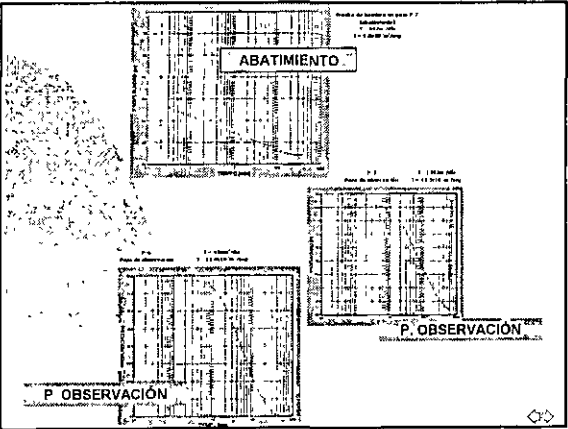
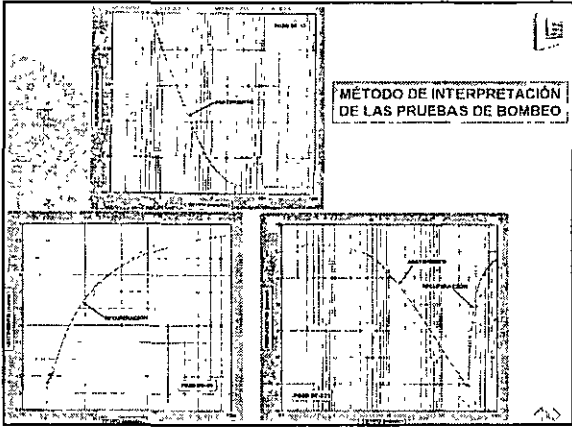
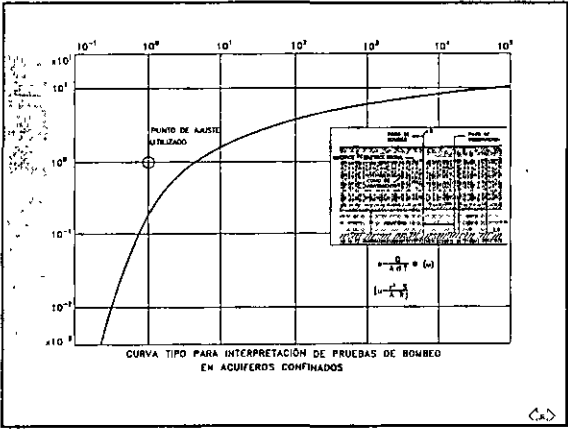
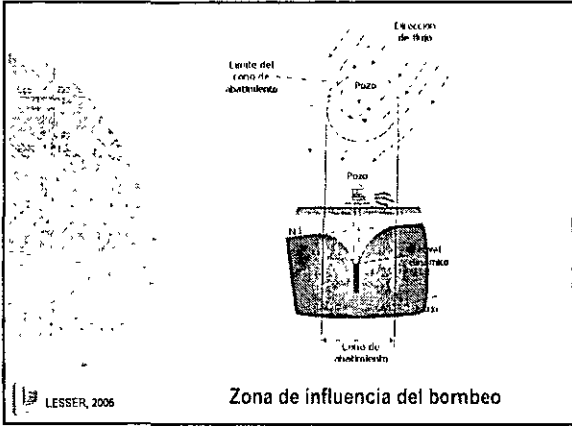
LESSER, 2006





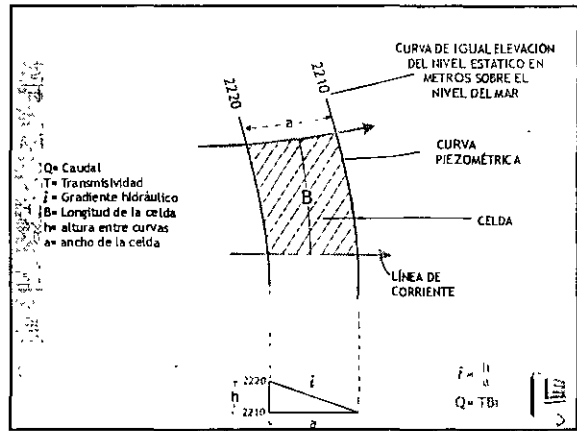
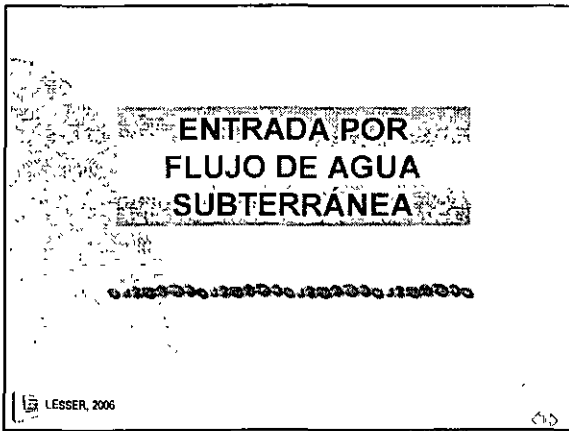
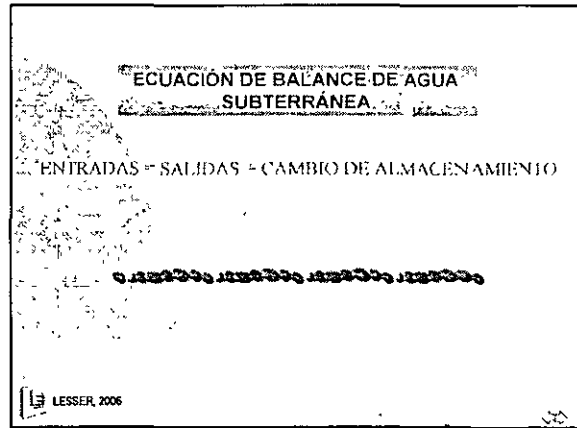
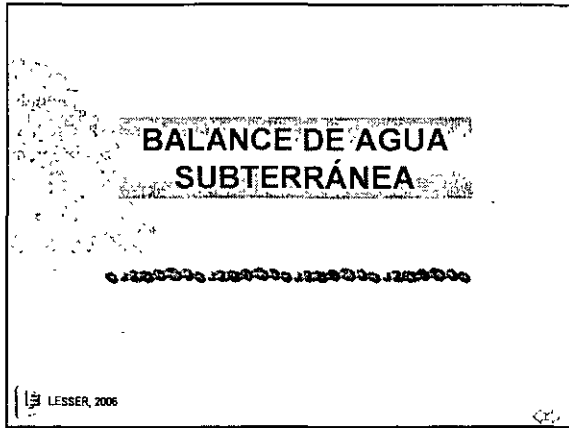
5.- PRUEBAS DE BOMBEO

LESSER 2006



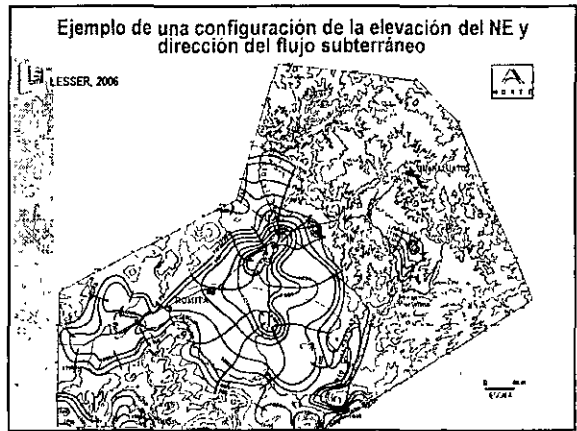
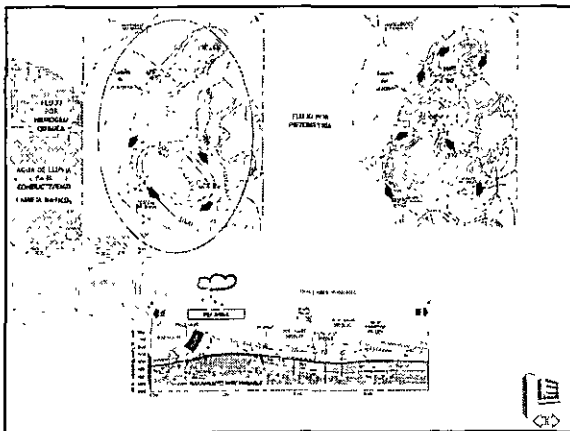
RADIO DE INFLUENCIA DEL BOMBEO

LESSER



Entradas de agua calculadas con las curvas de piezometría.

Celda.
Calcular cuanto agua fluye por una sección.

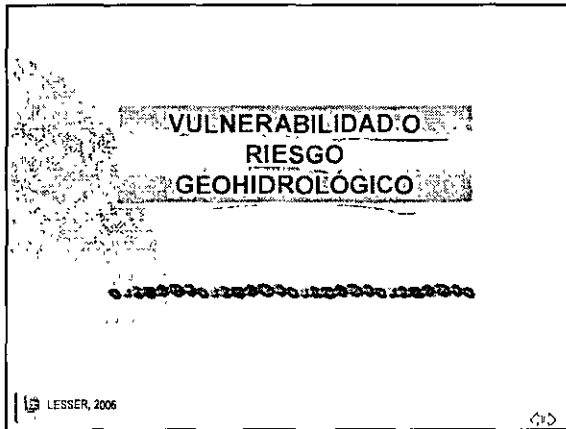




Cálculo de entradas de agua por flujo subterráneo

CELDA	LARGO (L) km	ANCHO (B) km	GRADIENTE HIDRAULICO (E) %	TRANSMISIVIDAD (M) m/m	CALIBAL (H) m/m	VOLUMEN (V) M3/año
A-1	1.000	6.500	5.50	0.0035	0.098	30.4
A-2	0.700	4.000	14.28	0.0015	0.088	3.01
A-3	0.250	3.100	40.00	0.0010	0.124	19.10
A-4	0.750	5.100	13.33	0.0010	0.071	33.2
A-5	0.750	8.700	13.33	0.0010	0.116	30.57
A-6	1.000	4.500	10.00	0.0035	0.099	28.38
A-7	0.600	7.200	8.33	0.0040	0.064	20.16
A-8	1.500	3.500	13.33	0.0040	0.071	23.10
A-9	0.800	8.000	8.33	0.0040	0.209	63.06
A-10	0.900	6.000	11.11	0.0010	0.200	63.04
A-11	0.700	4.300	14.21	0.0010	0.184	58.08
A-12	0.700	5.000	14.28	0.0040	0.246	90.02
A-13	0.750	7.500	13.33	0.0040	0.347	18.928
A-14	1.000	4.000	5.00	0.0010	0.060	1.892
A-15	1.100	3.100	9.09	0.0040	0.229	7.223
A-16	0.700	7.600	14.28	0.0010	0.300	9.453
A-17	0.500	3.200	20.00	0.0010	0.312	4.837
A-18	0.900	3.900	20.00	0.0010	0.210	8.211
A-19	0.800	5.000	16.66	0.0040	0.317	12.182
A-20	0.600	7.500	18.66	0.0040	0.500	17.759
A-21	0.500	1.300	20.00	0.0010	0.192	6.054
						148.197

LESSER, 2006



- ### Vulnerabilidad o riesgo geohidrológico
- PARAMETROS UTILIZADOS
- Profundidad al nivel del agua D
 - Recarga R
 - Tipo de roca A
 - Tipo de suelo S
 - Pendiente del terreno T
 - Zona vadosa I
 - Permeabilidad C
- = Cond. eléctrica

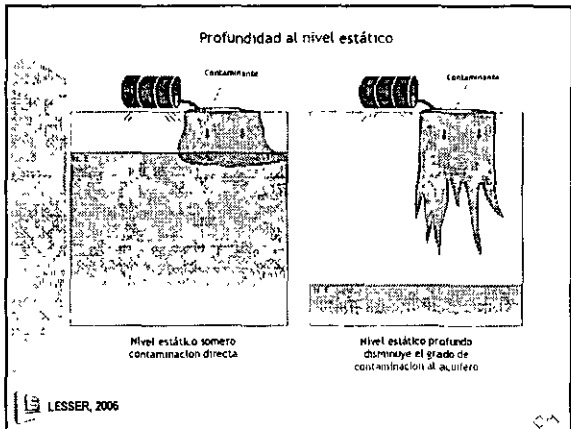
Varios métodos para calcular la vulnerabilidad:

Valores de vulnerabilidad de acuerdo a la profundidad al nivel estático

Rango en metros	Valor
0-1.5	10
1.5-4.5	9
4.5-9.0	7
9.0-15.2	5
15.2-23.0	3
23.0-30.0	2
30.0-0+	1

Peso específico: 5

LESSER, 2006



LESSER, 2006

Valores de vulnerabilidad de acuerdo a la profundidad al nivel estatico

EJEMPLO

Profundidad al nivel del agua
3m
9.5-15

Rango en metros	Valor
0-1.5	10
1.5-4.5	9
4.5-9.0	7
9.0-15.7	5
15.2-23.0	3
23.0-30.0	2
30.0-01	1
Peso específico: 5	

LESSER, 2006

Recarga neta

Rango en mm	Valor
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
250+	9
Peso específico: 4	

LESSER, 2006

Recarga neta

Zona con reducida precipitación Zona con abundante precipitación

LESSER, 2006

Recarga neta

Rango en mm	Valor
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
250+	9
Peso específico: 4	

Recarga
300mm
9.5-15

EJEMPLO

LESSER, 2006

Tipo de roca

Tipo	Rango	Valor Típico
Lutita	1-3	2
Rocas ígneas y metamórficas	2-5	3
Rocas ígneas y metamórficas impermeabilizadas	3-5	4
Secuencias de capas de arenisca, caliza y lutita	4-6	5
Tilita	5-9	6
Arenisca	4-9	6
Caliza	4-9	6
Arenisca y grava	4-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza cálcica	9-10	10
Peso específico: 3		

LESSER, 2006

Tipo de roca acuífera

Lutitas, areniscas contaminación lenta Basaltos, calizas y arenas contaminación rápida

LESSER, 2006

Tipo de roca

Tipo	Rango	Valor típico
Lutita	1-3	2
Rocas ligeras y metasedimentarias	2-5	5
Rocas ligeras y metasedimentarias interpenetradas	1-5	4
Succeción de capas de arenisco.		
Caliza y lutita	4-6	5
Tilita	5-9	6
Arenisca	4-9	6
Caliza	4-9	6
Arenca y grava	4-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza caverna	9-10	10
Peso específico 2		

EJEMPLO

Tipo de roca
Arenca y grava
1x3=15

LESSER, 2006

Tipo de suelo

Tipo	Valor
Capa delgada o arenosa	10
Grava	10
Arenca	9
Carbon	8
Agregado de arcillas	7
Mezcla arenosa	6
Mezcla	5
Mezcla limosa	4
Mezcla arcillosa	3
Albano	2
Arcilla	1
Peso específico 2	

LESSER, 2006

Tipo de suelo

Tipo	Valor
Capa delgada o arenosa	10
Grava	10
Arenca	9
Carbon	8
Agregado de arcillas	7
Mezcla arenosa	6
Mezcla	5
Mezcla limosa	4
Mezcla arcillosa	3
Albano	2
Arcilla	1
Peso específico 2	

EJEMPLO

Tipo de suelo
Arcilla
1x2=2

LESSER, 2006

Pendiente del terreno (ángulo de inclinación en %)

Rango	Valor
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1
Peso específico 1	

valor ponderado

LESSER, 2006

Profundidad al nivel estático

Nivel estático somero
contaminación directa

Nivel estático profundo
disminuye el grado de
contaminación al acuífero

LESSER, 2006

Pendiente del terreno

Baja pendiente:
fácil infiltración

Fuente pendiente:
agua tiende a escurrir
por la superficie

Pendiente del terreno (ángulo de inclinación en %)

Pendiente del terreno
0-2%

EJEMPLO
10:10

Rango	Valor
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

Peso específico: 1

LESSER, 2006

Zona vadosa

Tipo	Rango	Valor típico
Capa confinante	1	1
Limo o arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-7	6
Arenisca		
Horizontes de caliza, arenisca y lutita	4-8	6
Arena y grava con alto contenido de limo y arcilla	4-8	6
Rocas ígneas y metamórficas	4-8	4
Arena y grava	6-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza carbonífera	8-10	10

Peso específico: 5

LESSER, 2006

Zona vadosa

contaminante

contaminante

Lutitas, areniscas
contaminación lenta

Basaltos, calizas y arenas
contaminación rápida

LESSER, 2006

EJEMPLO

Zona vadosa
Arena y grava
8:5:10

Zona vadosa

Tipo	Rango	Valor típico
Capa confinante	1	1
Limo o arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-7	6
Arenisca		
Horizontes de caliza, arenisca y lutita	4-8	6
Arena y grava con alto contenido de limo y arcilla	4-8	6
Rocas ígneas y metamórficas	4-8	4
Arena y grava	6-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza carbonífera	8-10	10

Peso específico: 5

LESSER, 2006

Permeabilidad en varios tipos de roca

Conductividad hidráulica (m/s)

Rango	Valor
$5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-9}$	1
$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-4}$	4
$3 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$	6
$5 \times 10^{-3} - 9 \times 10^{-4}$	8
$9 \times 10^{-3} +$	10

Peso específico: 1

LESSER, 2006

Permeabilidad

contaminante

contaminante

Circulación lenta

Circulación rápida

LESSER, 2006

LESSER, 2006

Permeabilidad
 $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}$
 $10^{-2} \times 10^{-3} = 10^{-5}$

EJEMPLO

Permeabilidad en varios tipos de roca
 Conductividad hidráulica (m/s)

Rango	Valor
$5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-8}$	1
$5 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-8}$	2
$1 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-9}$	4
$3 \times 10^{-9} - 5 \times 10^{-9}$	6
$5 \times 10^{-9} - 9 \times 10^{-9}$	8
$9 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-8}$	10

Peso específico: 3

LESSER, 2006

Ejemplo de cálculo de vulnerabilidad

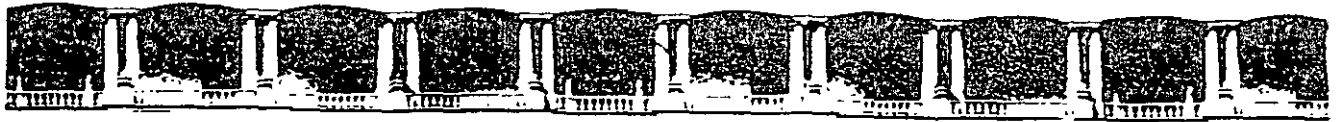
Factor	Sierra de basaltos	Valle de material granular Cubierto por arcillas
Nivel estacion	5	5
Recarga neta	30	4
Tipo de roca	27	6
Tipo de suelo	20	2
Pendiente del terreno	1	10
Zona vadosa	45	5
Permeabilidad	30	7
Suma	164	35
Clasificación	altamente vulnerable	reducida vulnerabilidad

CLASIFICACIÓN PROPUESTA

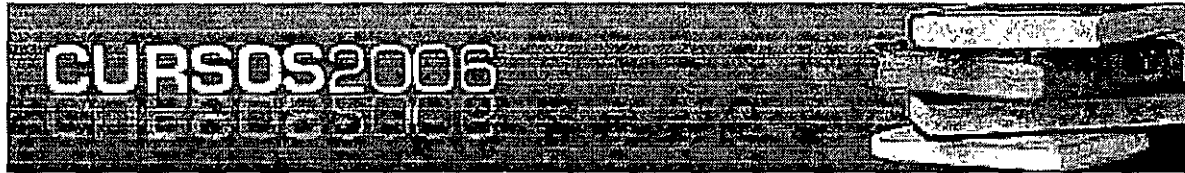
MENOR DE 50, VULNERABILIDAD BAJA
 ENTRE 50 Y 100, VULNERABILIDAD MEDIA
 ENTRE 100 Y 150, VULNERABILIDAD ALTA
 MAYOR DE 150, VULNERABILIDAD MUY ALTA

LESSER, 2006

LESSER, 2006



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

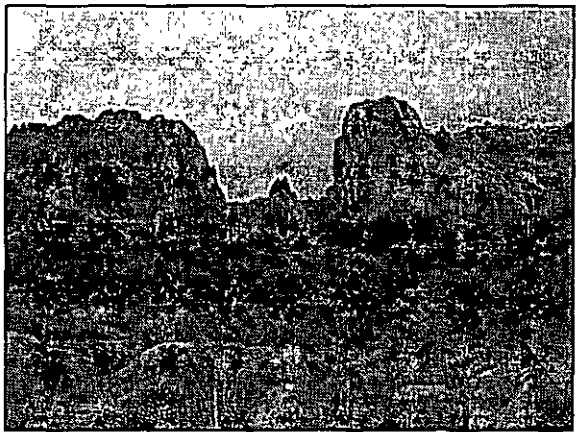
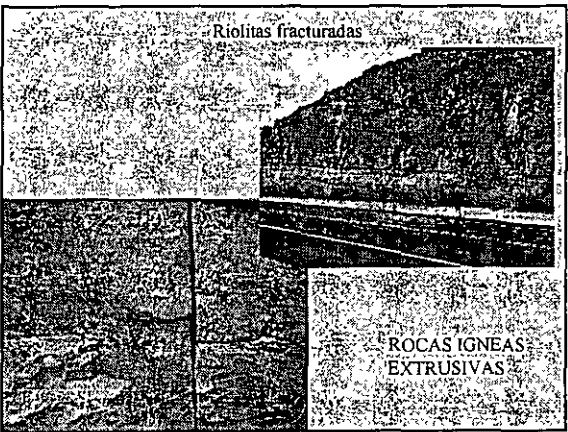
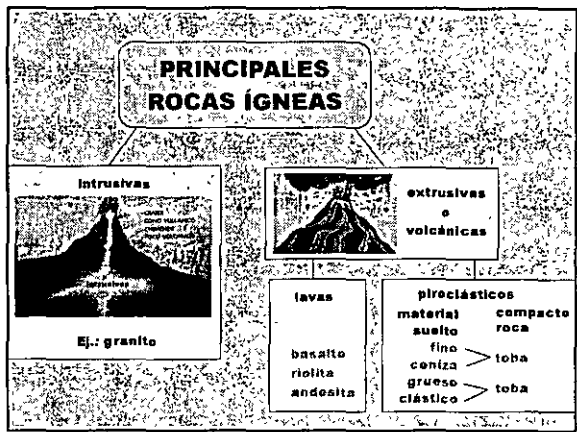
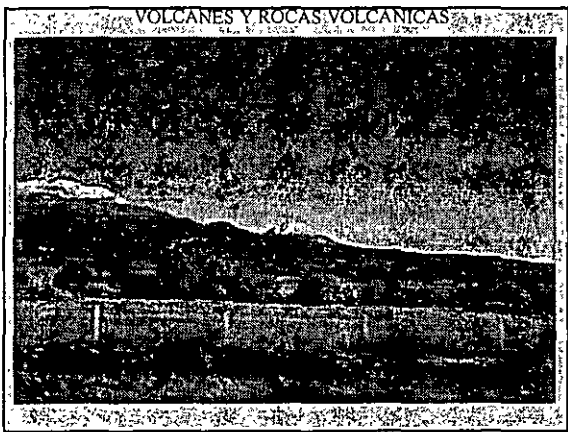
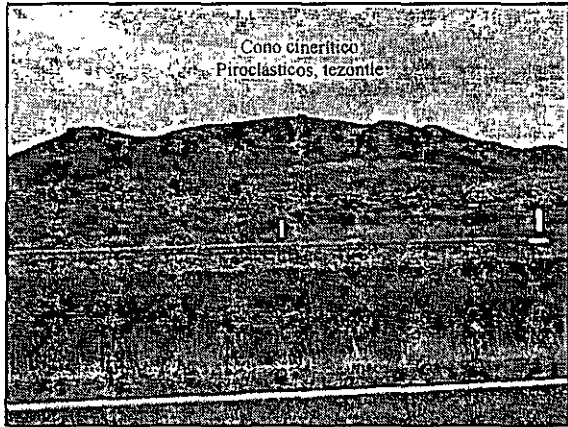
RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

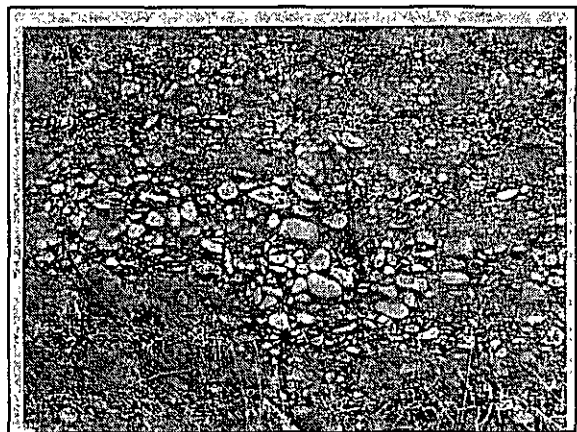
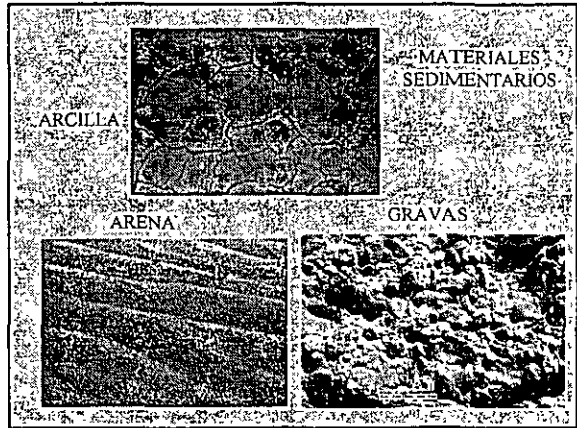
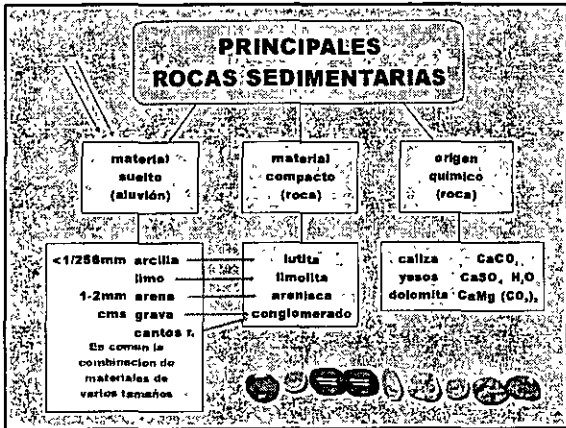
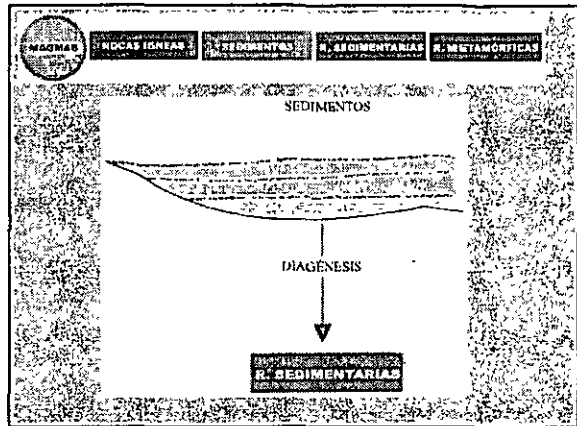
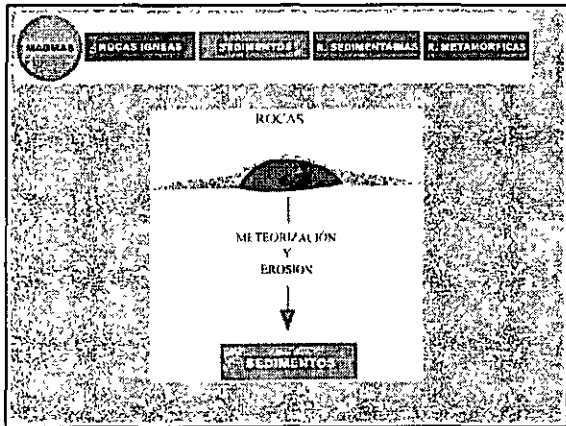
CA 157

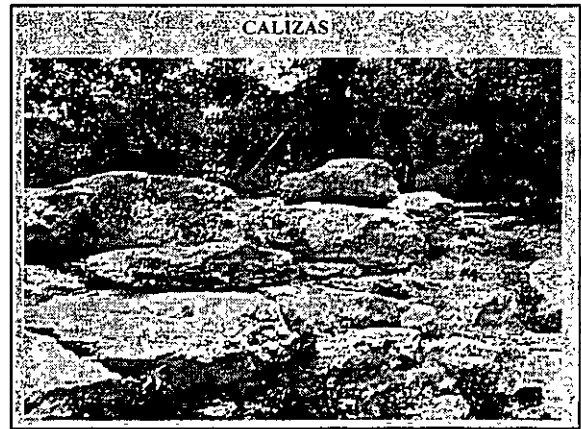
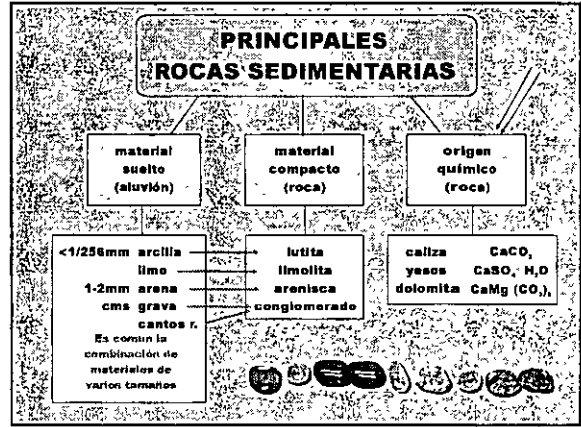
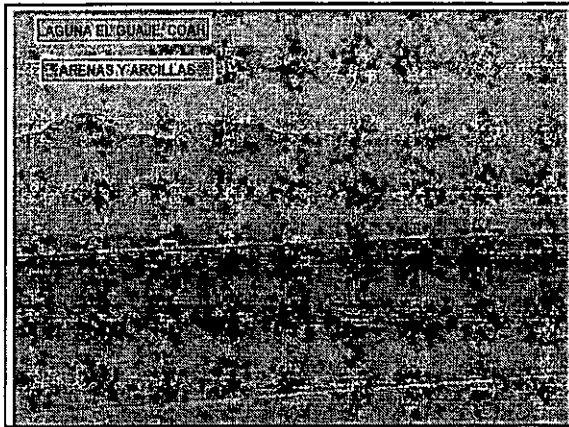
TEMA

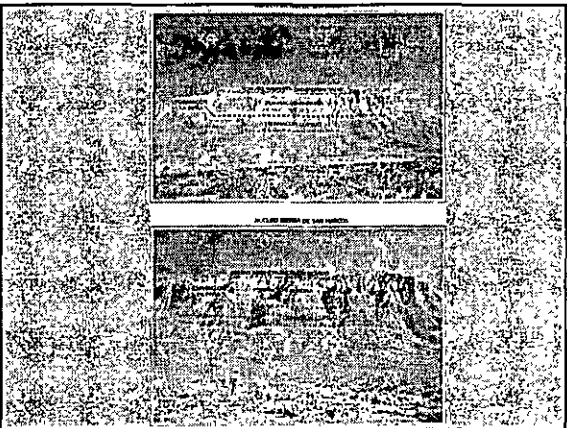
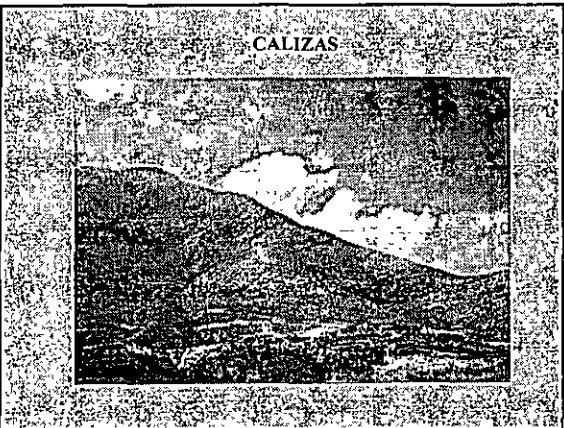
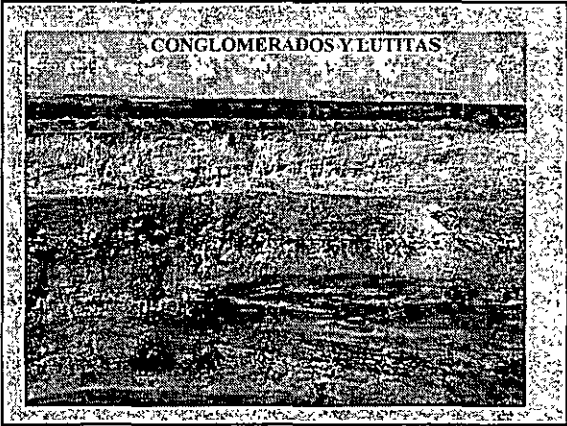
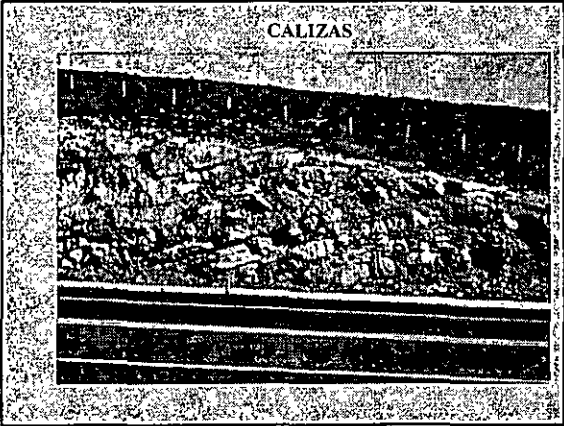
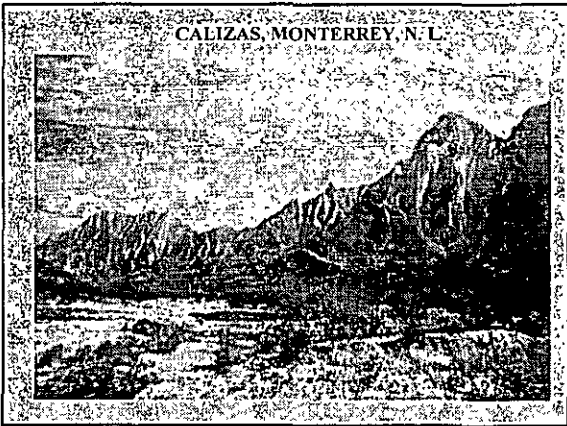
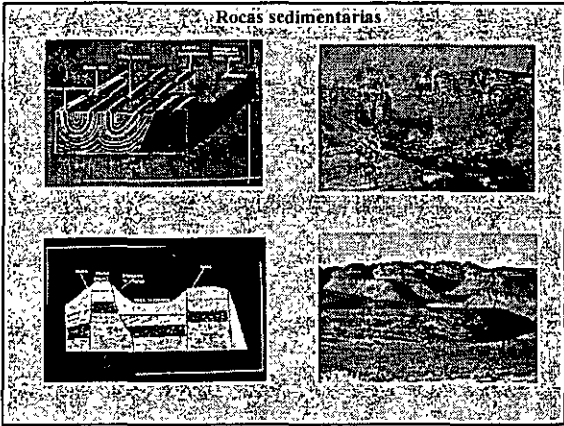
GEOLOGÍA

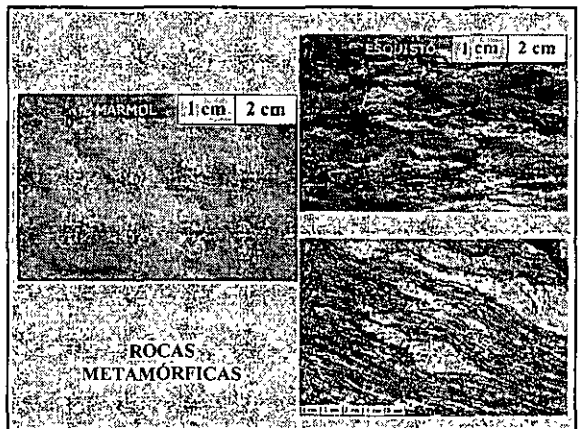
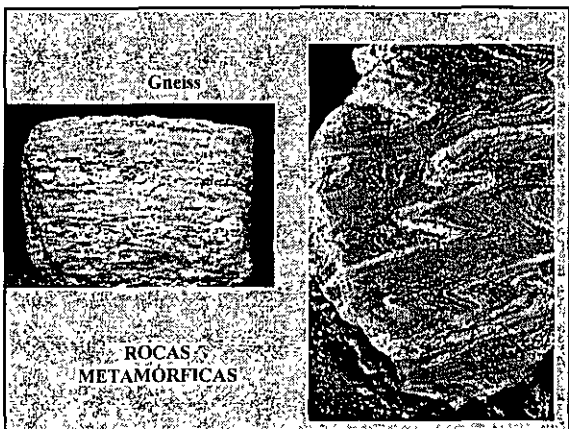
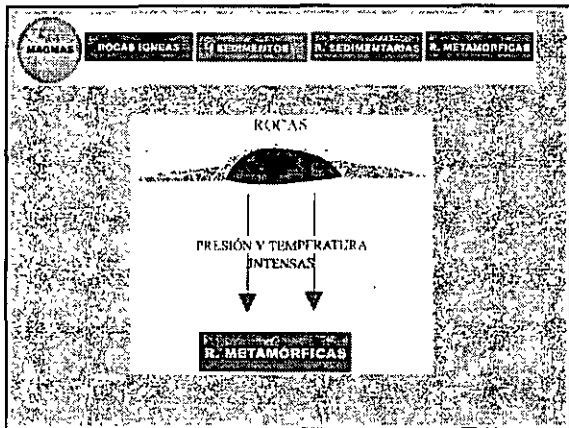
**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

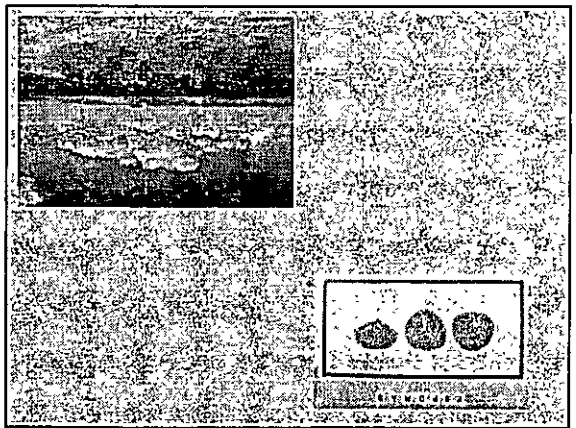
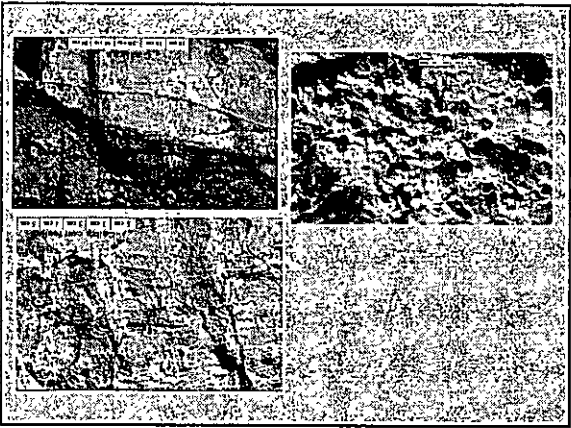
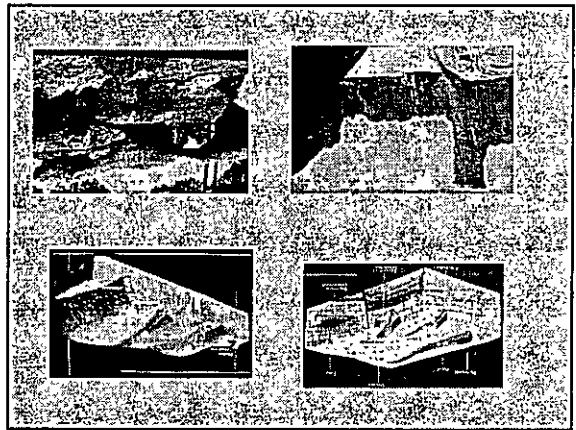
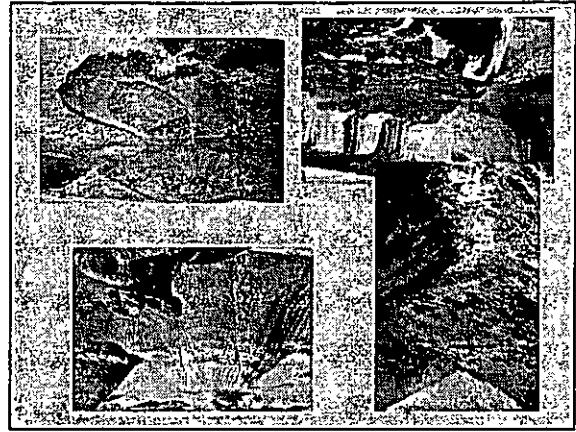
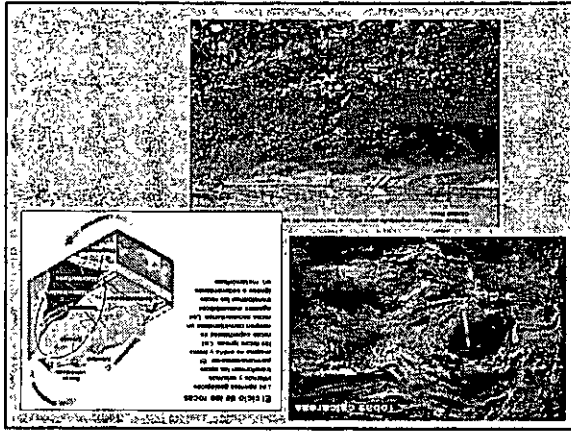


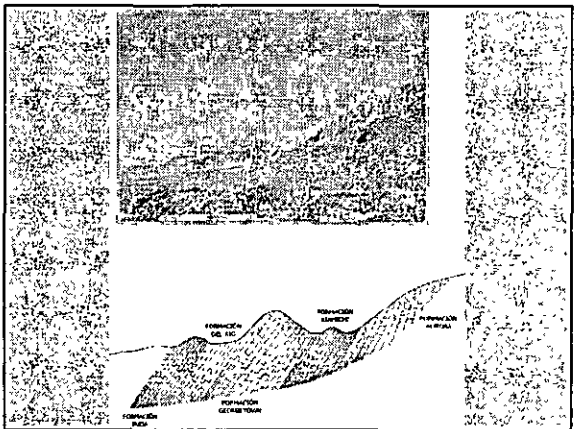
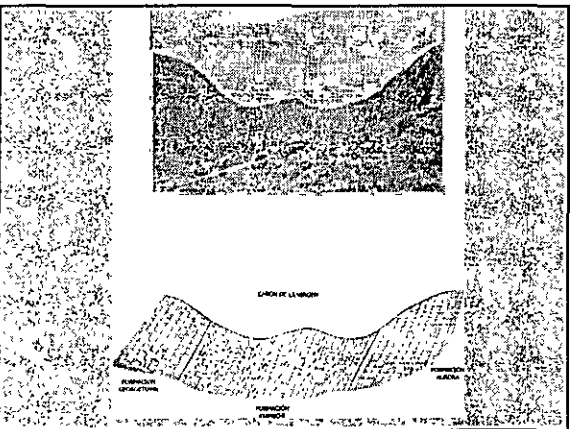
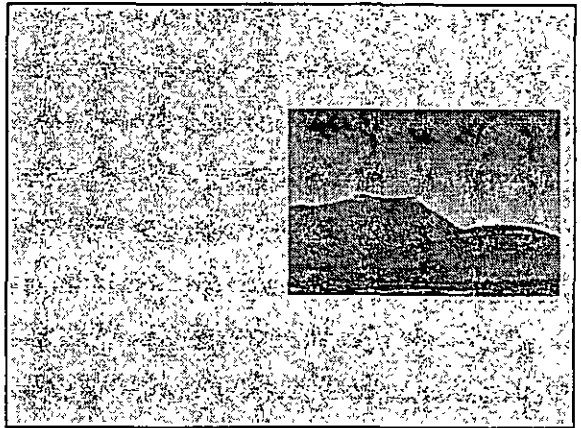
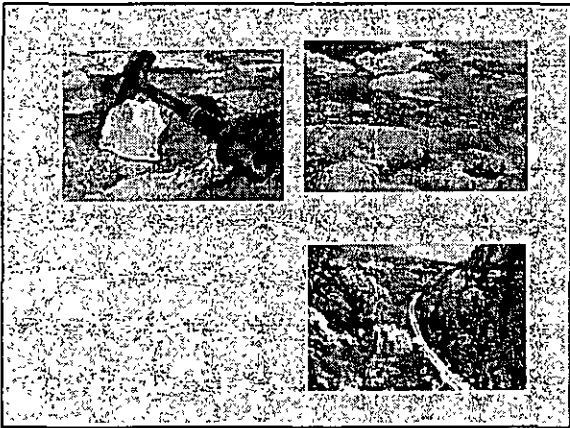
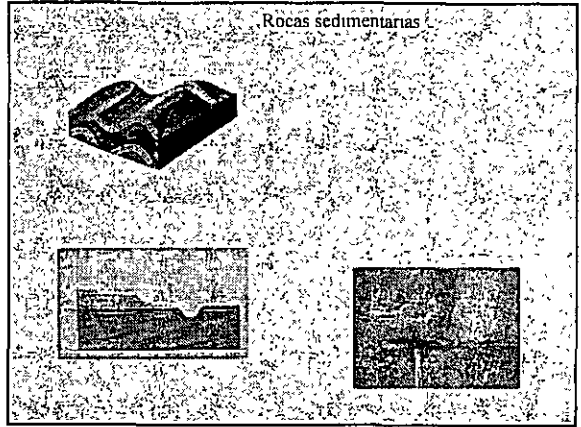
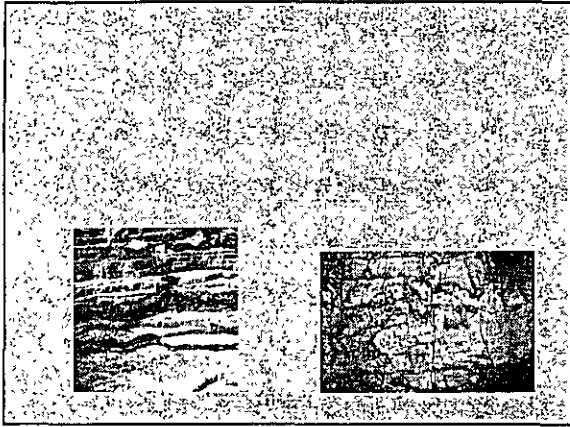


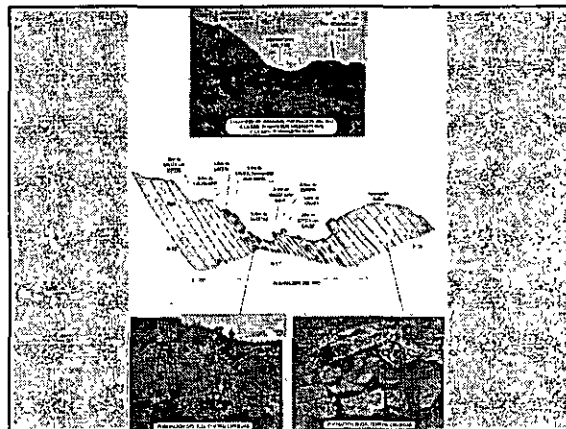
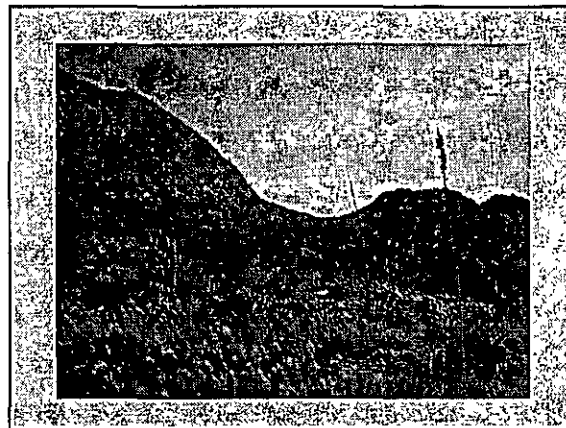
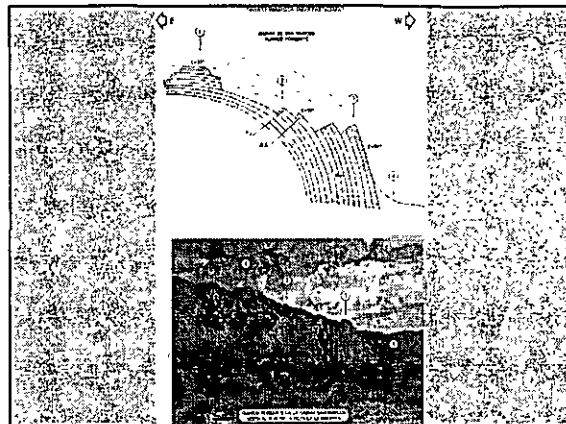


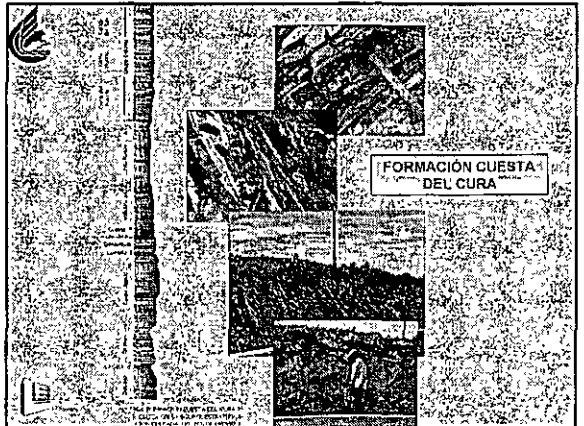
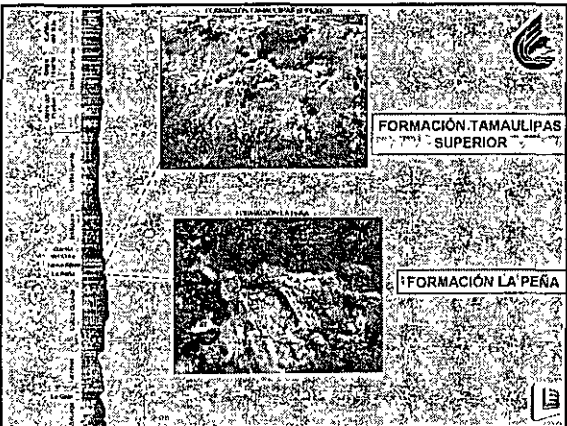
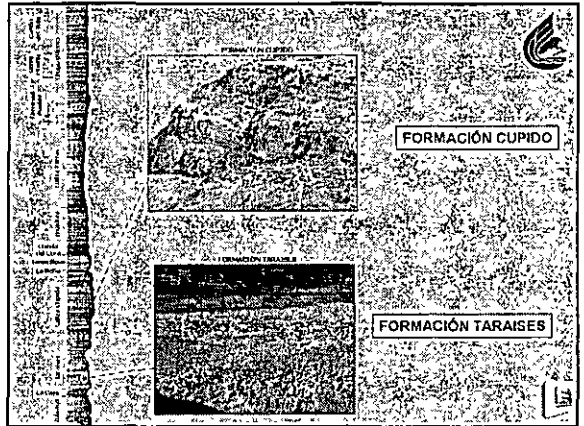
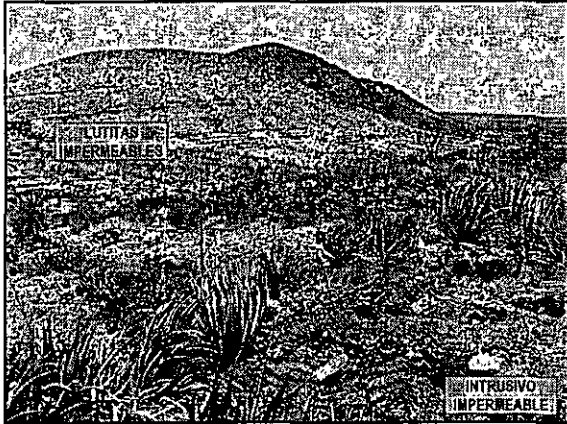


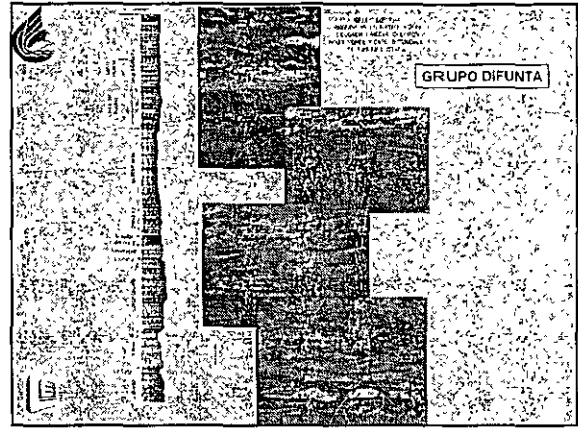
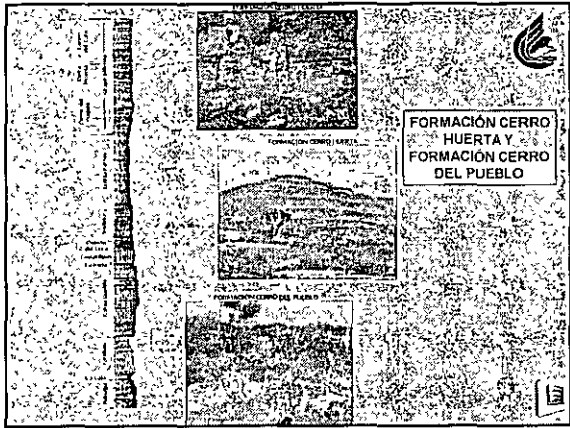


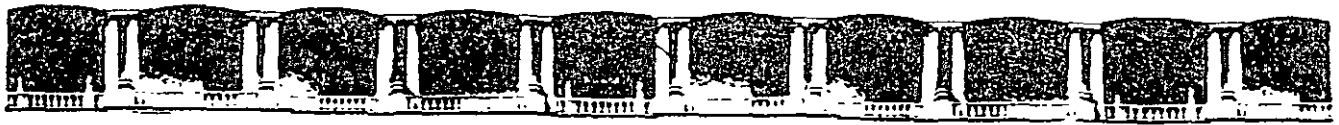




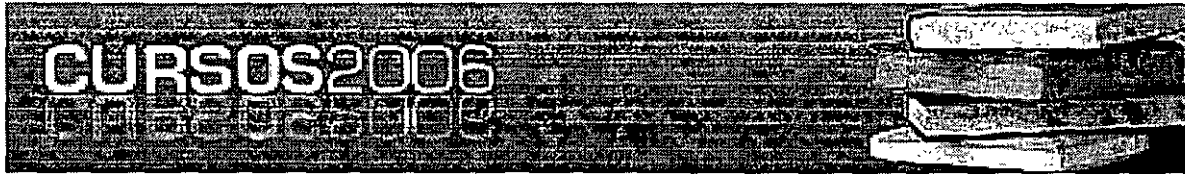








FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA

PRUEBAS DE BOMBEO

EXPOSITOR: ING. DAVID GONZÁLEZ POSADAS
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

PRUEBAS DE BOMBEO

ING. DAVID GONZÁLEZ POSADAS

1.- GENERALIDADES

La realización de una prueba de bombeo consiste en observar los efectos de abatimiento o recuperación de los niveles piezométricos en un acuífero. Los niveles son obtenidos a través de captaciones hidráulicas del tipo de pozos o norias y pueden ser observados en el propio pozo de bombeo (pozo de operación) o en pozos próximos a él (pozo de observación).

Al iniciarse el bombeo en un pozo, el nivel del agua sufre un abatimiento el cual es mayor en el propio pozo y decrece conforme aumenta la distancia. La fuerza que induce que el agua se mueva hacia el pozo, es el gradiente que se genera entre las cargas hidráulicas del propio pozo y las próximas a él.

El agua fluye a través del acuífero desde cualquier dirección, aumentando su velocidad conforme se acerca al pozo; expresado de acuerdo a la Ley de Darcy nos dice que, en un medio poroso el gradiente hidráulico es directamente proporcional a la velocidad, por lo que el abatimiento en la superficie piezométrica forma un cono de depresión, cuyo tamaño y forma dependen del caudal, tiempo de bombeo, características del acuífero. La influencia de algunos de estos factores en la forma de la depresión piezométrica se muestra en la figura 1.

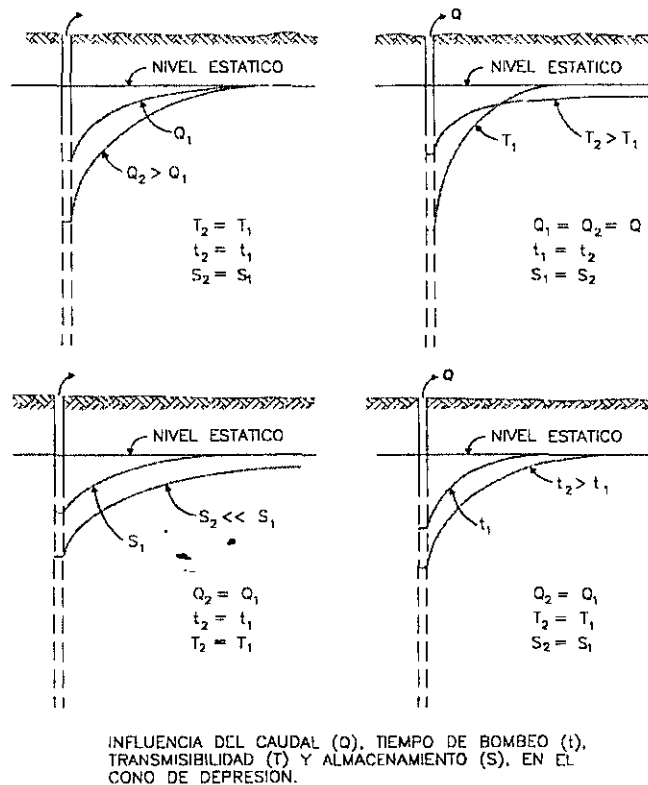


FIGURA 1

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal de las pruebas de bombeo es estimar las características hidrodinámicas de la formación acuífera como son transmisividad y coeficiente de almacenamiento. También se llega a definir a través de la interpretación de pruebas de bombeo, el tipo de acuífero, la existencia de barreras laterales, recarga de ríos o manantiales, radio de influencia del pozo, factor de infiltración y predicción del comportamiento de los niveles piezométricos.

3.- EQUIPO NECESARIO

- a) Sonda eléctrica (dos en caso de que se cuente con pozo de observación).
- b) Cronómetro.
- c) Regla de aforo (si el pozo tiene descarga libre y no cuenta con medidor de flujo) ver figura 2.
- d) Flexómetro.

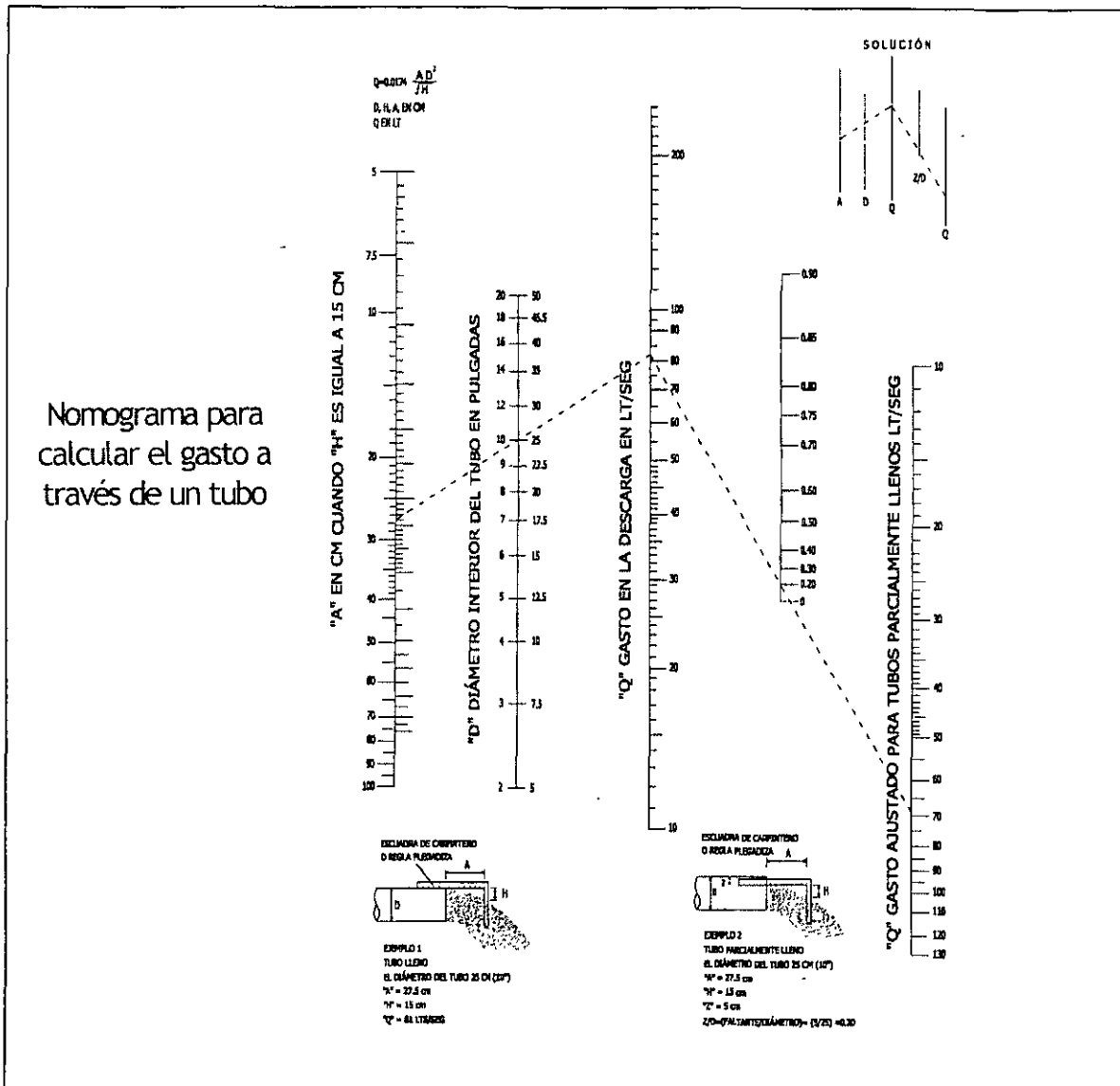


FIGURA 2

4.- SELECCIÓN DEL SITIO DE LA PRUEBA

En ocasiones, el sitio de la prueba está obligado, por ejemplo, cuando se trata de un problema de carácter local o interesa conocer las características hidráulicas del acuífero en un sitio específico.

En estudios geohidrológicos de carácter regional para elegir el sitio de la prueba, generalmente se realizan en pozos existentes pero considerando los aspectos siguientes:

- Que el equipo de bombeo se encuentre en condiciones apropiadas para sostener un caudal constante durante la prueba.
- Que la profundidad de nivel del agua sea fácilmente medible.
- Que el agua bombeada no se infiltre hasta el acuífero en las proximidades del pozo.
- Que las características constructivas y el corte geológico del pozo sean conocidos.
- El pozo es totalmente penetrante.
- Que los pozos próximos no operen durante la prueba.

Puesto que no es fácil que se cumplan simultáneamente todos estos requisitos, en cada caso deberá juzgarse con cierto criterio, si el incumplimiento de uno o varios de ellos obstaculiza significativamente o no, el buen desarrollo y la interpretación de la prueba.

5.- POZOS DE OBSERVACIÓN

Para la interpretación completa de una prueba, lo ideal es contar con uno o varios pozos de observación dispuestos a diferentes distancias del pozo de bombeo. Cuando esto es posible las características deducidas son más confiables y representativas de un área mayor. Por ello, es muy recomendable disponer al menos de un pozo de observación.

En la práctica es común que por razones presupuestales no se cuente con pozos de observación, por lo que la prueba se limita a interpretar las mediciones observadas en el propio pozo de bombeo. Los niveles dinámicos observados en dicho pozo pueden presentar cierta inconsistencia de acuerdo al comportamiento esperado, esto es debido a características constructivas del propio pozo, por lo anterior los resultados obtenidos de pruebas interpretadas en el pozo de operación, deberán tomarse con su debida reserva.

6.- EJECUCIÓN DE LA PRUEBA

Habiendo revisado el correcto funcionamiento del equipo de medición se inicia midiendo el nivel estático en el pozo de bombeo y en los pozos de observación. Se anota la hora de inicio y datos distintivos de cada pozo.

Se iniciará el bombeo, procurando mantener un caudal constante, y se procederá a medir la profundidad al nivel del agua en el pozo de bombeo y en el (o los) de observación, con la secuencia de tiempos que se indica a continuación.

LECTURA	TIEMPO A PARTIR DE LA INICIACIÓN DEL BOMBEO
	T I E M P O
1	0 TIEMPO A PARTIR DE LA INICIACIÓN DEL BOMBEO
2	15 SEGUNDOS
3	30 SEGUNDOS
4	1 MINUTO
5	2 MINUTOS
6	4 MINUTOS
7	8 MINUTOS
8	15 MINUTOS
9	30 MINUTOS
10	1 HORA
11	2 HORAS
12	4 HORAS
13	8 HORAS
14	16 HORAS
15	24 HORAS
16	32 HORAS
17	40 HORAS
18	48 HORAS
	CADA 8 HASTA 72 HORAS

A intervalos de tiempo seleccionados, se harán las observaciones o lecturas necesarias para cuantificar el caudal de bombeo.

Con las observaciones realizadas, se construirá en el sitio de la prueba, la gráfica de variación del nivel dinámico en el tiempo, para el pozo de bombeo y para cada uno de los pozos de observación. En la graficación podrá utilizarse papel semilogarítmico o logarítmico (los tiempos se llevarán en la escala logarítmica). Estas gráficas son útiles para juzgar el correcto desarrollo de la prueba: permiten detectar errores de medición, variaciones sensibles del caudal y otras anomalías causadas por factores externos, y constituyen un elemento de juicio para continuar o suspender una prueba.

Cuando en la gráfica nivel dinámico-tiempo del pozo bombeado se observe estabilización del nivel dinámico por un tiempo mínimo de 4 horas, podrá suspenderse la etapa de bombeo antes de alcanzar la duración prefijada, (ver figura 3).

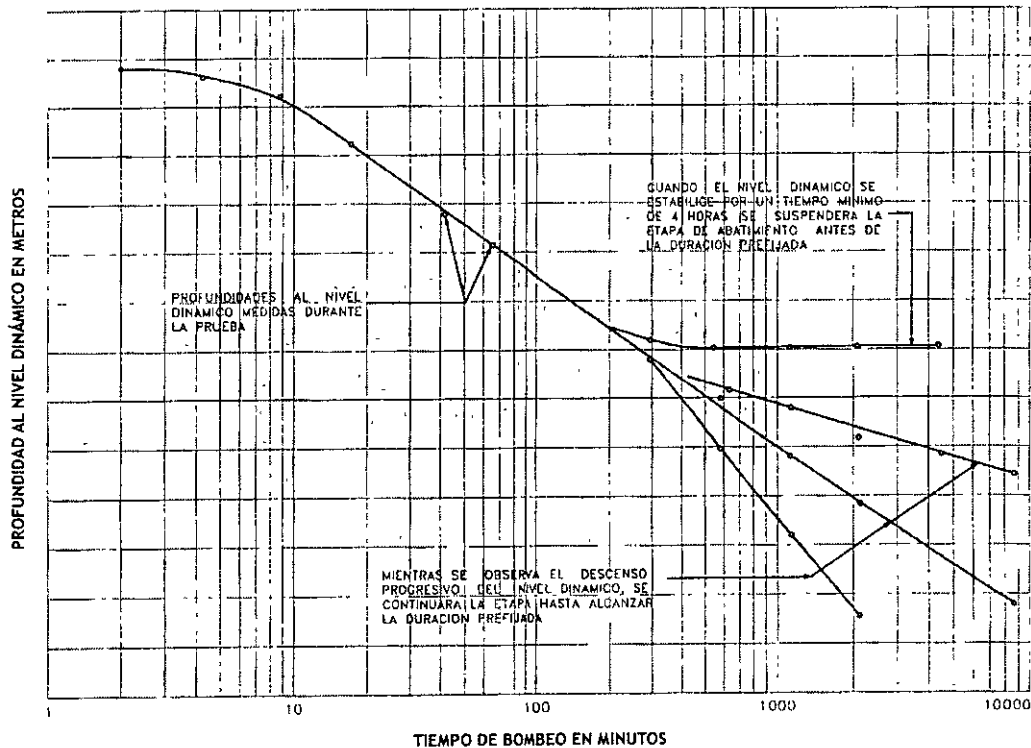


FIGURA 3

Una vez concluida la etapa de bombeo, se incluirá la de recuperación, en la que se efectuarán observaciones con la misma secuencia que la etapa de abatimiento. Estos tiempos son una guía de la frecuencia con que deben realizarse las observaciones. Si, por cualquier causa, no puede hacerse contacto con el nivel dinámico en el tiempo señalado, se hará la medición y se indicará el tiempo real a que corresponde.

7.- ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO

7.1.- RÉGIMEN ESTABLECIDO

Cuando se bombeo agua mediante un pozo, esta se deriva del almacenamiento del acuífero, y en tanto no exista una recarga vertical, el cono de depresión se va extendiendo más y más, decreciendo la magnitud de los abatimientos a medida que el área afectada es mayor, hasta que la superficie piezométrica se estabiliza en las proximidades del pozo y se llega a una condición de flujo establecido.

Las fórmulas para un pozo descargado bajo condiciones de flujo establecido, se derivaron desde tiempo atrás por varios investigadores, existiendo dos fórmulas básicas; una para acuíferos libres y otra para confinados.

Para un acuífero libre, la fórmula es:

$$h_2^2 - h_1^2 = \frac{Q}{\pi K} L \frac{r_2^2}{r_1} \text{-----}(1)$$

En la cual: h_1 = Altura piezométrica a la distancia r_1 del pozo de bombeo
 h_2 = Altura piezométrica a la distancia r_2 del pozo de bombeo
 Q = Caudal de bombeo
 K = Permeabilidad
 L = Logaritmo base "e"

Ver figura No. 4.

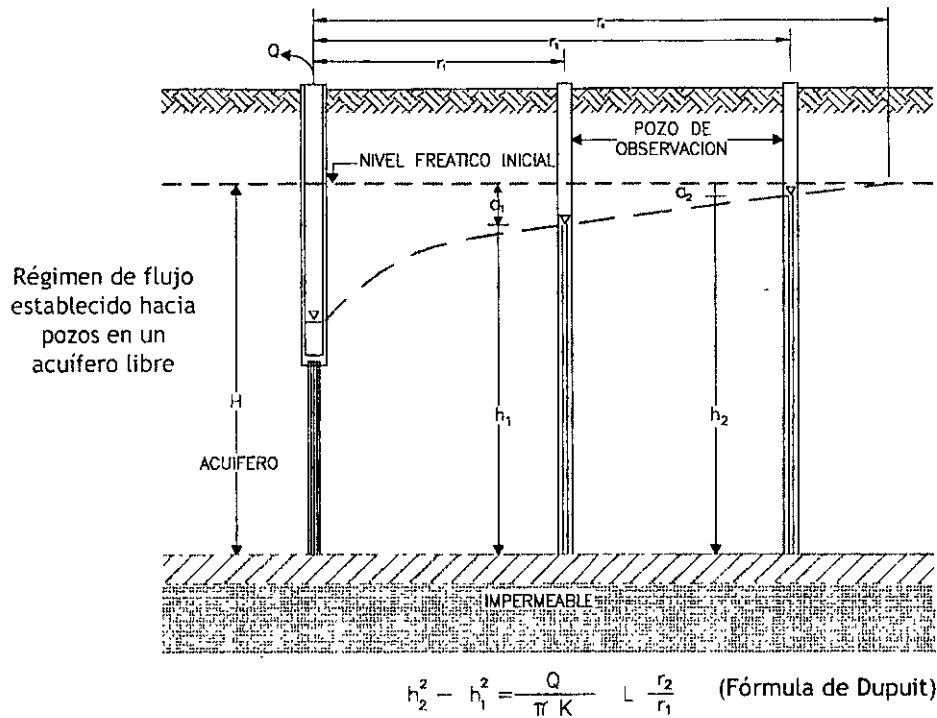


FIGURA 4

La fórmula correspondiente a un acuífero confinado es:

$$h_2 - h_1 = \frac{Q}{2\pi K b} L \frac{r_1}{r_2} \quad (2)$$

En la cual b = espesor del acuífero. Y los demás términos, son los mismos que los de la expresión anterior. Ver figura 2.

La derivación de las fórmulas anteriores, está basada en las siguientes hipótesis simplificatorias:

- El acuífero es homogéneo e isótropo en el área afectada por el bombeo.
- El espesor saturado inicial del acuífero libre, es constante
- Para el acuífero confinado, el espesores constante
- El pozo penetra totalmente al acuífero.
- La superficie piezométrica (o freática) es horizontal antes de iniciarse el bombeo.
- El abatimiento y el radio de influencia no varían con el tiempo.
- El flujo es laminar.

Estas hipótesis parecen limitar seriamente la aplicabilidad de ambas fórmulas, pero en realidad no es así, la permeabilidad media del acuífero es más o menos constante; aunque la superficie piezométrica no es completamente horizontal en ningún caso, el gradiente hidráulico es generalmente muy pequeño y no afecta sensiblemente la forma de la superficie piezométrica: el flujo es laminar en la mayor parte del área afectada por bombeo, y solo en la vecindad inmediata del pozo de bombeo puede llegar a ser turbulento; aunque el flujo no es rigurosamente establecido, después de cierto tiempo de bombeo puede considerarse como tal en un área próxima al pozo de bombeo.

Teniendo dos pozos de observación se obtienen la permeabilidad despejando de las ecuaciones 1 y 2.

$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} L \frac{r_2}{r_1} \text{ para acuífero libre}$$

$$K = \frac{Q}{2\pi b(h_2^2 - h_1^2)} L \frac{r_2}{r_1} \text{ para acuífero confinado}$$

Aún cuando las fórmulas anteriores son aplicables a algunos casos prácticos, tienen dos limitaciones principales: no proporciona ninguna información respecto al coeficiente de almacenamiento del acuífero, y no permiten calcular la variación de los abatimientos en el tiempo. Además, no son aplicables al estudio de acuíferos semiconfinados, ni a sistemas de penetración parcial. Por otra parte su aplicación requiere de dos pozos de observación (ver figura 5).

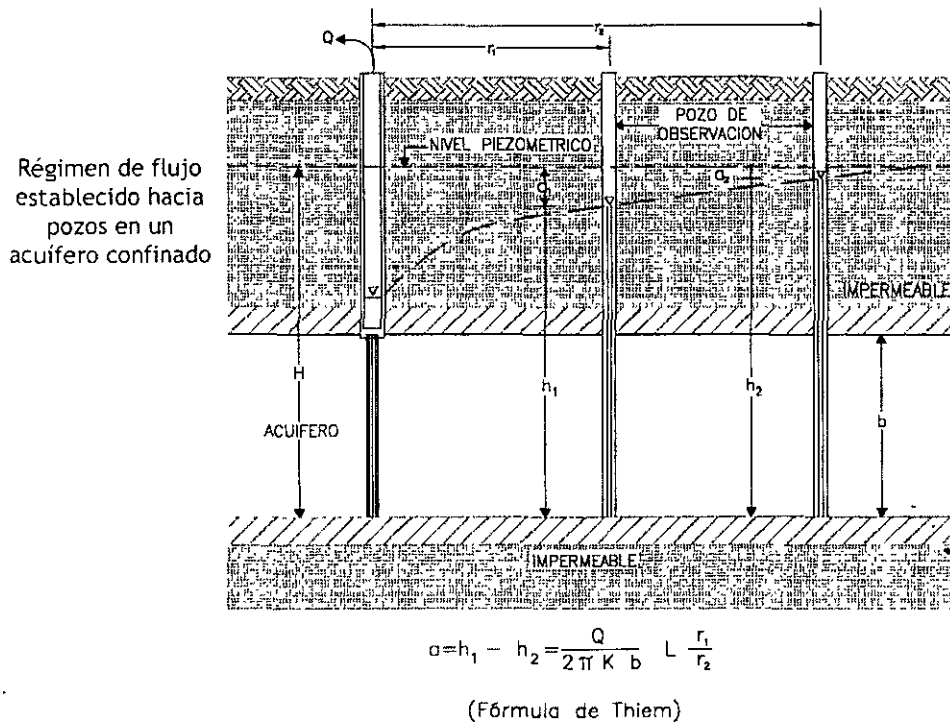


FIGURA 5

7.2.- RÉGIMEN TRANSITORIO

En 1935, C.V. Theis inició el estudio de la hidráulica de pozos en régimen transitorio, al desarrollar la fórmula que lleva su nombre. Mediante ella pueden deducirse los valores de los coeficientes de transmisividad y almacenamiento, a partir de los abatimientos registrados en uno o varios pozos de observación para diferentes tiempos de bombeo, con la ventaja de que no es necesario esperar la estabilización del cono de abatimiento, como en el régimen establecido.

La derivación de la fórmula de Theis se basa en las siguientes consideraciones.

- El acuífero es homogéneo e isótropo.
- El espesor saturado del acuífero es constante.
- El acuífero tiene extensión lateral infinita.
- El bombeo del pozo es a costa del almacenamiento del acuífero.
- El pozo penetra totalmente el acuífero.
- El agua del acuífero es liberado instantáneamente con el abatimiento.

La solución desarrollada por Theis, es:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \text{ -----(3)}$$

Despejando T:

$$T = \frac{Q}{4\pi a} W(u)$$

Donde: a es el abatimiento registrado a la distancia r del pozo de bombeo; Q , es el caudal, T la transmisividad; $W(u)$, la función de pozo.

Por otra parte:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \text{ -----(4)}$$

Despejamos S

$$S = \frac{4Tt}{r^2} u$$

Donde: r es la distancia al pozo de bombeo; t , tiempo de bombeo; S , coeficiente de almacenamiento, T , transmisividad.

Los valores de la función de pozo en relación con los de u , se encuentra en tabla 1, los cuales vaciados en una gráfica de $W(u)$ contra $1/u$ en papel logarítmico, nos da una curva tipo para interpretar pruebas de bombeo en pozos totalmente penetrantes en acuíferos confinados (figura 6).

Curva tipo para interpretación de pruebas de bombeo en acuíferos confinados

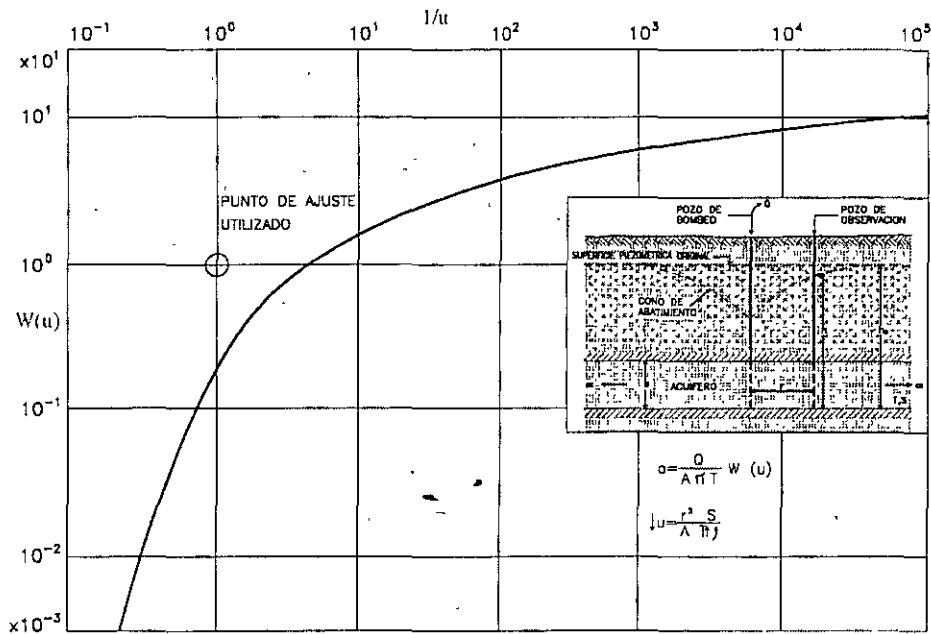


FIGURA 6

En base a las fórmulas 3 y 4 Theis desarrolló un método gráfico de solución para determinar los parámetros T y S, de acuerdo a los pasos siguientes:

- a) Trazar la curva tipo $W(u)-1/u$ en papel con trazo doble logarítmico.
- b) Construir la gráfica abatimiento – tiempo del pozo de observación en papel idéntico al utilizado en el inciso a.
- c) Superponer las gráficas manteniendo los ejes paralelos y buscar la coincidencia de la curva de campo y la curva tipo.
- d) Substituir los valores de las coordenadas en las ecuaciones (3) y (4), despejando T y S.

En general, debe darse menor peso a los puntos correspondientes a los tiempos más cortos, pues en esta parte de la prueba pueden tenerse las mayores discrepancias entre las condiciones reales y las hipótesis establecidas para obtener la fórmula; hay cierto retraso que puede ser mayor en esta parte de la prueba, en la que los niveles se abaten rápidamente; el caudal puede variar apreciablemente por el incremento brusco de la carga de bombeo, etc. Para tiempos mayores de bombeo, estas discrepancias se van minimizando y se tiene un ajuste entre la teoría y las condiciones reales.

Ejemplos de interpretación

FÓRMULA MODIFICADA PARA PRUEBAS DE BOMBEO CON RÉGIMEN TRANSITORIO

Un método más sencillo para la interpretación de las pruebas de bombeo, fue desarrollado por Jacob, quien observó que para tiempos largos ($t > 5 S r^2 / T$), la ecuación (3), puede modificarse sin un error significativo a la forma siguiente:

$$a = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \text{-----} (5)$$

A partir de esta fórmula, desarrolló el método gráfico de interpretación que lleva su nombre, y que consiste en lo siguiente:

- Construir la gráfica abatimiento (en escala aritmética) contra tiempo (en escala logarítmica).
- Pasar una recta por los puntos que se alinean, y determinar su pendiente, los puntos correspondientes a los primeros minutos de la prueba generalmente se apartan de la recta, debido a que corresponden a tiempos cortos ($t < 5 S r^2 / T$) para los cuales no es válida la fórmula de Jacob.
- Si la pendiente de la recta de ajuste es Δs , la transmisividad puede obtenerse de la expresión:

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s} \text{-----} (6)$$

- Determinar el valor del tiempo, t_0 , para el cual la prolongación de la recta de ajuste intercepta la línea de abatimiento nulo.
- Calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la expresión.

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \text{-----} (7)$$

Ejemplos de interpretación

El Método anterior puede seguirse, cuando se conocen los abatimientos en varios pozos de observación para un tiempo dado. En este caso se gráfica el abatimiento (en escala

aritmética) contra la distancia (en escala logarítmica). Los coeficientes buscados se obtienen mediante las fórmulas.

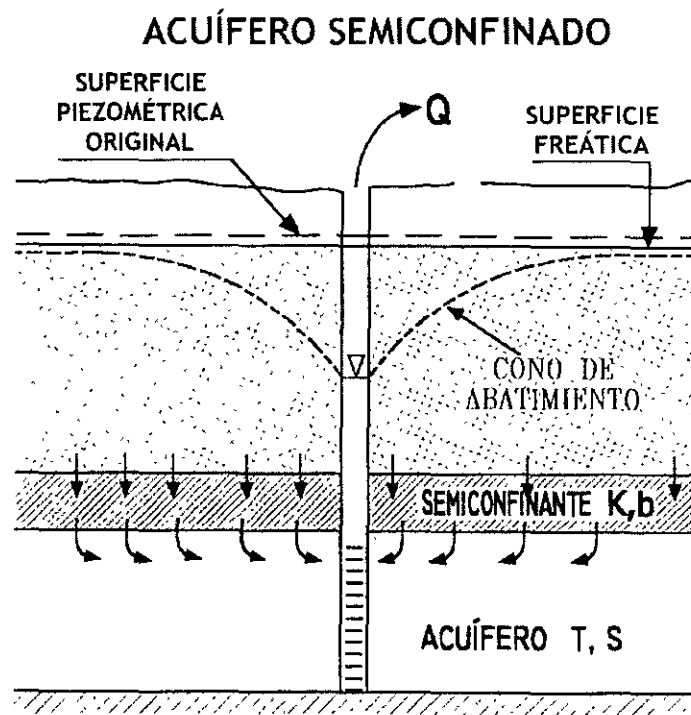
$$T = \frac{0.366Q}{\Delta S} \text{ y } S = \frac{2.25Tt}{r^2} \text{ -----(8)}$$

En donde r corresponde al valor para el cual la prolongación de la recta de ajuste intercepta la línea de abatimiento nulo.

La forma más general del método, se aplica cuando se tienen observaciones en varios pozos de observación para diferentes tiempos, en este caso, los valores de la relación t/r se anotan en el eje logarítmico, y se sigue la secuela descrita anteriormente.

PRUEBAS DE BOMBEO EN ACUÍFEROS SEMICONFINADOS

Probablemente, el acuífero más común en la naturaleza es el de tipo semiconfinado; los rellenos siempre tienen cierta estratificación, alternándose estratos de granulometría variada. Cuando un estrato de material permeable queda limitado verticalmente por materiales, también saturados, de menor permeabilidad, se tiene un acuífero semiconfinado (ver figura 7).



Al bombearse un acuífero de este tipo se provoca abatimientos de sus niveles piezométricos, generándose una diferencia vertical de cargas, que induce el flujo descendente del agua a través del semiconfinante. La cantidad de agua que circula a través de este es directamente proporcional a la diferencia de cargas entre las superficies freáticas y piezométricas, e inversamente proporcional a la resistencia hidráulica del mismo estrato.

Puesto que en este sistema solo una parte del volumen bombeado procede del acuífero, y el resto es aportado por el estrato adyacente el semiconfinante, el abatimiento de los niveles piezométricos es menor que en el caso del acuífero confinado. Como la aportación vertical aumenta con el tiempo, el abatimiento de los niveles piezométricos va decreciendo, hasta que la aportación vertical equilibra el caudal de extracción y en ese momento, los niveles piezométricos se estabilizan.

La solución correspondiente a este sistema es la siguiente:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B)$$

Despejando T:

$$T = \frac{Q}{4\pi\alpha} W(u, r/B)$$

Por otra parte:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Despejando S

$$S = \frac{4Tt}{r^2} u$$

Donde

$$B = \sqrt{Tb'/K'}$$

Siendo K' y b' la permeabilidad vertical y el espesor del estrato semiconfinante.

Las curvas tipo correspondientes a esta solución se presentan en la figura 8, en la cual puede apreciarse el comportamiento arriba descrito.

El procedimiento de interpretación de las pruebas en este caso es semejante al seguido en el caso de los acuíferos confinados, con la diferencia de que ahora debe buscarse la coincidencia entre la curva de campo y una de las curvas tipo. Lograda la coincidencia, se selecciona un punto de ajuste, y se substituyen los valores de sus coordenadas en las ecuaciones correspondientes, para decir los parámetros buscados.

Curva tipo para interpretación de pruebas de bombeo en acuíferos semiconfinados

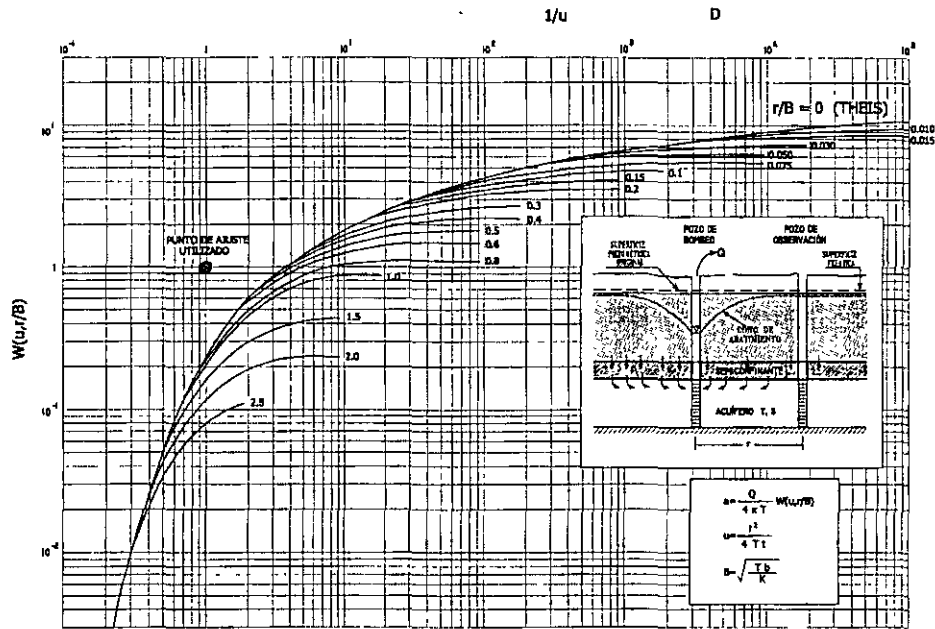


FIGURA No. 8

Ejemplos de interpretación.....

MÉTODO GRÁFICO DE HANTUSH PARA ACUÍFEROS SEMICONFINADOS

1. Graficar El abatimiento medido en un pozo de observación contra el tiempo en minutos en papel semilogarítmico y entrepolar los datos hasta que el máximo abatimiento (S_{max}) se encuentre.
2. Localizar el punto de inflexión en la curva de abatimiento tomado $S_i = S_{max}/2$, en donde S_i es el abatimiento en el punto de inflexión.
3. Determinar gráficamente la pendiente m_i de la curva de abatimiento en el punto de inflexión y leer el tiempo t_i correspondiente al punto de inflexión.
4. Como se comprueba en el apéndice A del libro Geohydrology de De Wiest. (ref. 1).

$$e^{-r/b} K_0 \frac{r}{B} = \frac{2.3s_i}{m_i}$$

Los valores de la función $e^{-x} K_0(x)$ en donde $x = r/B$, han sido trabajados por Hantush. Aquí la función está determinada por la relación 2.3 si/mi. El valor del argumento, llamado r/B , puede determinarse mediante la tabla 1.

5. Calcular T de la fórmula siguiente:

$$T = \frac{0.1259xQ}{S_{\max}} K_0(r/B)$$

6. En el punto de inflexión

$$U_i = \frac{r^2 S}{4x60Ti} = \frac{r}{2B}$$

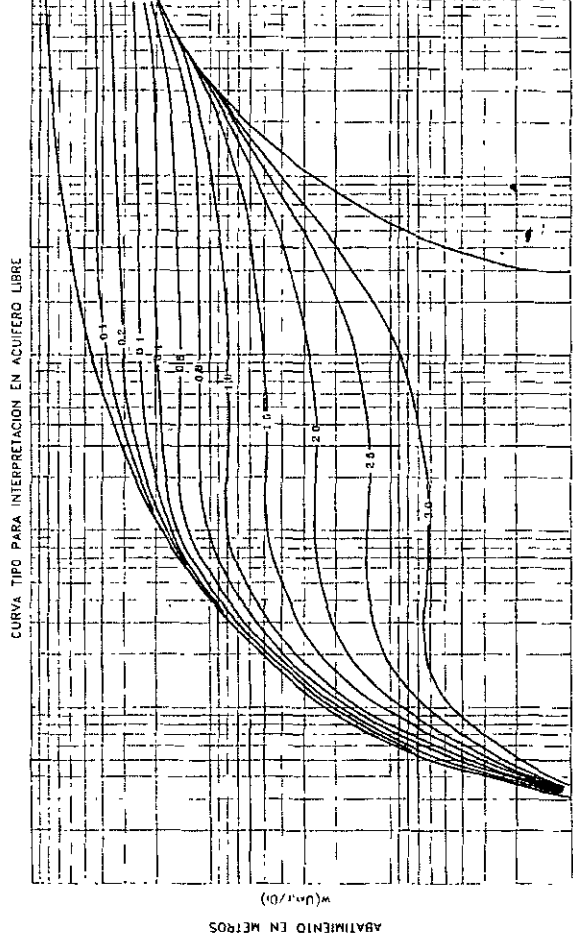
de esta relación se puede obtener S.

PRUEBA DE BOMBEO EN ACUÍFEROS LIBRES

Los acuíferos libres se caracterizan por estar limitados superiormente por una superficie freática, puesto que el espesor saturado del acuífero varía con las fluctuaciones de esta superficie, la transmisividad del acuífero es también variable en el área y en el tiempo. Si las fluctuaciones de los niveles son poco significativos con respecto al espesor del acuífero, la transmisividad puede suponerse constante, y la interpretación de las pruebas se efectúan como si se tratara de un acuífero confinado. En cambio, si dichas fluctuaciones son importantes, específicamente, mayores de 20% del espesor saturado del acuífero, los abatimientos medidos se corrigen en la forma siguiente:

$$ac = a - \frac{a^2}{2b}$$

Siendo ac el abatimiento corregido y b , el espesor saturado inicial del acuífero, los abatimientos así corregidos, se interpretan como si se tratara de un acuífero confinado (ver figura 9).



$$T = 0.1 w(u_0, r_0^2) / 4\pi a$$

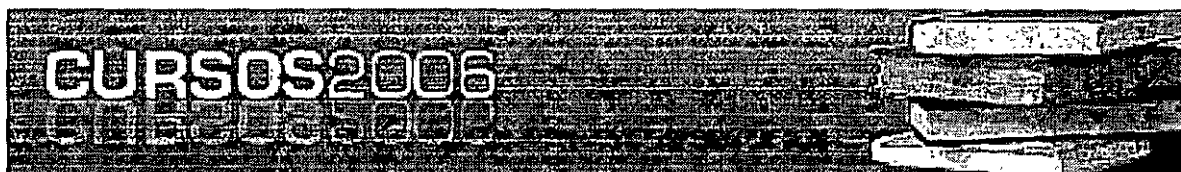
$$S = 4T \cdot u_0 / r_0^2$$

REPRESENTACION LOGARITMICA
DE PRUEBAS DE BOMBEO

FIGURA No. 9



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA

PRUEBAS DE BOMBEO
DIAPOSITIVAS

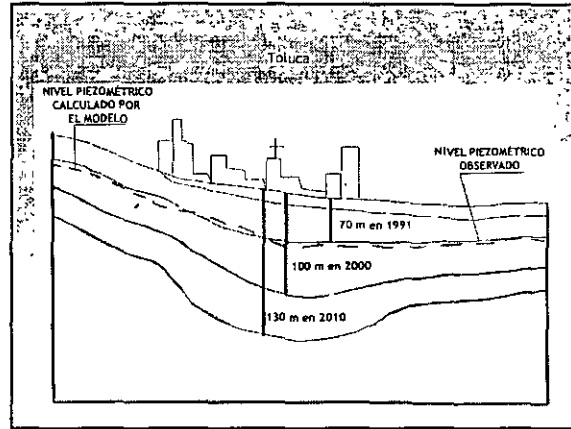
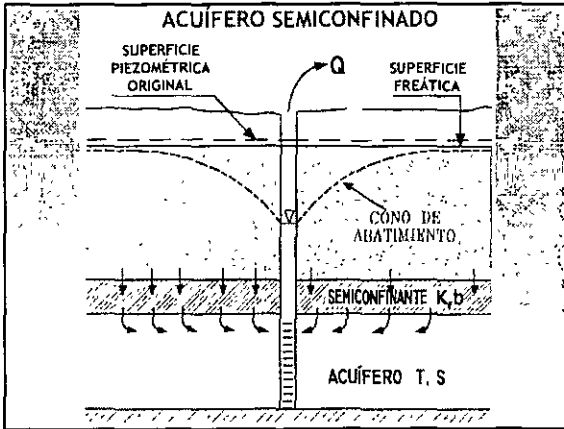
EXPOSITOR: ING. DAVID GONZÁLEZ POSADAS
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

PRUEBAS DE BOMBEO

ING. DAVID GONZALEZ POSADAS

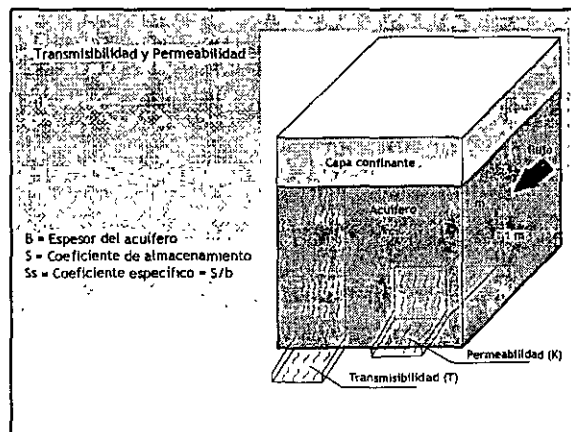
1

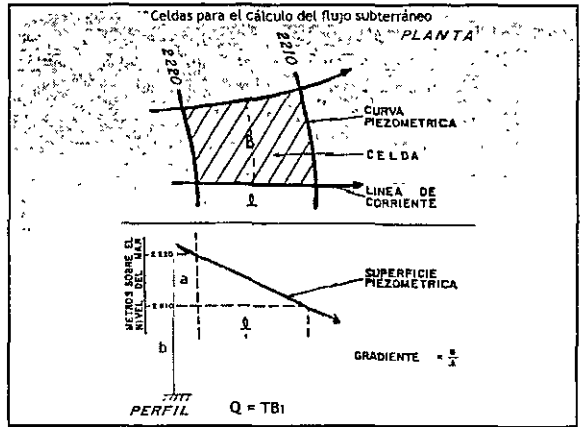
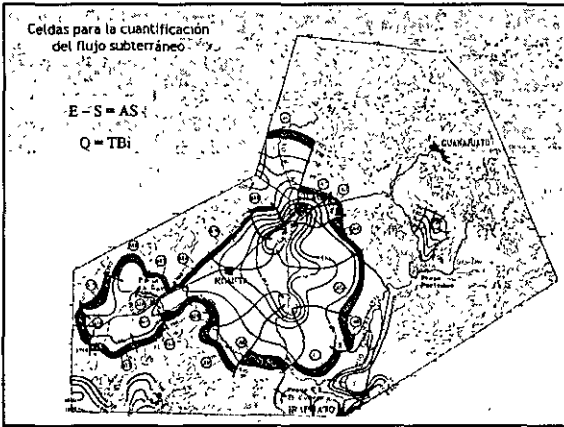
en qué consiste



2

objetivos





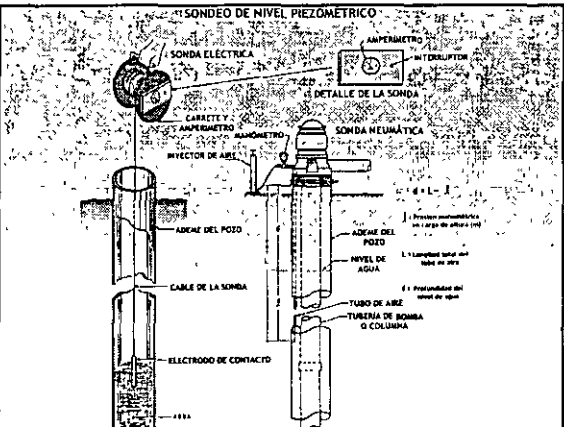
Celda de entradas de agua por flujo subterráneo
 Silao-Romita, Gto.

CELDA	LARGO (m)	ANCHO (m)	GRADIENTE HIDRAULICO 1 E-03	TRANSMISIBILIDAD m/seg x 10	CAUDAL m ³ /seg	VOLUMEN m ³ x 10 ⁶
A-1	1.000	6.500	5.00	0.0030	0.098	3.074
A-2	0.700	4.000	14.74	0.0013	0.086	2.701
A-3	7.250	7.100	30.00	0.0010	0.174	2.910
A-4	0.750	7.500	17.77	0.0010	0.073	2.712
A-5	0.750	4.700	13.33	0.0010	0.116	3.537
A-6	1.000	4.500	10.00	0.0020	0.090	2.838
A-7	0.900	7.300	2.22	0.0040	0.064	2.010
A-8	7.500	1.500	3.33	0.0040	0.071	2.310
A-9	0.800	8.000	6.25	0.0040	0.200	6.300
A-10	0.900	6.000	11.11	0.0030	0.200	6.300
A-11	0.700	4.300	14.28	0.0030	0.184	3.808
A-12	0.700	3.000	14.28	0.0040	0.286	9.003
A-13	0.750	4.500	15.71	0.0040	0.547	10.979
A-14	7.000	4.200	9.00	0.0030	0.060	1.892
A-15	1.100	5.500	9.00	0.0040	0.239	7.223
A-16	0.700	7.000	14.28	0.0030	0.300	9.455
A-17	0.500	3.200	20.00	0.0030	0.312	9.837
A-18	0.500	3.400	20.00	0.0030	0.210	6.621
A-19	0.600	1.800	16.66	0.0040	0.387	12.187
A-20	0.600	7.500	16.66	0.0040	0.500	15.759
A-21	0.500	1.200	20.00	0.0030	0.192	6.054

138.197

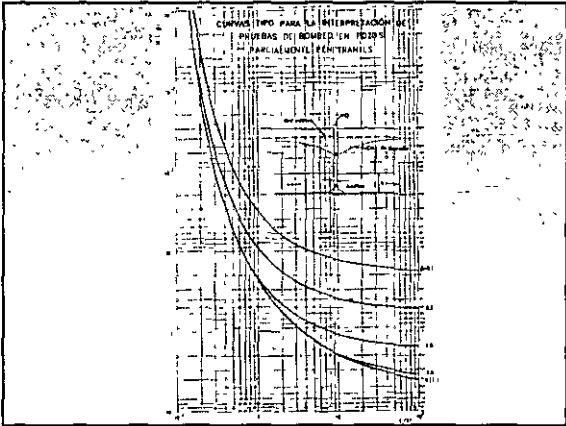
3

equipo necesario



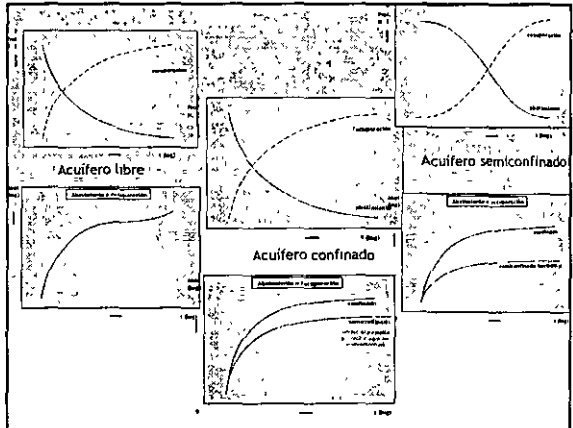
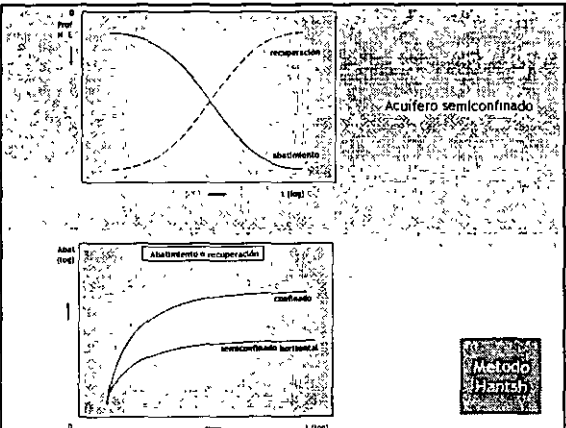
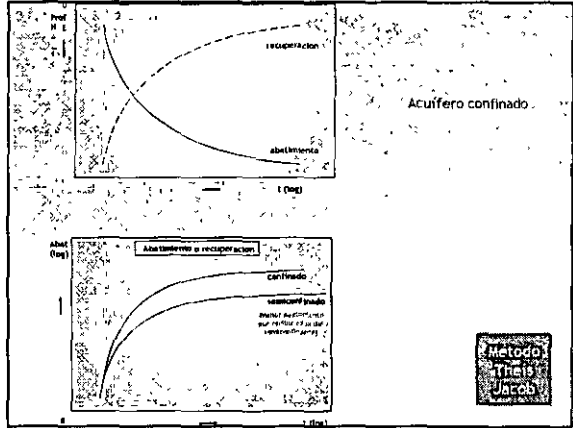
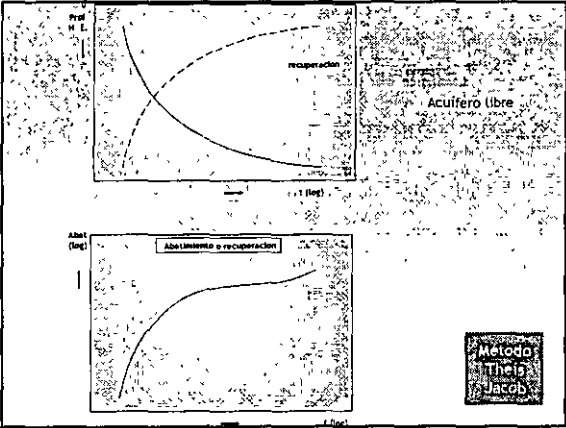
4

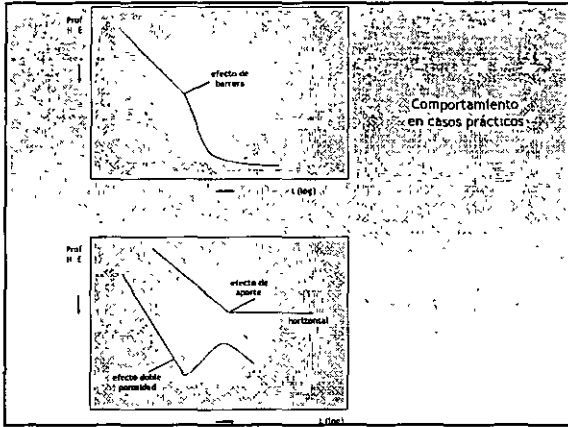
condiciones de campo



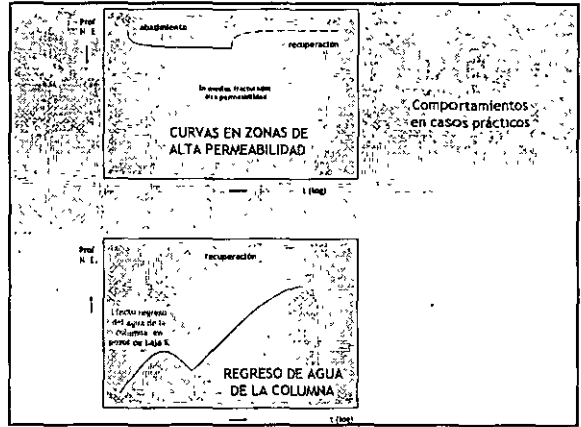
7

Como interpretar las curvas

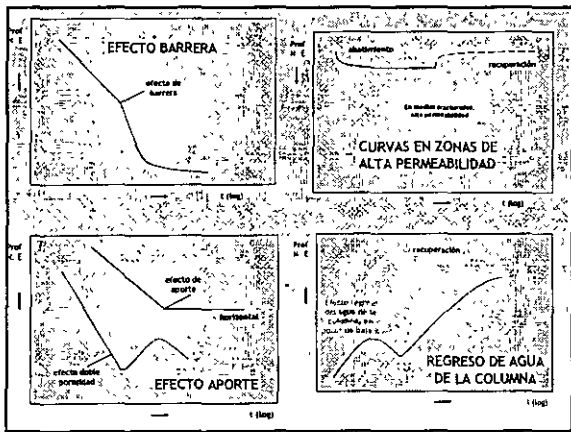




Comportamiento en casos prácticos

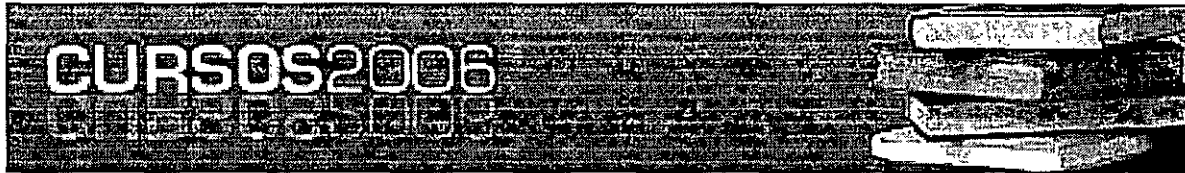


Comportamientos en casos prácticos





FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES DE HIDROCARBUROS CA 157

TEMA

EJERCICIO DE AQUIFERTEST VER.3.0

**EXPOSITOR: ING. LUIS E. LESSER E
ING. DAVID GONZÁLEZ POSADAS
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

EJERCICIO DE AQUIFERTEST VER.3.0

Por: Luis E. Lesser y David Gonzalez

EJERCICIO 1: Planeando una prueba de bombeo

Esta versión de Aquitest permite, además de interpretar los resultados provenientes de pruebas de bombeo, el planear la prueba antes de salir al campo. Esta capacidad de aquitest permite obtener sugerencias para los valores de caudal óptimo, la distancia óptima entre el pozo bombeado y los pozos de observación. Este ejercicio esta diseñado para aprender a obtener cual es el caudal necesario para la prueba de bombeo.

El proposito de este ejercicio es estimar el caudal necesario para producir un abatimiento minimo (2mm=0.002m) en un pozo de observación que está a 10 metros del pozo de bombeo, en los primeros 2 minutos de la prueba de bombeo.

1. CREAR UN NUEVA BASE DE DATOS

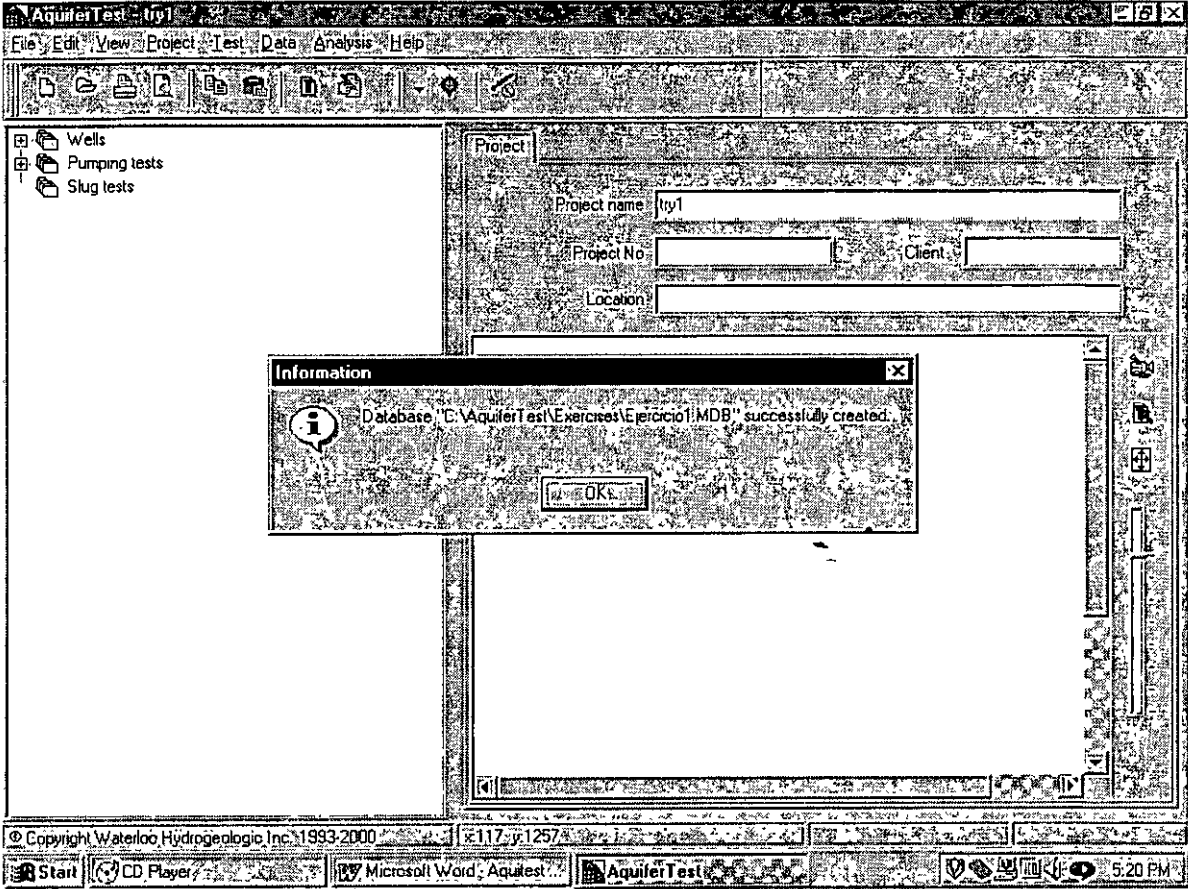
☞☞ en el icono de Aquifer Test 3.0

☞ File (del menú superior)

☞ Create database...

En la ventana que aparece accesar el directorio **C:\WHI\Aquifertest\Exercises** y nombrar al archivo Ejercicio1, y ☞ en Save. Una venatan aparecera confirmando que la base de datos ha sido creada.

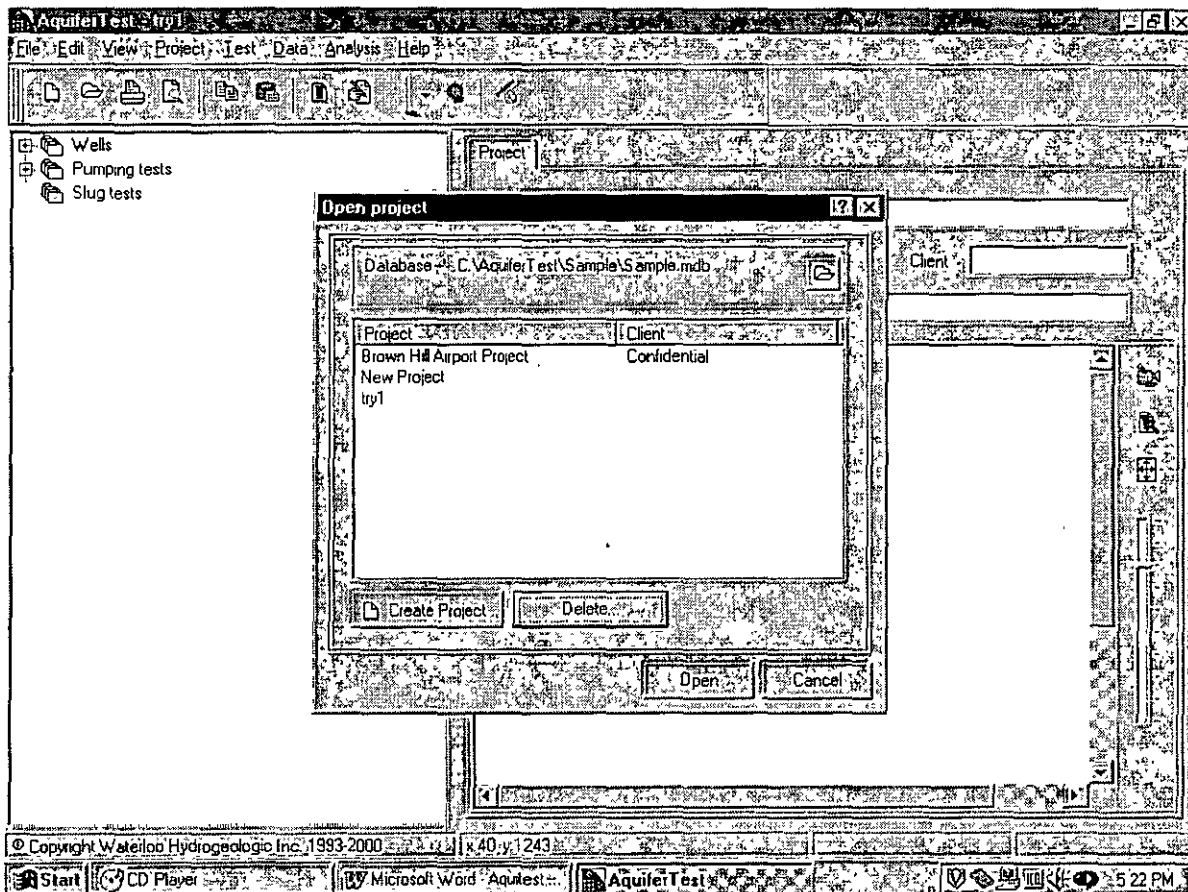
☞ OK



☞ File (del menú superior)


☞ Open project


☞ en el icono para abrir proyectos en la parte superior derecha de la ventana, y buscar el archivo Ejercicio1 (el archivo que acaba de ser creado) dentro de C:\WHI\Aquifertest\Exercises\ y ☞ en Open




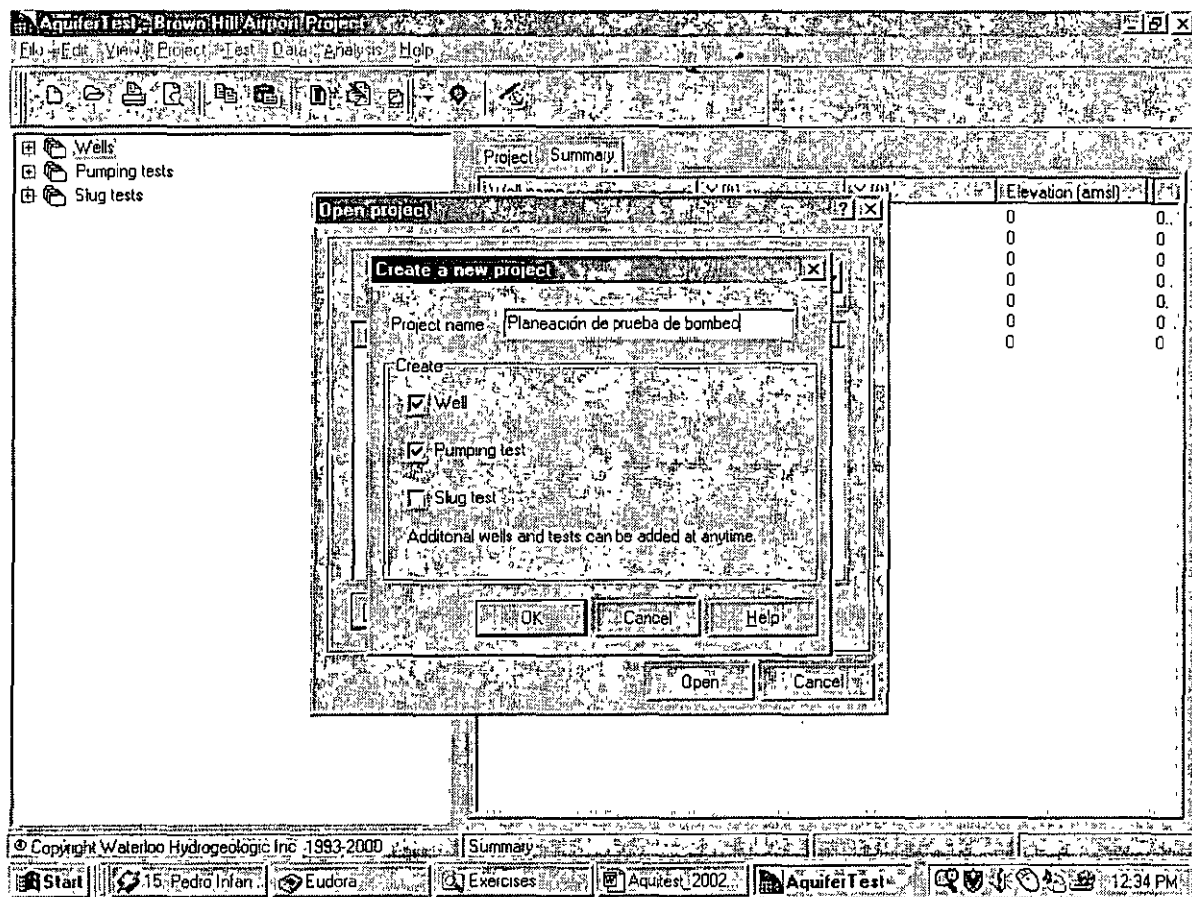
2. CREAR UN NUEVO PROYECTO

En la misma seleccionar

 Create project

En la ventana que aparece, en **project name** escriba: Planeación prueba de bombeo y  en OK

En la ventana anterior que aun seguira abierta,  en **open** (Planeación de prueba de bombeo, deberá estar seleccionada)

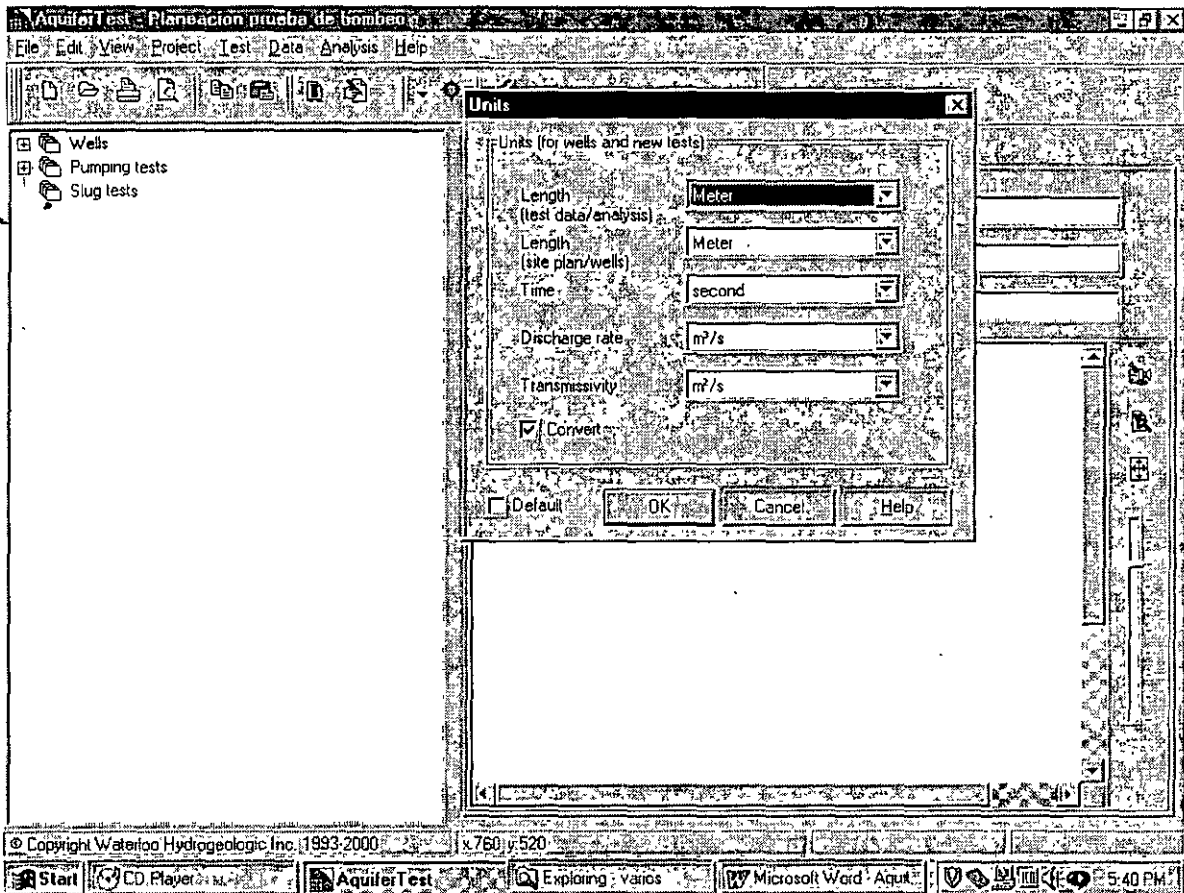


3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE UNIDADES PARA EL PROYECTO

☞ Project (del menú superior)

☞ Units...

☞ OK



4. CREAR UN NUEVO ANÁLISIS

En cualquier lugar del panel izquierdo (donde se encuentra el menú expandido) hacer un **click derecho**. De la ventana que aparece escoger:

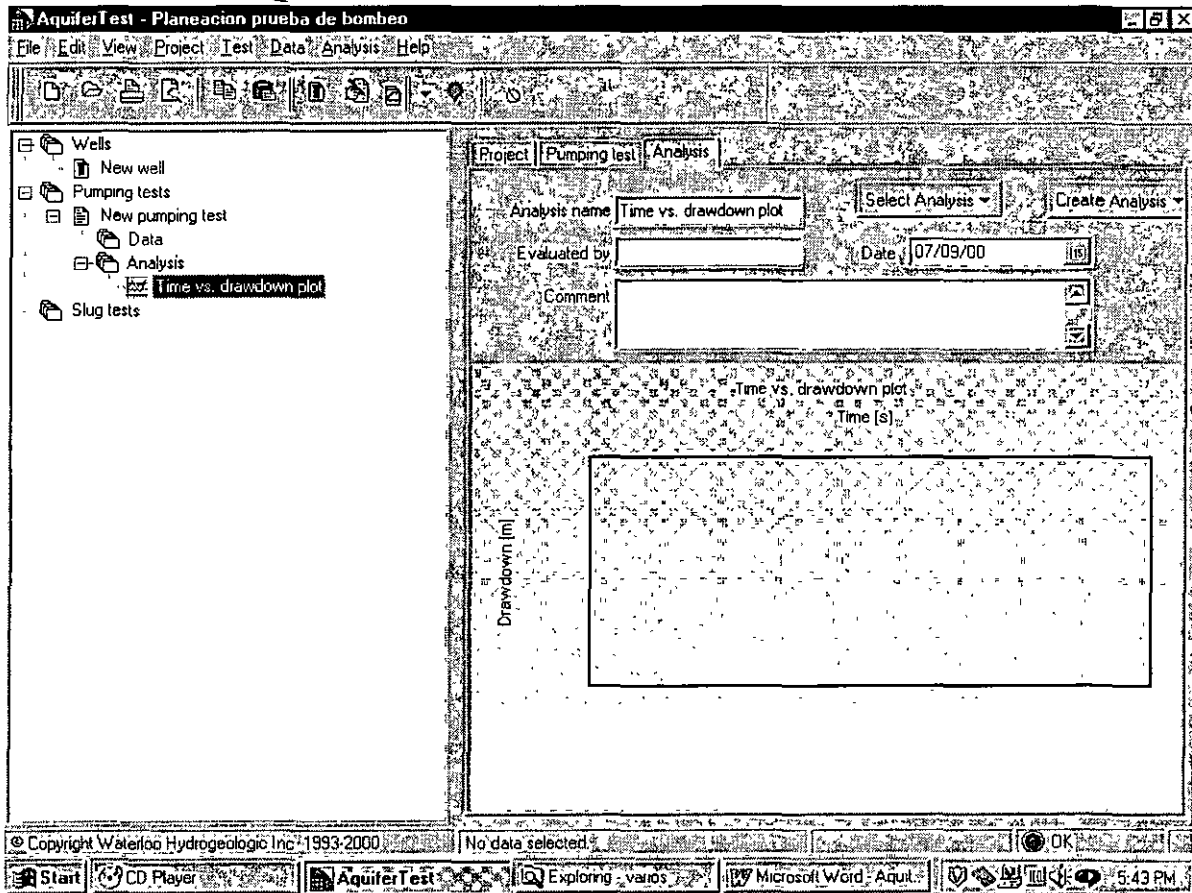
Expand all (para expandir las opciones)

De las opciones que aparecen en el menú izquierdo:

Analysis (para seleccionarlo)

click derecho en Analysis, y del menú que aparece, **Create Analysis**

En las opciones que aparecen a la derecha escoger **Time vs. drawdown plot** con un **click**



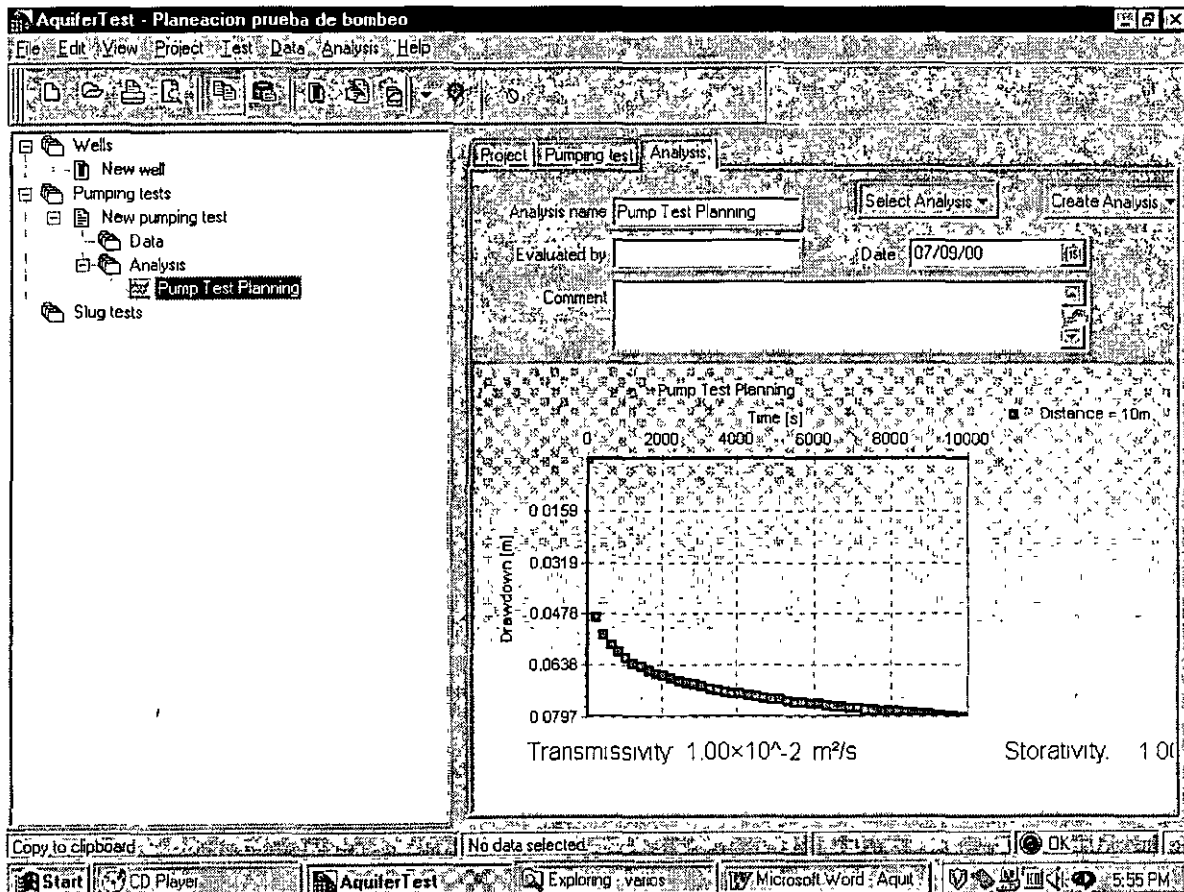
☞ Analysis (del menú superior)

☞ Method

☞ Predicted (Theis) (al final de la lista)

Por default, Aquifer Test mostrará una gráfica de abatimiento con tiempo a una distancia de 10 metros del pozo de bombeo.

Nótese que no se a introducido al modelo ningún tipo de información de abatimiento respecto al tiempo para ver esta gráfica. Aquifer test crea una serie de datos “sintéticos” que corresponde al abatimiento característico por Theis (recuerdesé que estamos planeando una prueba de bombeo!)

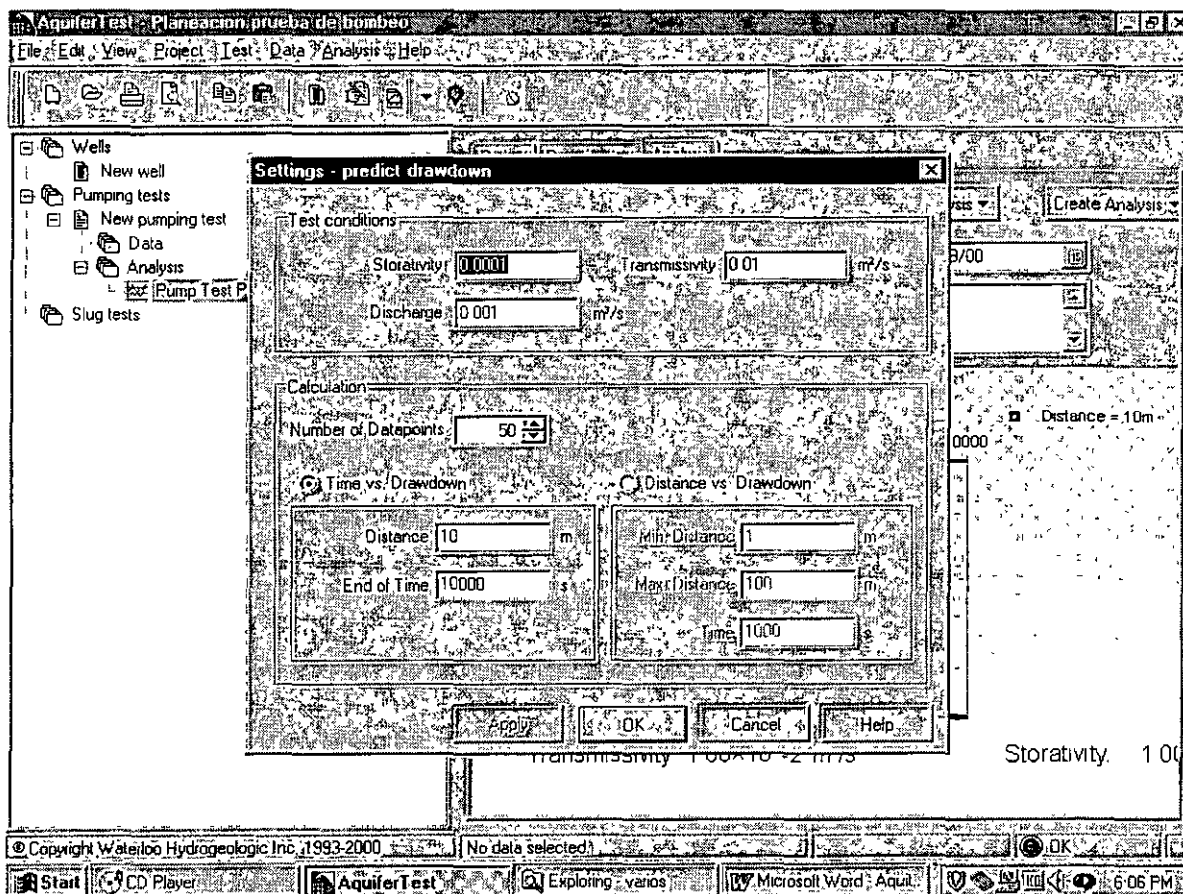


5. CAMBIANDO LAS CARACTERISTICAS DEL ANALISIS

Las características para la predicción de Theis observada en la última figura pueden ser editados para permitir hacer una evaluación de los efectos que pueden resultar en la planación de una prueba de bombeo.

☞ *derecho* en cualquier lugar de la gráfica

☞ settings



Nótese que en “Test Conditions” se requieren valores de almacenamiento, transmisibilidad y caudal. Con información acerca del sitio de estudio se puede estimar el orden de la transmisibilidad y el almacenamiento. Con estos valores estimados, se puede entonces variar el caudal hasta que se obtenga el abatimiento deseado a la distancia establecida.

En “Calculation” se define el número de puntos a ser calculados en la gráfica. También se puede escoger entre estudiar la gráfica de abatimiento vs. Tiempo, o abatimiento vs.

Distancia. Estas opciones permiten variar la distancia de los pozos de observación y el tiempo de la prueba de bombeo para ajustarlas a las condiciones reales del sitio.

Por ejemplo, en la mayoría de los casos, pozos ya existentes en el sitio de estudio son utilizados como pozos de monitoreo. Un pozo de monitoreo puede estar a 25 metros del pozo de bombeo y no a 10 metros como lo sugiere el modelo. Se puede sustituir el valor de 10 metros por el de 25 metros, y posteriormente se podrá observar el abatimiento esperado a una distancia de 25 metros del pozo de bombeo.

En esta ventana asegúrese de que se ha seleccionado tiempo vs. Abatimiento (Time vs. Drawdon).

En “Test Conditions” cambie la siguiente información:

Storativity: 0.0001

Transmissivity: $0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ (basado en $K=10^{-3} \text{ m/s}$; $b= 10 \text{ m}$)

Discharge: $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ (1 lps)

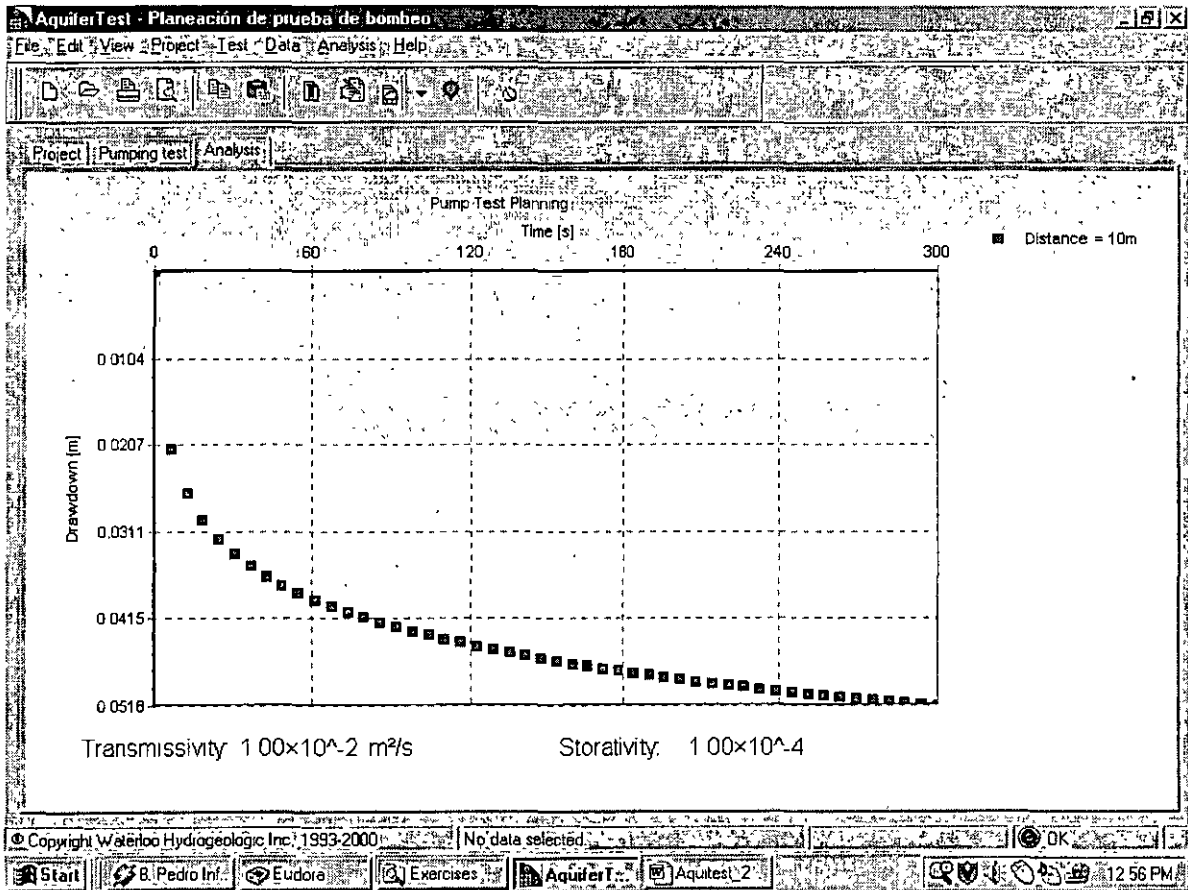
En “Calculation”:

Distance: 10 m (al pozo de observación)

End of time: 300 seg (5 min)

☒ OK

Para agrandar la gráfica se presiona CTRL-E, para regresar al modo normal se vuelve a presionar CTRL-E.



De acuerdo con esta gráfica, un caudal de $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$, producirá un abatimiento de aproximadamente 4.3 cm a los 2 minutos del inicio de la prueba, en el pozo de observación localizado a 10 metros de distancia. De esta manera, se satisface con este caudal el criterio que nos habíamos propuesto al principio del ejercicio.

Analizemos ahora otra pregunta: ¿Qué tan lejos llegará el cono de depresión después de 2 días de bombeo? Esto nos indicará si podemos llegar a tener interferencia con otros pozos de bombeo cercanos.

Nuevamente haga \odot derecho en cualquier lugar de la gráfica y seleccione

\odot Settings

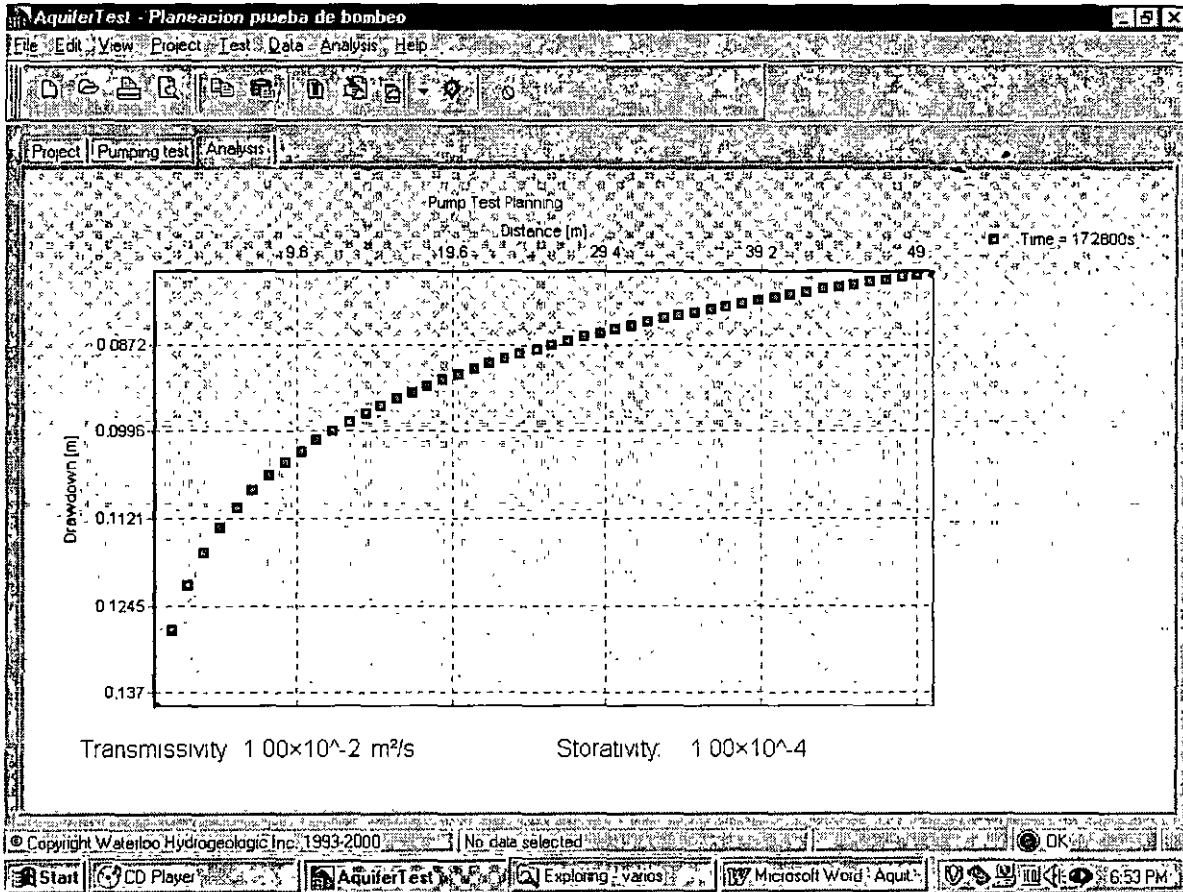
En "Calculation" \odot Distance vs. Drawdown

Min. Distance: 1 (metros)

Max. Distance: 50 (metros),

Time: 172800 (segundos = 2 días)

\odot OK



En la figura se puede apreciar la extensión del cono de abatimiento de nuestro pozo de bombeo. Como se puede observar, la prueba de bombeo produce muy pequeños efectos a una distancia mayor de 50 metros, si en este radio no existen pozos de bombeo, no existirá entonces ningún problema de interferencia.

Tecleando CTRL-E regresa a la imagen de la gráfica en pequeño.

Final del Ejercicio 1

EJERCICIO DE AQUIFERTEST VER.3.0

EJERCICIO 2: Analisis de una prueba de bombeo en acuífero confinado –

Theis analisis

1. CREAR NUEVO PROYECTO

☞ File (del menú superior)

☞ New Project...

En el **project name** escriba: “Ejercicio 2: Análisis de Theis”, y DESELECCIONAR la opciones de **Well** y **Pumping test** (estas opciones las añadiremos mas tarde).

☞ OK

2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE UNIDADES PARA EL PROYECTO

☞ Project (del menú superior)

☞ Units... (asegurese que son las mismas unidades que el ejercicio anterior)

☞ OK

3. CREAR NUEVOS POZOS

☞ Wells (del menú izquierdo)

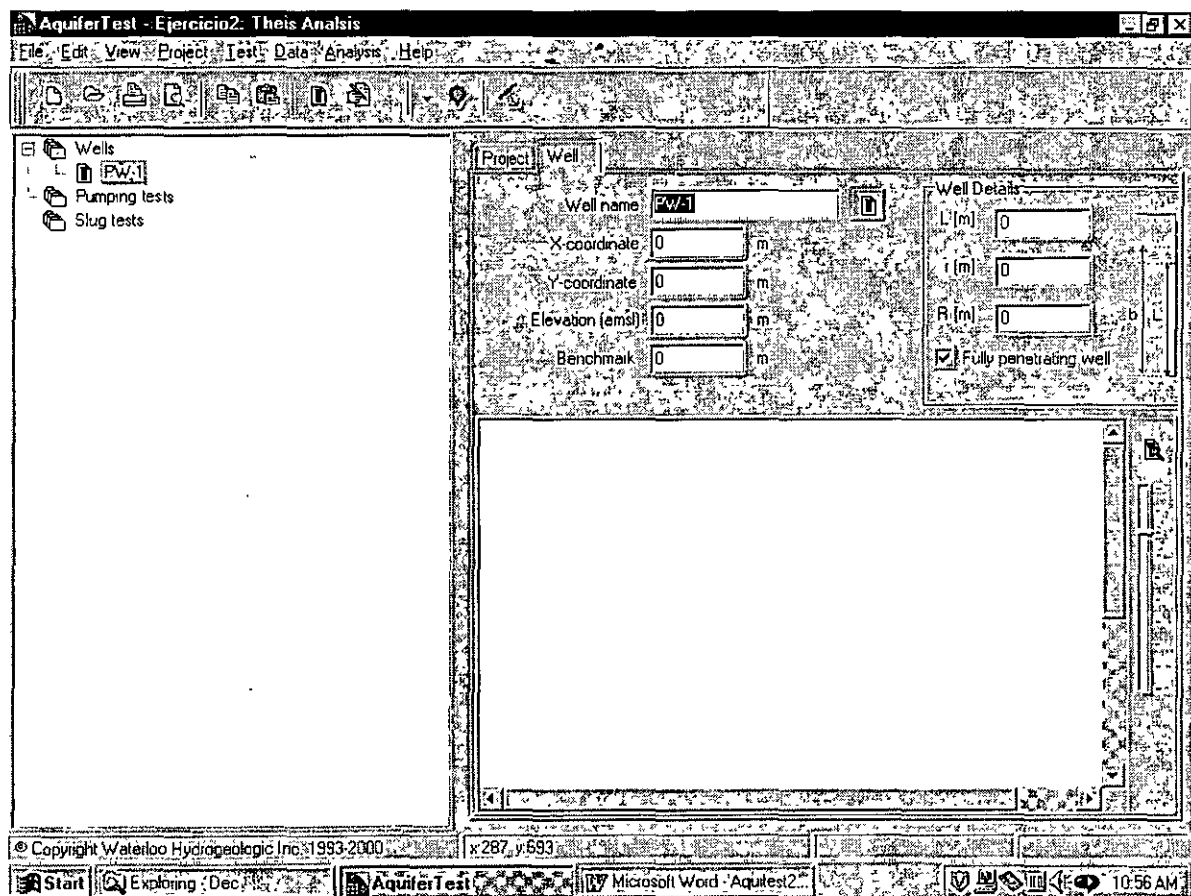
☞ *derecho* en Wells

☞ New Well (del menu que aparece)

Nombrar al pozo PW-1 (Well name)

☞ OK

aparecerá la siguiente pantalla:



Nuevamente

☞ Wells (del menú izquierdo)

☞ *derecho* Wells

☞ New Well (del menu que aparece)

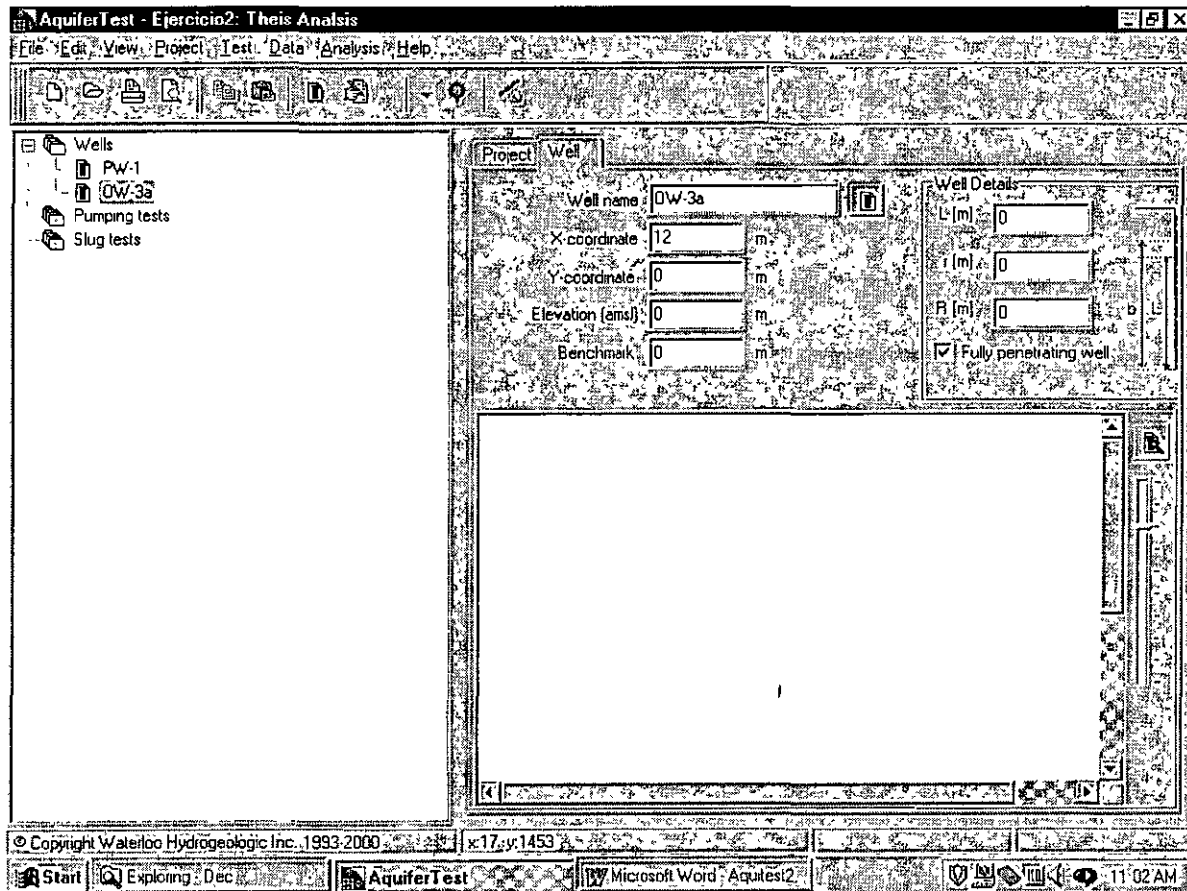
Nombrar al pozo OW-3a (Well name)

☞ OK

agregar en:

X coordinate: 12 (metres)

(El pozo PW-1 sera el pozo de bombeo, y el OW-3a el pozo de observación)



4. CREAR UNA PRUEBA DE BOMBEO

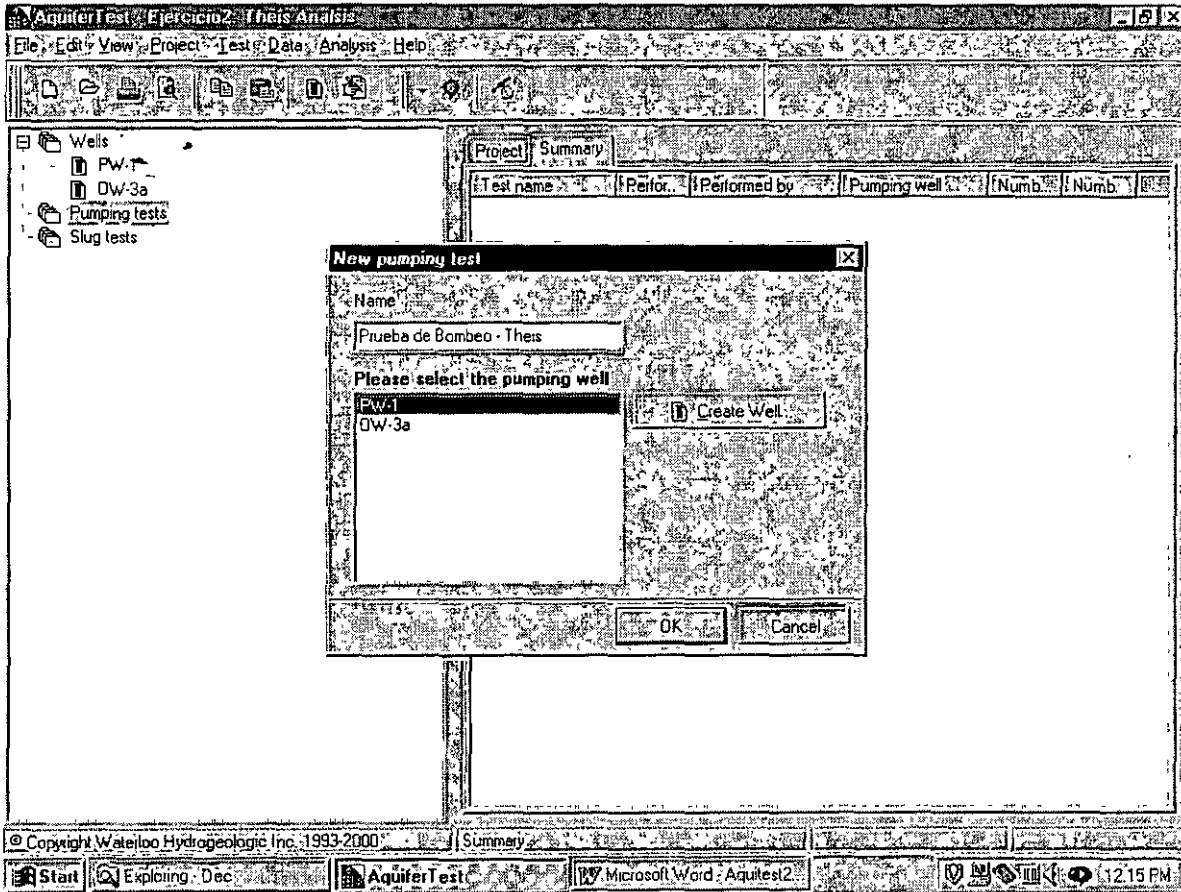
☞ Test (del menú superior)

☞ Create pumping test...

En el nombre de la prueba (name) escribir: Prueba de Bombeo – Theis

☞ PW-1 (para seleccionarlo)

☞ OK



Llene la forma con la siguiente información:

Pumping Test name: Prueba de Bombeo – Theis (ya debe de estar automáticamente)

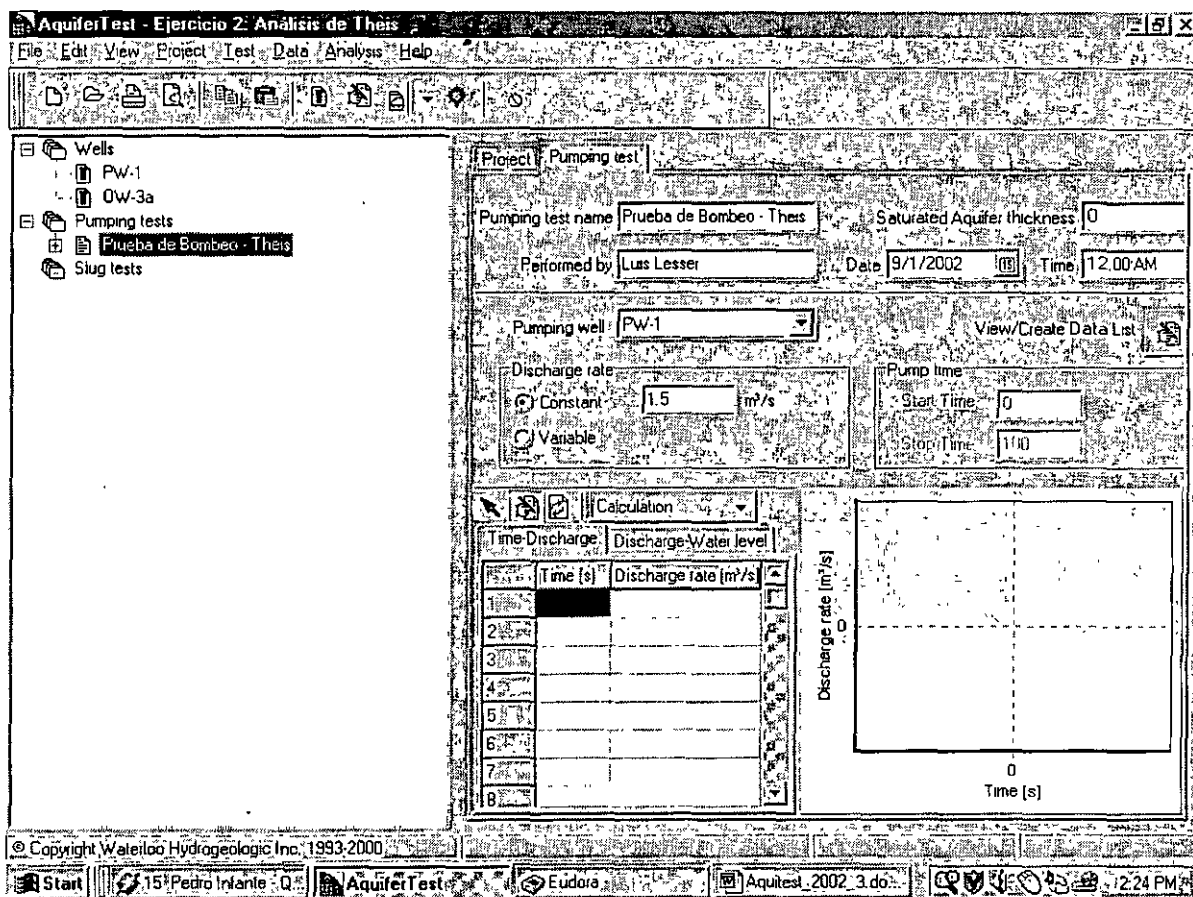
Perfomed by: <Escriba su nombre>

Date: <Escriba la fecha de la prueba de bombeo>

Time: <Escriba la hora de inicio de la prueba de bombeo>

Pumping well: Asegurese de que el pozo PW-1 esté seleccionado

Discharge rate: seleccione **constant**, $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$



5. CREAR UN NUEVO GRUPO DE DATOS

☞☞ Prueba de Bombeo – Theis (menú izquierdo)

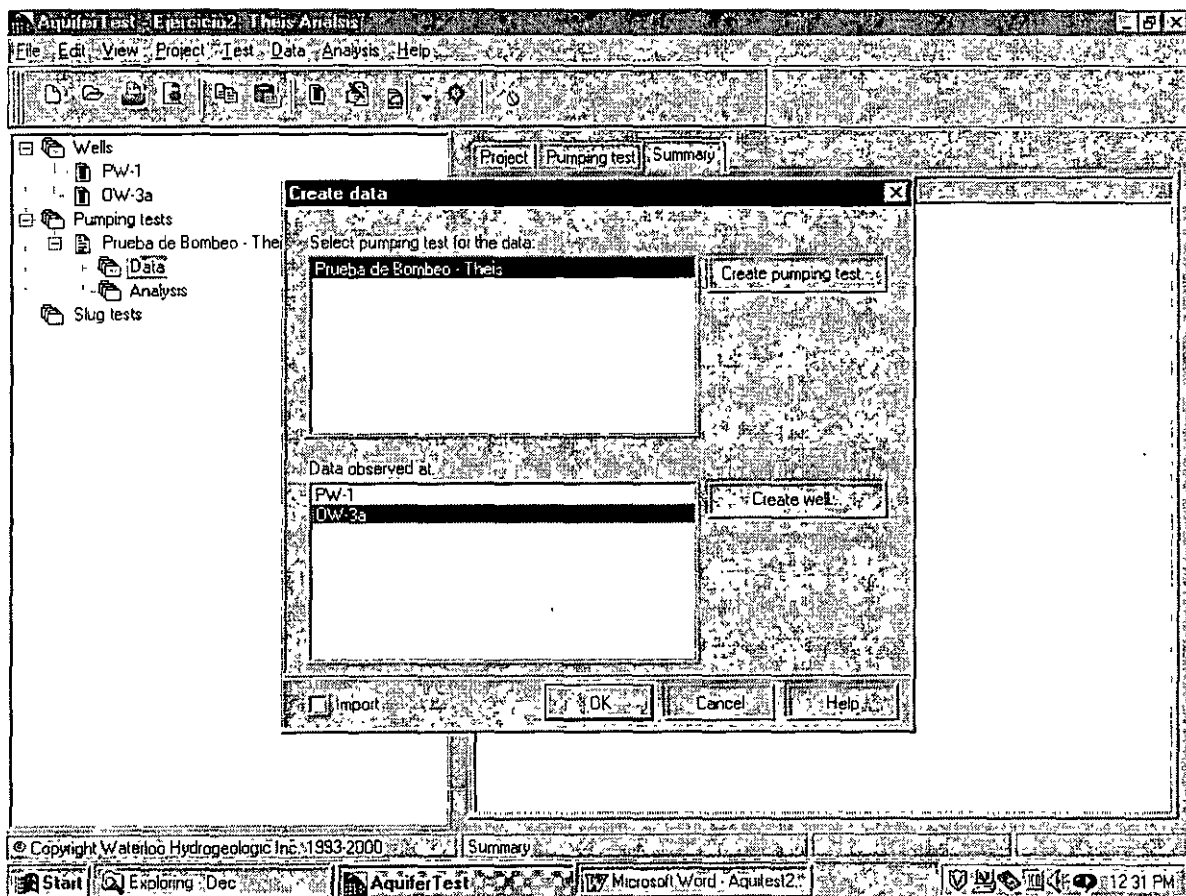
☞ data

☞ *derecho* data

☞ Create Datalist... (del menú que aparece)

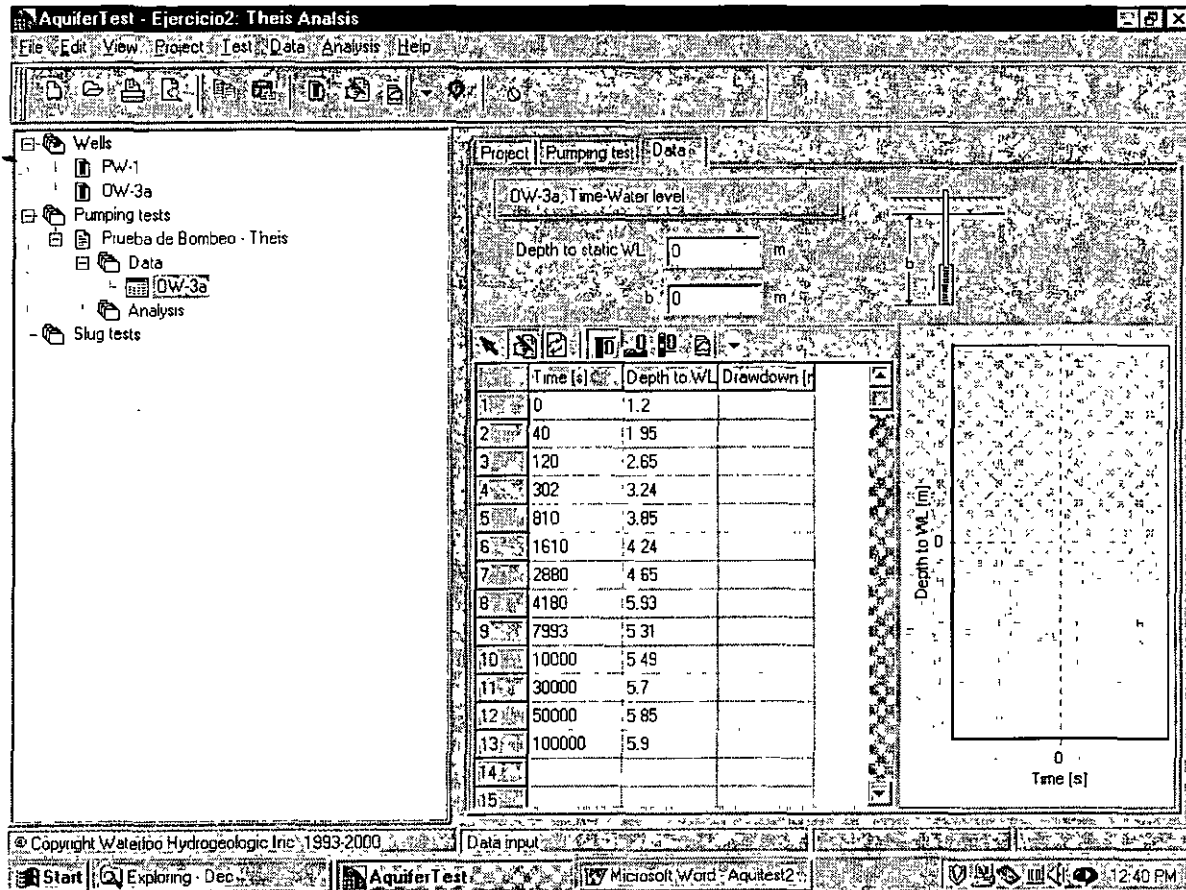
☞ OW-3a (en el cuadro inferior)

☞ OK



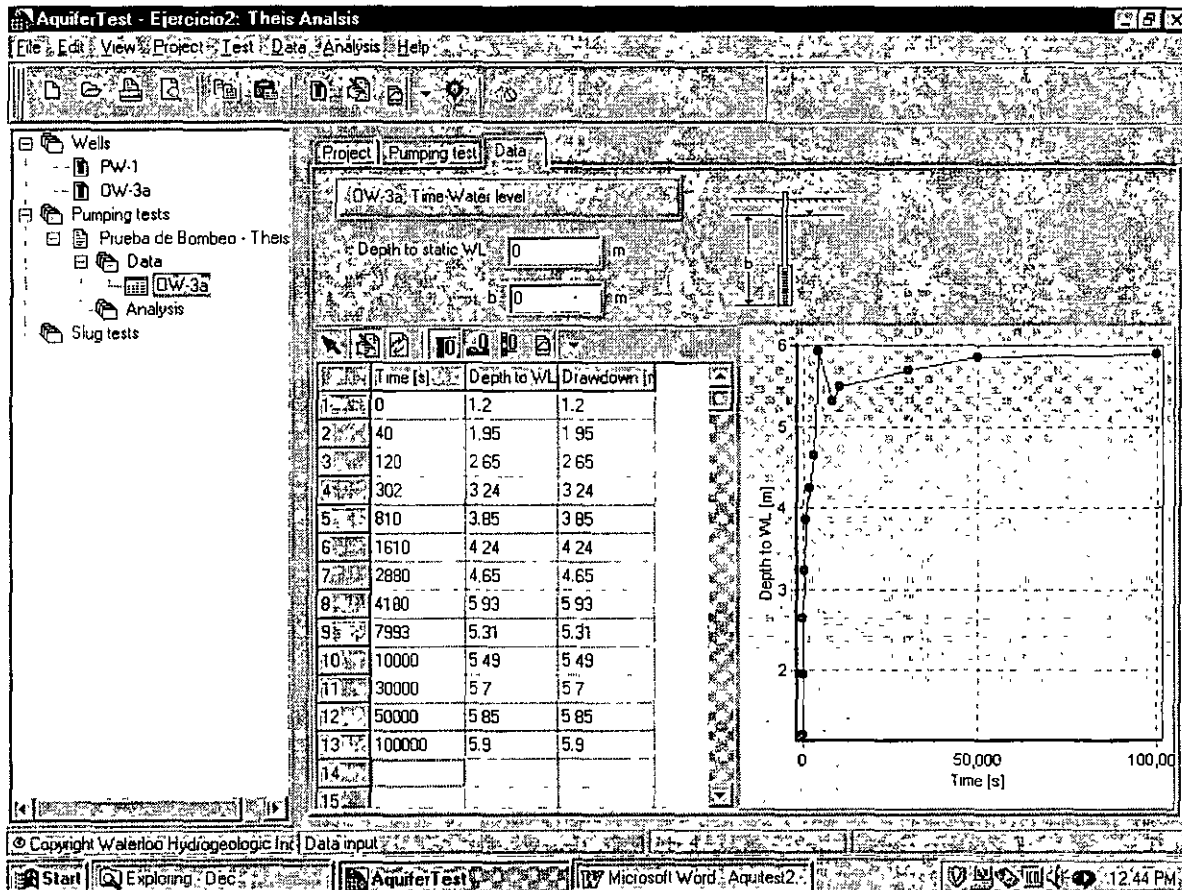
Llenar con la información que aparece en la siguiente figura. Se puede utilizar <enter> para pasar al siguiente espacio de información.

Nótese que estos valores son profundidades al nivel estático, que es el valor que generalmente se obtiene en campo en las pruebas de bombeo.



- ☞ derecho en cualquier lugar de la tabla
- ☞ Refresh graph (hasta abajo del menú que aparece)


La siguiente gráfica aparecerá





Esto también se puede hacer presionando la tecla F5, o el ícono de **Refresh graph** que está arriba de la tabla. Busque cual es el ícono moviendo el mouse por los diferentes íconos en la parte superior de la gráfica y leyendo le función que aparece, *sin presionar el mouse*.


También, para poder apreciar la gráfica mejor, se puede colocar el mouse entre el menú izquierdo y la porción de los datos y mover la separación cuando el símbolo del mouse se convierta en \leftrightarrow . Asimismo se puede ampliar el tamaño de la gráfica con respecto a la tabla con el mismo procedimiento.


6. MODIFICANDO UN GRUPO DE DATOS

De la gráfica se puede apreciar que un valor parece estar mal, de los íconos que están arriba de la tabla,  en la flecha (**select measurement values**).

En la tabla de valores,  en el valor con tiempo de 4180 segundos.

 derecho en el valor.


 Delete (del menú que aparece)

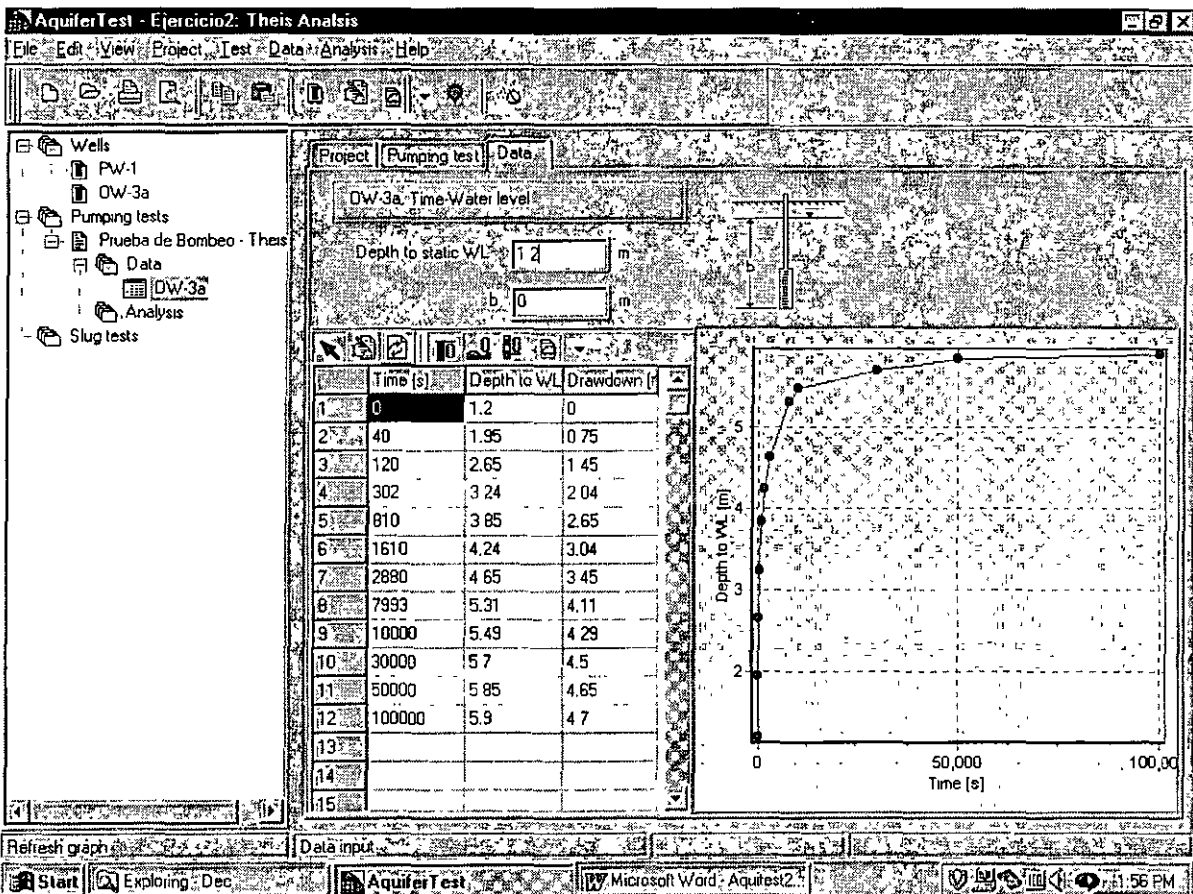
 Yes (para confirmar)

La gráfica se modificará automáticamente.

Ahora agregaremos el nivel estático al inicio de la prueba de bombeo.

En **Depth to Static WL** (arriba de la tabla) escriba 1.2 (metros).

Nuevamente haga un **refresh graph** con el ícono  o con F5, y obtendrá una figura como la siguiente. Nótese, que los abatimientos han sido corregidos tomando en cuenta el nuevo nivel estático.



7. CREAR UN NUEVO ANALISIS

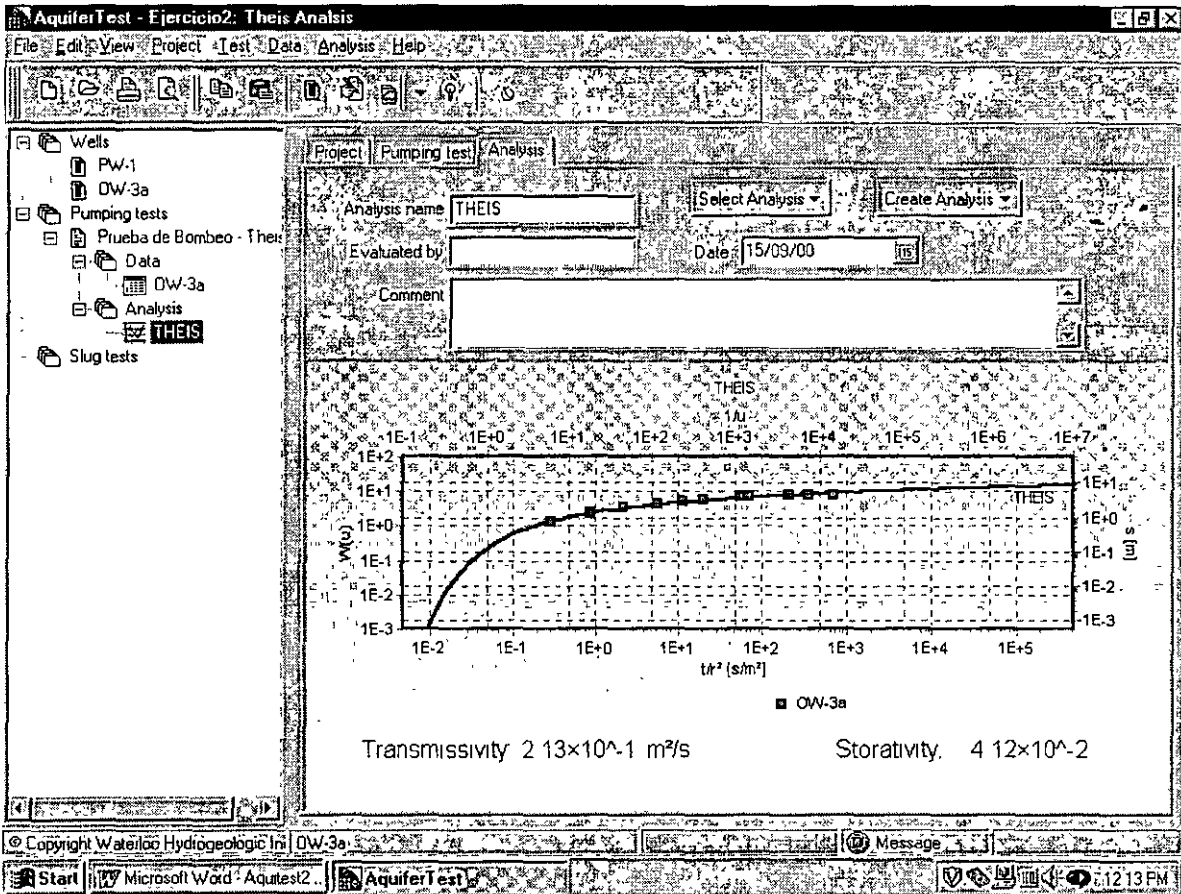
En el menú izquierdo, dentro de Prueba de bombeo – Theis, seleccionar:

☞ analysis

☞ derecho en analysis

en Create Analysis, ☞ en Theis

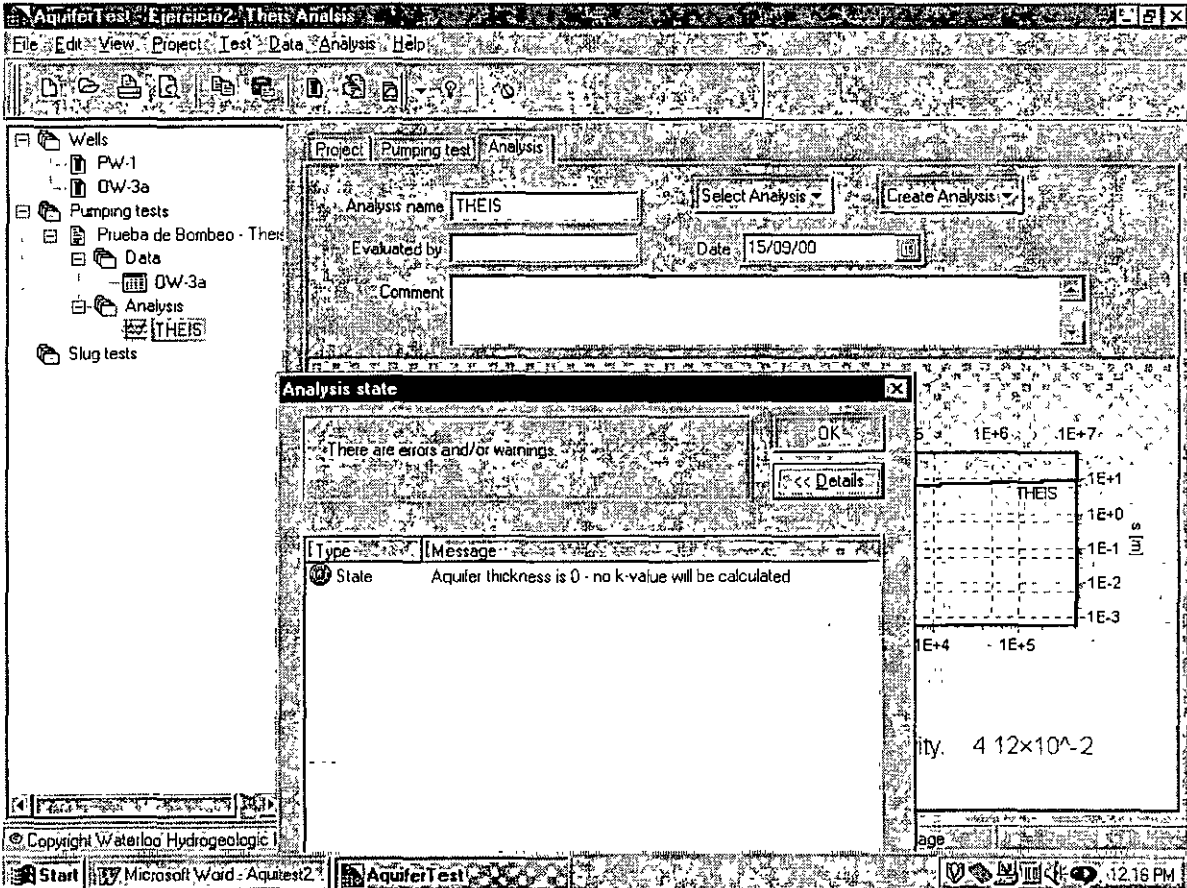
aparecera la siguiente gráfica:



Nótese que la leyenda aparece del lado dercho, para que aparezca en la parte de abajo haga un ☞ derecho en cualquier lugar de la gráfica, ☞ properties del menú que aparece y en Legend, seleccionar Bottom , y ☞ OK.

Nótese también en la parte inferior aparece la palabra “message”

☺ en el círculo verde, y ☺ en details:



Este mensaje nos informa que no hemos dado un espesor del acuífero y por lo tanto no se calcula la conductividad hidráulica (K) sino únicamente la transmisibilidad (T).


Recuérdese que $K=T/b$, donde b es el espesor del acuífero.

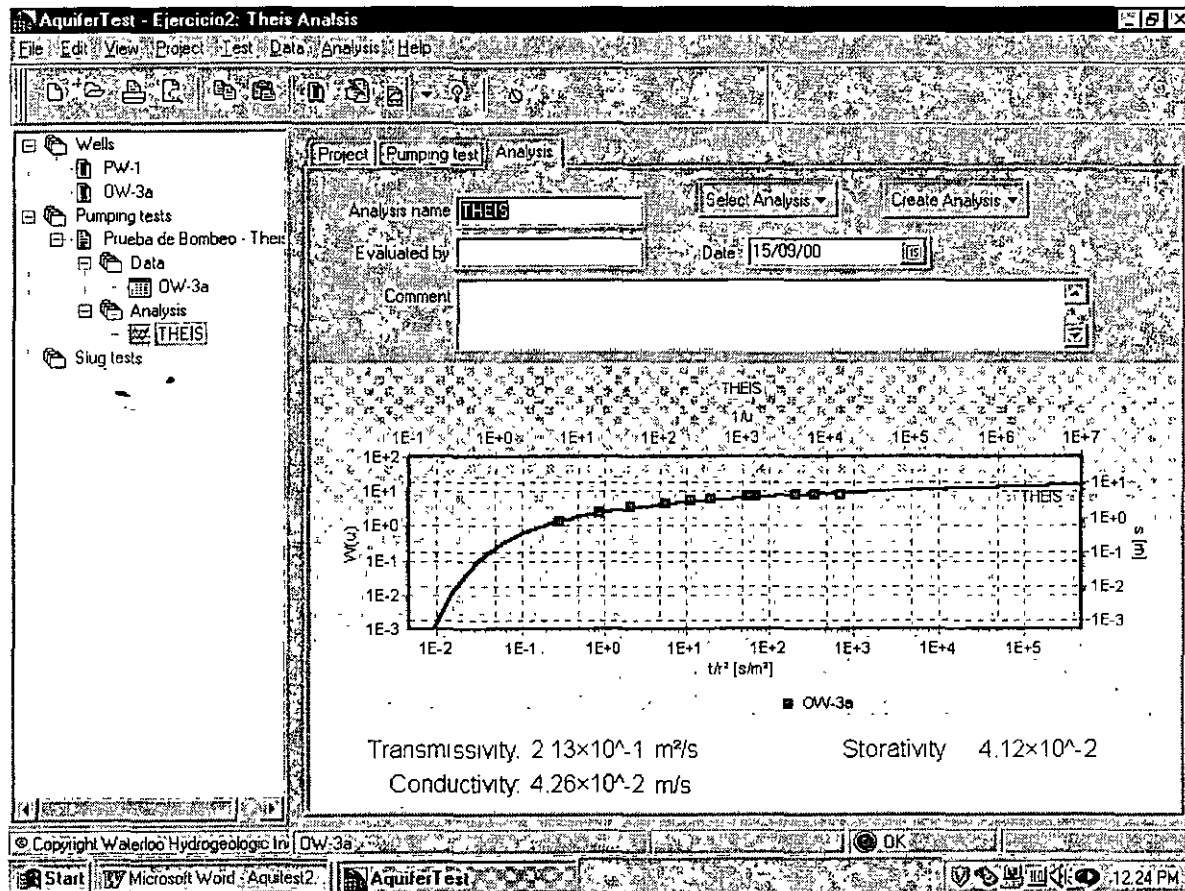
☺ OK

En las pestañas en la porción superior derecha de la pantalla seleccionar:

☺ en **Pumping test**

En **Saturated aquifer thickness**, escribir: 5 (metros)

Regresar a la sección de resultados dando un  en la pestaña de **Analysis**. Esta vez verá calculada una conductividad hidráulica (approx. 4.3×10^{-2} m/s), como se ve en la siguiente gráfica:



Nótese que ahora en la sección de mensajes dice: OK. Existen 4 mensajes que Aquifer Test puede dar:

Error (color rojo)

Warning (color amarillo)


Message (color verde)

O.K. (color verde fuerte)

Por los general los errores son producidos por falta de información en algún menú.

La gráfica puede agrandarse con <CTRL-E> o por medio del menú superior:

 View

 Enlarge graph (y de la misma manera se puede regresar a la pantalla normal)

Aquifer test produce una estimación de la mejor curva de Theis para los datos basado en un método de cuadrados mínimos (least squares fit).

Los resultados obtenidos deben ser aprosimadamente:

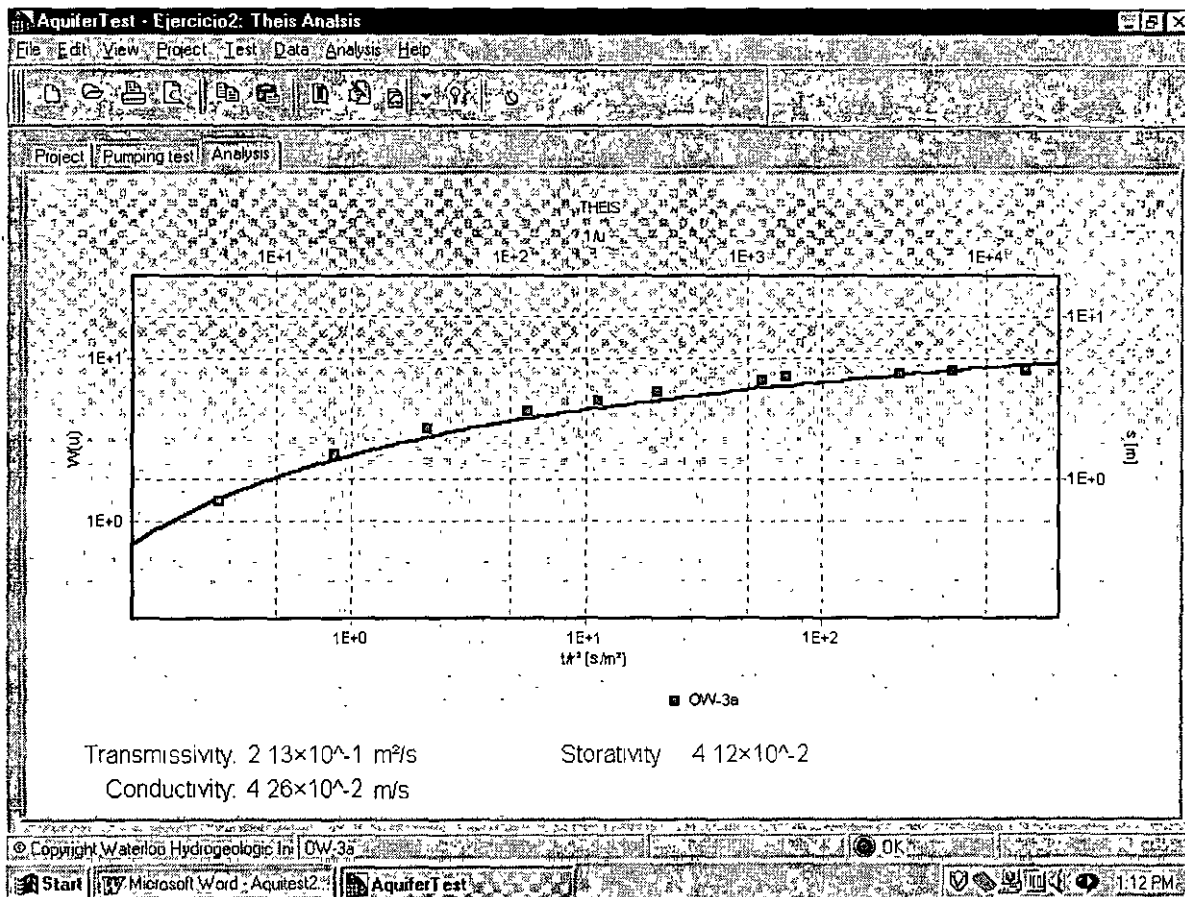
Transmisibilidad (transmissivity): $2.13 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$

Coefficiente de almacenamiento (Storativity): 4.12×10^{-2}

Conductividad hidráulica (Hydraulic conductivity): $4.26 \times 10^{-2} \text{ m/s}$

8. ZOOM

Para hacer un zoom dentro de la gráfica se necesita posicionar el mouse en la esquina superior izquierda del area en que se quiera el zoom, Ⓜ y *sin soltar el botón* colocarse en la esquina inferior derecha de la que se quiere hacer el zoom. Haga un zoom en la porción de los datos como se ve en la siguiente grafica.



Para ver nuevamente todos los datos hacer $\sqrt{\text{U}}$ en cualquier lugar de la gráfica, y *sin soltar el botón* moverlo tratando de hacer un recuadro hacia arriba y a la izquierda, al soltarlo, se mostrarán nuevamente la gráfica completa.

9. AJUSTE DE DATOS “A MANO”

Por lo general es necesario ajustar los datos a la curva de Theis “a mano” tomando en cuenta el juicio profesional. Ya sea por que problemas durante la prueba de bombeo hacen más o menos válida cierta porción de los datos, o por que sencillamente, la calibración automática no parece ser la mejor para los datos obtenidos.

Los datos se pueden mover de arriba abajo y derecha a izquierda utilizando las flechas del teclado. Trate de mover los datos. Nótese que al mover la gráfica a la izquierda o dercha, únicamente se modifica el coeficiente de almacenamiento.

Presione <CTRL-E> para regresar a una vista normal.

10. OTROS ANALISIS

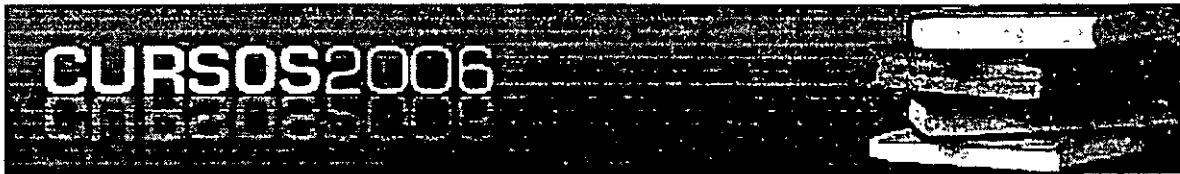
Aquifer test permite visualizar otro tipo de soluciones fácilmente.

$\sqrt{\text{U}}$ Select analysis (arriba de la gráfica)

Aquí aparecen otros métodos de interpretación de pruebas de bombeo. Intente algún otro método y analise los resultados.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



CURSOS ABIERTOS

**RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS**

CA 157

TEMA

HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS NATURALES

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL SOBRE
CONTAMINACIÓN Y RESTAURACIÓN DE
SUELOS Y ACUÍFEROS**

HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS NATURALES

POR: Ing. Juan Manuel Lesser Illades

CONTENIDO

Capítulo 1.- Introducción

Capítulo 2.- Generalidades

- 2.1.- El ciclo hidrológico
- 2.2.- Balance del agua dentro del ciclo hidrológico
- 2.3.- Química del agua del ciclo hidrológico

Capítulo.3.- Método de trabajo en la interpretación hidrogeoquímica

- 3.1.- Selección y muestreo del agua subterránea
- 3.2.- Análisis fisico-químicos
- 3.3.- Unidades usadas para reportar los análisis químicos
- 3.4.- Elaboración de tablas, planos y diagramas e interpretación de los mismos

Capítulo 4.- Grado de saturación del agua con respecto a los minerales más comunes

- 4.1.- Metodología

Capítulo 5.- Intrusión salina en acuíferos costeros

- 5.1.- Características físicas de la intrusión salina
- 5.2.- Principio de gyben-herzberg
- 5.3.- Mecanismo de la intrusión salina
- 5.4.- Métodos de control de la intrusión salina

Capítulo 6.- Calidad del agua

- 6.1.- Agua potable
- 6.2.- Agua para riego
- 6.3.- Agua para abrevadero
- 6.4.- Agua para la industria

Capítulo 7.- Significado de algunas propiedades físicas y químicas del agua

Capítulo 8.- Trazadores de agua subterránea

- 8.1.- Resumen
- 8.2.- Introducción
- 8.3.- Fluroesceinas
- 8.4.- Sales
- 8.5.- Esporas

Capítulo 9.- Isotopos ambientales en la geohidrología

- 9.1.- Definición y origen
- 9.2.- Unidades y método de análisis
- 9.3.- Recta meteórica mundial y local
- 9.4.- Procesos que modifican la composición del agua subterránea
- 9.5.- Método general de interpretación
- 9.6.- Tritio

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

La interpretación geoquímica del agua subterránea, se utiliza junto con la geología, hidrología y geofísica, como un auxiliar para conocer y entender en una forma más completa, el funcionamiento de los acuíferos y la planeación de una mejor y más racional explotación.

Para efectuar la interpretación geoquímica, se toma en cuenta que, el agua que forma los acuíferos, proviene principalmente de la lluvia, donde parte de ésta, al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas rocas, disolviendo las sales minerales que las forman y produciendo cambios en su composición. La química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afecten la solubilidad, como son: las temperaturas del agua y las rocas, el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua y otros factores.

Por lo tanto, la composición del agua está en íntima relación con el funcionamiento general del acuífero. Es por ello que, a partir de su composición química, se puede obtener la dirección del movimiento del agua subterránea, la localización de las zonas de recarga del acuífero, los tipos de roca a través de las cuales circula, así como algunas características físicas del acuífero y la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales.

A lo largo de las líneas de costa, en las planicies costeras, el agua de los acuíferos se encuentra en contacto sobre el agua de mar, debido a la diferencia de densidades de éstas. El contacto entre estas dos masas de agua se encuentra en equilibrio y, las modificaciones producidas en las condiciones originales del acuífero, originan cambios en la posición de dicho contacto. Al explotar los acuíferos costeros, se rompe este equilibrio, produciendo una intrusión de agua de mar, dentro del acuífero. Debido a las diferencias en concentración y composición química existente entre el agua de mar y el agua dulce, los métodos geoquímicos ayudan a conocer la posición y velocidad de avance de la intrusión salina.

En las muestras de agua, obtenidas tanto en pozos como en norias, galerías filtrantes y manantiales, se determinan los sólidos totales disueltos, la conductividad eléctrica, la dureza total y las concentraciones de los iones siguientes: Ca, Mg, Fe, Mn, Na, SO₄, Cl, HCO₃, NO₂ y NO₃, principalmente.

Se elaboraran configuraciones de los índices más representativos, obteniéndose, a partir de ellas, las zonas de recarga, las cuales coinciden con los lugares donde se encuentran las menores de sales. Se obtiene también, la dirección del flujo del agua subterránea, debido a que ésta va disolviendo mayor cantidad de sales conforme avanza. Así, también se pueden determinar las zonas con mayor o menor permeabilidad, ya que éstas afectarán, en mayor o menor grado, la composición y concentración de sales en el agua.

A partir de la composición química del agua, se deduce el tipo de roca que forma el acuífero; así, el agua que circula a través de rocas calizas, tendrá en solución abundante calcio y carbonatos, en contrastes con agua que circula a través de rocas yesíferas, la cual tendrá disueltos iones de calcio y sulfatos.

Para obtener la calidad del agua para uso doméstico, se comparan los resultados de los análisis químicos, con los límites máximos permisibles ya establecidos, obteniéndose, rápida y directamente, la clase de agua para este uso.

Con respecto a la clase de agua para riego, se utiliza la clasificación de Wilcox, a partir de la cual y por medio de las concentraciones de sodio, magnesio, calcio y la conductividad eléctrica, se conoce la clase de agua para riego a que pertenece cada muestra analizada, así como las recomendaciones relativas al tipo de suelo en que debe usarse, las prácticas del control de la salinidad y los tipos de cultivos más adecuados.

Para la industria, el agua se puede clasificar inicialmente por su dureza, Posteriormente, dependiendo del tipo de industria, el agua deberá cumplir ciertos requisitos establecidos.

REFERENCIAS

Drever, J. K. 1988. The Geochemistry of Natural Water, Second Edition. Prentice Hall, 473 p.

Hem, John. (1985) Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply paper 2254.

CAPÍTULO 2.- GENERALIDADES

2.1. EL CICLO HIDROLÓGICO

Como es sabido, el agua de lluvia que se precipita sobre los continentes, tiene tres caminos por seguir; 1) evaporarse para formar las nubes; 2) escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten sus aguas al mar y; 3) infiltrarse en el subsuelo para formar acuíferos. Esta agua infiltrada, posteriormente es drenada por corrientes superficiales o aflora en forma de manantiales para evaporarse o seguir su camino hacia el mar.

2.2.- BALANCE DEL AGUA DENTRO DEL CICLO HIDROLÓGICO

Del 100% del agua que se evapora, para incorporarse a la atmósfera en forma de nubes, el 86% proviene del mar y el 14% restante, de los continentes. Del 86% que se evapora en los océanos, el 78% se precipita en el mar y el 8% en los continentes. (fig. 2.1). El otro 14% de evaporación, se precipita sobre los continentes, haciendo un total de 22% de precipitación sobre éstos. De este 22%, se evapora el 14%, escurre hacia el mar en forma de corrientes superficiales el 7%, y el 1% restante se infiltra en el subsuelo y en forma de agua subterránea, es incorporada al mar.

El agua subterránea que forma los acuíferos proviene principalmente de la lluvia, donde parte de ésta al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. El agua infiltrada, en ocasiones, pasa por zonas cercanas a cámaras magmáticas o puede permanecer atrapada entre sedimentos en forma de agua fósil.

Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas formaciones geológicas, disolviendo las sales minerales que forman las rocas y produciendo cambios en su composición. Por lo tanto, la composición química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afecten la solubilidad, como son: las temperaturas del agua y las rocas; el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua y otros factores.

2.3.- QUÍMICA DEL AGUA DEL CICLO HIDROLÓGICO

a).- Composición del agua de lluvia.- Al precipitarse hacia la corteza terrestre, arrastra diferentes materiales finos, que se encuentran en suspensión en la atmósfera y que, en muchos casos, son transportados por el viento. (figura 2.2.)

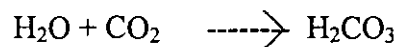
La composición química general del agua de lluvia, según Garrels y Mackenzie (1971), es la siguiente:

Na	1.98 ppm	Ca	0.09	HCO ₃	0.12
K	0.30	Cl	3.79		
Mg	0.27	SO ₄	0.58		

La concentración de elementos disueltos en la lluvia en diferentes lugares, es variable: por ejemplo, el contenido de cloro y sodio, en la precipitación que se lleva a cabo en algunas zonas costeras, es mayor de 2 y 1 ppm respectivamente, mientras que en los continentes es menor de 0.3 y 0.2 ppm, respectivamente.

Debido a la baja concentración de sales en el agua de lluvia, ésta se considera como "agua pura" y las variantes existentes entre la composición y concentración de un lugar a otro, no son de importancia en la interpretación hidrogeoquímica, salvo lugares excepcionales, donde corrientes de aire levantan una gran cantidad de partículas que posteriormente son arrastradas por la lluvia.

Al precipitarse, las moléculas de agua incorporan bióxidos de carbono de la atmósfera, formando ácido carbónico como se ilustra en la siguiente reacción.



Este ácido, tiene un gran poder de disolución y es el principal agente de ataque del agua sobre las rocas.

b).- Composición del agua de ríos.- Las corrientes superficiales, que en la mayoría de los casos son la causa inmediata de la lluvia, tienen contacto con los materiales que forman los cauces, así como con los fragmentos de roca transportados por la corriente.

Al contacto con dichos materiales, el agua los ataca y disuelve, llegando a tener una composición dependiente del tipo de materiales con los que se tiene contacto.

La composición promedio del agua de ríos, según Livingstone (1963), es la siguiente:

Cl	7.8 ppm	Ca	15.0	Al	0.01
Na	6.3	HCO ₃	58.4	S.T.D.	129.5
Mg	4.1	SiO ₂	13.1		
SO ₄	11.2	NO ₃	1.0		
K	2.3	Fe ⁺⁺	0.67		

c).- Composición del agua de mar.- Los océanos constituyen los mayores depósitos de agua en el mundo, y se caracterizan por tener una gran cantidad de sales disueltas. Estas sales son producto de la erosión química efectuada por el agua durante el ciclo hidrológico, desde la formación de la tierra, hasta nuestra época.

Originalmente, los océanos se formaron por condensación de vapor de agua, la cual se acumuló en las partes bajas de la tierra. Se inició el ciclo hidrológico y esta agua empezó a disolver los minerales que formaban las rocas, conduciendo las sales, producto de erosión química, hacia las cuencas oceánicas. Continuó el ciclo hidrológico y con él, el aumento de sales en el agua de mar.

La composición química del agua de mar, de acuerdo con Goldberg (1957), es:

Cl	19,000 ppm	Ca	400
Na	10,500	HCO ₃	140
Mg	1,300	SiO ₂	6
SO ₄	2,650	S.T.D.	34,467
K	380		

d).- Composición subterránea.- La composición química del agua subterránea dependerá del tipo de roca, a través de la cual circula y de otros muchos factores complejos. (figuras 2.3 y 2.4).

Así, tenemos que un agua que circula a través de rocas calizas, tendrá principalmente iones de calcio, carbonatos y bicarbonatos. Si circula por yesos y anhidritas, tendrá una gran cantidad de sólidos disueltos, debido a la fácil disolución de estas rocas, predominando la presencia de iones de calcio y sulfatos. El agua que circula a través de basaltos, tendrá pocos sólidos disueltos, debido a que esa roca es de difícil disolución; además tendrá aproximadamente, la misma cantidad de calcio, magnesio y sodio.

REFERENCIAS

- Custodio, E. y Llamas, M. R. 1976. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, Barcelona, España.
- Drever, J. I. 1988. The Geochemistry of Natural Water, Second Edition Prentice Hall. 437 p.
- Fairbridge, R. W "Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Science".
- Garrels and Mackenzie, 1971. "Evolution of the Sedimentary Rocks".
- Hem, John. (1985) Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply paper 2254.

CAPITULO 3.- MÉTODO DE TRABAJO EN LA INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

Para llevar a cabo una interpretación hidrogeoquímica, se procede de la siguiente manera (figura 3.1).

3.1.- SELECCIÓN Y MUESTREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Se efectúa una selección de aprovechamientos, tomando en cuenta una distribución espacial, que dependerá de las circunstancias, así como el tipo de aprovechamiento ya sea pozo, noria, manantial, galería, etc, ya que en ocasiones, los diferentes tipos de aprovechamientos, corresponden a sistemas acuíferos diferentes.

El muestreo se debe efectuar usando frascos de polietileno de un litro de capacidad, con doble tapa. Los frascos deben llenarse totalmente para evitar la gasificación de algunos componentes que podría provocar reacciones químicas y alterar la composición de la muestra que es representativa de enormes volúmenes de agua.

Al obtener la muestra en el campo, se deben tomar datos relativos a la localización y características del aprovechamiento, así como la temperatura ambiente, la temperatura del agua al momento del muestreo, el pH y la resistividad eléctrica del agua.

3.2.- ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Una vez obtenidas las muestras, se remiten al laboratorio en donde se efectúan los análisis fisicoquímicos, determinándose las concentraciones de los principales cationes (Ca, Mg, Na, K), aniones (HCO_3 , Cl, SO_4) lo sólidos totales disueltos y, dependiendo del tipo de terreno, se sugiere la determinación de otros índices, por ejemplo, para un terreno con trazas de termalismo, sería conveniente la determinación de litio y boro, así para otros casos, se requeriría determinar FeO, MnO, SiO_2 , F, etc.

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.- Los sólidos totales disueltos representan el residuo que queda al evaporar cierta cantidad del agua. No son representativas de la suma de las concentraciones de los diferentes elementos analizados, ya que, durante la evaporación en el laboratorio, los sólidos volátiles se pierden y los bicarbonatos se convierten en carbonatos. También quedan retenidas cierta cantidad de agua, de cristalización que no alcanza a evaporarse. Por lo tanto, el valor de los sólidos totales disueltos, sólo proporciona un índice del ataque del agua sobre las formaciones geológicas y de la solubilidad y facilidad de remoción de las sales del subsuelo.

3.3.- UNIDADES USADAS PARA REPORTAR LOS ANÁLISIS QUÍMICOS

Las unidades más comunes, en las que se reportan los análisis químicos efectuados a muestras de agua, son: partes por millón y miliequivalentes por litro.

Las “partes por millón”, son unidades de peso por peso, que equivalen un miligramo de soluto, por un kilogramo de solución. La unidad de peso por volumen, se tiene al asumir

que un litro de solución, pesa un kilogramo; entonces, tenemos que una “parte por millón”, es igual a un “miligramo por litro”.

Debido a que las unidades anteriores están dadas en peso, no hay equivalencia entre iones de diferente especie, o sea, que no se pueden mezclar, debido a que tienen diferente peso molecular y carga eléctrica. Por lo tanto, para efectuar correlaciones entre ellos, se utilizan unidades equivalentes. La unidad más usada es el “miliequivalente por litro”, la cual se obtiene multiplicando los “miligramos por litro” por C/PA donde C es la carga del ion y PA es el peso atómico.

Otra unidad conocida y usada en química, es “moles por litro”, siendo una mole, el peso atómico de una sustancia en gramos.

Las abreviaciones usadas en las unidades mencionadas, son las siguientes:

ppm	parte por millón
mg/l	miligramos por litro
me/l	miliequivalentes por litro
mol/l	moles por litro

3.4.- ELABORACIÓN DE TABLAS, PLANOS Y DIAGRAMAS E INTERPRETACIÓN DE LOS MISMOS.

- a).- Tablas resumen- Para controlar y tener una idea en conjunto de la composición, concentración y calidad del agua, se recomienda elaborar tablas en las cuales se resume toda la información obtenida.
- b).- Configuraciones.- Con el objeto de tener una distribución espacial de la calidad del agua y con ella determinar cualitativamente las zonas de recarga, la dirección del flujo del agua subterránea, así como tener idea de algunas propiedades físicas del acuífero, se elaboran configuraciones de las determinaciones efectuadas.

En la figura 3.2 se muestra un corte geológico ilustrativo, que relaciona la zona de recarga y la dirección del movimiento del agua subterránea, con la concentración y composición química del agua.

- c).- Diagramas triangulares.- Con el objeto de obtener, en forma rápida e ilustrativa, los diferentes tipos o familias de agua, de acuerdo al catión y anión predominante, se forman diagramas triangulares como el que se muestra en la figura 3.3. En el triángulo de la izquierda de este diagrama se grafican, en porcentaje de me/l, los principales cationes y, en el triángulo de la derecha también en las mismas unidades, los principales aniones. En los vértices de estos triángulos se definen aguas cálcicas, magnesianas, bicarbonatadas, etc., si las muestras se encuentran localizadas en los vértices con los porcentajes mayores al 50% de calcio, magnesio, bicarbonato, etc., respectivamente. Se define como agua mixta, la que se grafica al centro del triángulo, por no existir un ion que predomine.

En la figura 3.3 se graficaron muestras de agua tipo sódico-clorurada, mixta-mixta y cálcico-bicarbonatada.

- d).- Resistividades y sólidos totales disueltos.- La resistividad es una medida indirecta de los sólidos totales disueltos (S.T.D.) que contienen el agua, ya que sus valores son inversamente proporcionales a éstos últimos. Tomando en cuenta esta característica, se forma una gráfica (fig. 3.4) con la cual, se pueden calcular resistividades a partir de sólidos totales disueltos, o viceversa. Los sólidos totales disueltos calculados, en algunos casos, ayudan a complementar la información de configuraciones de una forma rápida y económica. Las resistividades calculadas, se pueden utilizar para hacer correlaciones con geofísica.

Existen otros tipos de clasificación y representación de análisis químicos, como las de Stiff Shoeller, Wilcox, etc.

REFERENCIAS

Freeze, A. and Cherry, J. 1979. Groundwater, Prentice Hall. 604 p.

Hem, John. (1985) Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply paper 2254.

Piper, A.M., 1944. "A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses". Am. Geophys. Union Trans.

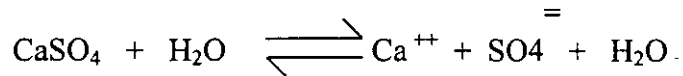
CAPITULO 4.- GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA: RESPECTO A LOS MINERALES MÁS COMUNES

Cuando algunas muestras presentaron altas concentraciones de sólidos totales, se procede a hacer un análisis del grado de saturación del agua con respecto a los minerales más comunes; yeso $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Calcita CaCO_3 ; dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

4.1.- METODOLOGÍA

Para obtener el grado de saturación de una sal en el agua, se obtiene la constante de actividad iónica (K_{ai}) y se compara con la constante de equilibrio (K_e). Para valores de (K_{ai}) mayores que (K_e), la muestra se encuentra sobresaturada y para valores de (K_{ai}) menores que (K_e), la muestra no se encuentra sobresaturada.

En el caso del yeso, este se disocia según la siguiente reacción:



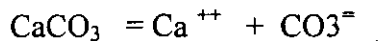
Aplicando la ley de Acción de Masas, obtenemos que la constante de actividad iónica es igual a las actividades de los productos entre los reactantes, o sea:

Donde los paréntesis indican la actividad iónica del ion que encierra.

La actividad de los compuestos, es igual a 1.- por lo tanto:

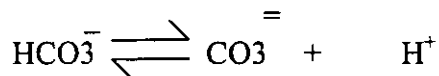
$$K_{ai} = [\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^-] \text{-----}(1)$$

De manera similar para la calcita se tiene:



$$K_{ai} = [\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^-] \text{-----}(2)$$

Debido a que los análisis no reportan carbonato, ($\text{CO}_3^{=}$), se utilizó la determinación de bicarboato (HCO_3^-), sustituyendo la fórmula (2) de la siguiente manera:



$$K_{ai} = \frac{[\text{CO}_3^{=}] [\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} = 10^{-10.33}$$

Despejando:

$$[\text{CO}_3] = \frac{[\text{HCO}_3] \cdot 10^{-10.33}}{[\text{H}^+]}$$

Sustituyendo en la ecuación (2):

$$K_{ai} = \frac{[\text{Ca}^{++}] [\text{HCO}_3] \cdot 10^{-10.33}}{[\text{H}^+]} \quad \text{-----(3)}$$

Las actividades iónicas se obtienen multiplicando el coeficiente de actividad iónica de cada elemento, por la concentración en moles por litro (M).

$$\begin{aligned} \text{O sea:} \quad [\text{Ca}^{++}] &= \text{Ca} \cdot M_{\text{Ca}} \\ [\text{SO}_4] &= \text{SO}_4 \cdot M_{\text{SO}_4} \\ [\text{HCO}_3] &= \text{HCO}_3 \cdot M_{\text{HCO}_3} \end{aligned}$$

Las concentraciones en moles por litro (M) se obtienen dividiendo las partes por millón reportadas en los análisis químicos por el peso atómico. El coeficiente de actividad iónica se calculó mediante la fórmula de Debye Huckel.

$$\log a_i = \frac{-A Z_i^2 I}{1 - B a_i I}$$

Donde Z es la carga del ion; A y B son constantes dependientes de la temperatura (en nuestro caso a 25°C, A = 0.5085 y B = 0.3281 x 10⁸; (Klots, 1950); a_i es una constante relacionada con el tamaño y carga del ion (HEM, 1985) I es la fuerza iónica calculada por la fórmula:

$$I = \frac{1}{2} \sum (M \cdot Z^2)$$

Donde M es la concentración de cada ion en moles por litro.

La constante de actividad iónica (K_{ai}), así obtenida, se compara con la constante de equilibrio (K_e), para encontrar el grado de saturación del agua con respecto a yeso y calcita.

Los valores de K_e son: (Garrels y Chist, 1965)

$$\begin{aligned} K_e (\text{calcita}) &= 10^{-8.34} \\ K_e (\text{yeso}) &= 10^{-4.61} \end{aligned}$$

De manera similar, se procede para el cálculo de las constantes de otros minerales.

Ya obtenido el grado de saturación, se delimitan, sobre planos, las áreas sobresaturadas, a partir de las cuales, se deduce la dirección del movimiento del agua subterránea y se explica el comportamiento químico del agua.

En las zonas en donde el agua se encuentra sobresaturada de alguna sal, es de esperarse la precipitación de dicho compuesto y consecuentemente, la incrustación de bombas, tuberías, calderas y demás material que tenga contacto con esta agua. Mientras que las áreas en donde el agua no se encuentre saturada de sales, ésta continuará disolviendo y aumentando su concentración iónica.

REFERENCIAS

Drever, J. I. 1988. The Geochemistry of Natural Water, Second Edition. Prentice Hall. 437 p.

Freeze, A. and Cherry, J. 1979. Groundwater. Prentice Hall. 604 p.

Hem, John. (1985) Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply paper 2254.

Languimir, Donald. (1997). Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice Hall, New Jersey. 437 p.

Stumm, W. and J. Morgan, 1970. "Aquatic Chemistry". an Introduction. Emphatizing Chamental Equilibria in Natural Waters.

CAPÍTULO 5.- LA INTRUSION SALINA EN ACUIFEROS COSTEROS

La explotación de agua subterránea en acuíferos de zonas costeras encara un gran riesgo, denominado “Intrusión Salina”. Muchas zonas costeras son degradadas por este fenómeno, como resultado del exceso de bombeo del agua del acuífero.

Un renglón importante en los acuíferos costeros, es el estudio de la ubicación y velocidad de la intrusión salina. Dentro de estos estudios, es esencial, la determinación de la posición del nivel piezométrico del acuífero y sus fluctuaciones con el tiempo, así como el registro de las variaciones de salinidad en los pozos. Si se cuenta con estos datos puede determinarse la posición y peligrosidad de la intrusión y planear las alternativas más convenientes para su control.

5.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA INTRUSIÓN SALINA

Para que una zona costera se vea afectada por este fenómeno, es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- a) Continuidad hidráulica.- Debe existir continuidad hidráulica en los materiales que forman el acuífero hacia el mar.
- b) Inversión del gradiente.- otra de las condiciones necesarias para que se lleve a cabo la intrusión salina, es la inversión del gradiente hidráulico que en forma natural se establece de la planicie costera hacia el mar para originar un flujo hacia él. Cuando por efecto de bombeo se abate el nivel del acuífero para encontrarse abajo del nivel del mar, se invierte el gradiente hidráulico natural y se ocasiona un flujo de agua del mar hacia el acuífero. En la práctica, la magnitud del gradiente hidráulico se obtiene a partir de la medición de la profundidad al nivel del agua en pozos y norias.

5.2.- PRINCIPIO DE GHYBEN – HERZBERG

A lo largo de las líneas de costa el agua de los acuíferos se encuentra descansando sobre el agua de mar, debido a la diferencia de densidades de éstas. El contacto entre estas dos masas de agua (interfase salina) se encuentra en equilibrio dinámico, por lo cual las modificaciones en las condiciones originales del acuífero, producen cambios en la posición del contacto entre las dos aguas.

La profundidad a la cual se encuentra la interfase fue descrita por Badon Ghyben en 1869, y aplicada a problemas específicos por Bairat Herzberg en 1901.

La teoría se basa en lo siguiente:

El peso de una columna vertical de agua dulce que va desde el nivel piezométrico del acuífero hasta la interfase, se encuentra equilibrada por el peso de una columna de agua de mar que vaya desde el nivel del mar, hasta la interfase. Esto es, el peso de la columna de agua dulce de longitud $h + Z$ es igual al peso de una columna de agua de mar de longitud Z , donde “ h ” es la elevación del nivel estático a partir del nivel del mar y “ Z ” es la profundidad a la interfase, a partir el mismo nivel de referencia.

Si "Dd" y Dm" representan las densidades del agua dulce y de mar respectivamente, la condición para el balance hidrostático se expresa de la siguiente manera:

$$D_m \cdot g \cdot z = D_d \cdot g \cdot (h + z)$$

$$Z = \frac{D_d}{D_m} (h + z)$$

Considerando que las densidades del agua de mar y del agua dulce son 1.025 y 1.000, respectivamente, tenemos que:

$$Z = 40 h$$

O sea que por cada metro que se eleve el nivel piezométrico sobre el nivel del mar, existirán 40 metros de agua dulce bajo el mismo nivel de referencia (figura 5.1 y 5.2.). La posición del nivel piezométrico sobre el mar, condiciona la profundidad a la interfase. Los movimientos de la superficie del mar por mareas y de la superficie piezométrica del acuífero, producidos por aumento o disminución de agua en él, producen fluctuaciones en la posición de la interfase. El área en donde se llevan a cabo estas fluctuaciones, se denominan zona de difusión. La mayoría de los acuíferos que no están sobreexplotados, descargan agua hacia el mar y la posición real de la interfase, en este caso, se encuentra a mayor profundidad (Hubbert) que la calculada por Ghyben-Herzberg, (figura 5.3).

5.3.- MECANISMO DE LA INTRUSIÓN SALINA

Existen varios mecanismos por los cuales el agua de mar puede intrusionar a un acuífero costero. Estos, están relacionados con la disminución de la elevación del nivel piezométrico y la inversión del gradiente hidráulico, que permite el agua de mar moverse hacia tierra adentro. Bajo condiciones naturales en los acuíferos costeros, existe un equilibrio entre la recarga, la descarga y el cambio del almacenamiento. Es conveniente que exista un flujo de agua dulce al mar, para conservar el equilibrio, y evitar la intrusión. Conforme el agua subterránea es extraída por bombeo, el nivel estático baja acomodándose a las nuevas condiciones y el flujo de la intrusión salina se comienza a mover hacia el acuífero, ocupando primero las zonas costeras y posteriormente la zona de explotación del valle.

5.4.- MÉTODOS DE CONTROL DE LA INTRUSIÓN SALINA

Varios métodos de control son conocidos y utilizados para prevenir la intrusión salina. Los más comunes son:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1).- Reducción de la extracción | 4).- Barrera con pozos de bombeo |
| 2).- Recarga artificial | 5).- Barreras con pozos de inyección |
| 3).- Fronteras impermeables | (figura 5.4) |

- a) Reducción de la extracción.- Una de las medidas técnicamente más sencillas para prevenir la intrusión de agua de mar, es la extracción de agua subterránea, a un nivel planificado. Esta medida implica una disminución en las demandas de agua lo cual,

en ocasiones crea problemas socioeconómicos y políticas muy fuertes. Cuando se opta por este método y el bombeo es reducido, puede establecerse nuevamente el gradiente hacia el mar y la intrusión es reemplazada por un ligero flujo de agua dulce hacia el mar. Si existe información suficiente sobre la variación de los niveles del agua y si se conocen las condiciones geológicas del subsuelo, la reducción de la extracción puede ser controlada de tal manera, que se obtenga la máxima cantidad de agua sin provocar una intrusión salina nociva.

- b) Recarga artificial.- Para ello es necesario contar con una fuente adicional de agua así como condiciones apropiadas del terreno, de tal manera, que la recarga puede llevarse a cabo. Las obras para la recarga pueden consistir en zanjas superficiales construidas en el área de recarga a través de las cuales se hace circular agua que se infiltra al subsuelo. Otro tipo de obras, consiste en la construcción de presas de infiltración, localizadas en la zona de recarga. En zonas donde existen capas confinantes impermeables, pueden construirse pozos de inyección. Al llevar a cabo esta recarga se provoca la reinversión del gradiente hacia el mar, la cual es acompañada por un flujo de agua dulce. La recarga, en esta forma, es económica, respecto a los otros métodos, pero en la mayoría de los casos no se cuenta con fuentes de agua adicional para llevarla a cabo.
- c) Fronteras impermeables.- Consiste en la construcción de una barrera impermeable entre la línea de costa y los pozos de explotación. El medio de construcción puede ser excavando una zanja que posteriormente se rellena con materiales arcillosos. Otro tipo de barrera. Consiste en el inyectado de material impermeable. Estas construcciones son usadas solo en áreas relativamente someras. Es importante, el conocer los resultados posteriores a su construcción, ya que, si la impermeabilización es completa, permitirá abatimientos fuertes y por lo tanto la obtención de mayores volúmenes de agua almacenada. Este método tiene la desventaja de no contar con un flujo de agua subterránea hacia fuera de la zona, que en ocasiones, es necesario para mantener un balance de sales favorables.
- d) Barrera de pozos de bombeo.- Consiste en una línea de pozos localizados entre la zona de explotación del valle y el mar. Los pozos, deben de extraer toda el agua de mar que intrusiona al acuífero, hasta obtener un equilibrio hidrostático. Para ello, los niveles de agua deben de ser bajados en la barrera, más que en cualquier otro punto en la cuenca. El volumen de extracción que se lleva a cabo en el valle, debe de ser reducido, cuando menos una cantidad ligeramente menor a la que se obtenía antes de aplicar el método. Es importante, disponer del registro de los niveles del agua en la zona de la barrera, así como el conocer la cantidad exacta de agua que se debe bombear para obtener los resultados deseados. Esta cantidad de agua que se debe de extraer, es muy variable y deberá de ser mayor al volumen de agua de mar que originalmente intrusionaba.

Mientras más cerca del mar se localiza la barrera, el bombeo tendrá que ser mayor.

- e) Barrera con pozos de inyección.- Este método para control de intrusiones salinas, consiste en la construcción de pozos de inyección alineados a lo largo de la costa, su

funcionamiento va a depender de la resistencia que encuentre el agua al moverse en el subsuelo.

Al inyectar agua al acuífero se provoca la elevación del nivel piezométrico lo cual se lleva a cabo hasta alcanzar el gradiente requerido. Debido a la diferencia en densidad entre el agua de mar y el agua dulce, se requiere una columna de 41 metros de agua dulce para equilibrar una columna de 40 metros de agua salada. Para controlar la intrusión es necesario primeramente determinar el espesor de sedimentos permeables. Posteriormente se construye la barrera de pozos de inyección y se provoca la elevación del nivel piezométrico a lo largo de la línea de pozos, hasta alcanzar una altura de 75 centímetros arriba del nivel del mar, por cada 30 metros de espesor del acuífero bajo el mismo nivel de referencia. La cantidad de agua utilizada para dicho fenómeno puede ser estimada. Después de que en la barrera con pozos de inyección, se establece un equilibrio, la cantidad de agua que fluye hacia el acuífero, será la cantidad de agua de mar que intrusionaba anteriormente, siempre y cuando la explotación de la planicie se haya conservado igual. Para mantener el balance dinámico de esta zona, es necesario que exista un pequeño flujo de agua dulce hacia el mar. La magnitud de este flujo es variable, pero será de alrededor de 10% de la que fluye hacia el acuífero. El número de pozos requeridos para formar la barrera dependerá de las características hidráulicas del acuífero, en especial de la capacidad específica de un pozo de bombeo perforado en la zona.

- f) Método combinado; barrera por pozos de bombeo-barrera por pozos de inyección.- Este método utiliza la combinación de los dos métodos anteriores. Para ello, la barrera por pozos de bombeo, es localizada entre la línea de costa y la zona de explotación del valle y la barrera por pozos de inyección se ubica tierra adentro, del otro lado de la zona de explotación. La barrera combinada, compuesta de los dos sistemas, operando simultáneamente, minimizada los efectos de subsidencia y extracción de agua, así como otros efectos secundarios y permite una mayor flexibilidad en su operación sobre la de uno solo de los sistemas previamente descritos.

REFERENCIAS

Bruington, A.E., y Seares, F.D., 1965, "Operating a Sea Water Barrier Project", American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 91, No. IRI.

Bruington, A. E. Drescher, W. J. y Sherwood, C.B. 1969. "Saltwater Intrusion in the United States"., American Society of Civil Engineers Proceedings, Journal of the Hydraulics Division, Paper 6788, HY 5, pp. 1651-1669.

Custodio, E. y Llamas, M. R. 1976. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega Barcelona, España.

Driscoll, Fletcher (1986). Groundwater and Wells. Filter/Johnson Screens, Ed. St. Paul, MN. 1089 p.

Freeze, A. and Cherry, J. 1979. Groundwater. Prentice Hall, 604 p.

NOTA: Para la elaboración de este artículo, se utilizaron datos de diferentes textos y trabajos, principalmente de los apuntes del curso de hidrología subterránea del Departamento de Recursos Hidráulicos del Estado de California, E.U., por Raymond C. Richter.

CAPITULO 6.- CALIDAD DEL AGUA

Las aguas subterráneas y superficiales que son utilizadas para satisfacer las necesidades de agua potable de zonas urbanas, así como la que se destina a la agricultura, ganadería e industria, necesita cumplir con ciertos requisitos respecto a su contenido de elementos químicos, a sus propiedades físicas y a la presencia de materia orgánica.

El objeto del presente trabajo, es el de mostrar, en forma general, las normas de calidad del agua utilizada como potable, en riego, en abrevadero y en la industria, así como el significado y algunas propiedades físicas y químicas del agua.

La calidad del agua, se determina a partir de análisis físicos, químicos y bacteriológicos, los cuales pueden variar desde análisis sencillos donde se determinen los principales elementos, hasta análisis complejos que incluyan la determinación de una gran variedad de especies presentes en el agua.

El tipo de análisis dependerá del uso que se le tenga destinado al agua, así como de algunas características observadas en la zona donde ésta se encuentre. Por ejemplo, en una zona minera, es conveniente determinar las concentraciones de algunos metales que pudieran encontrarse presentes. En lugares próximos a poblados y/o establos, debe ponerse atención a los contenidos de nitratos y organismos coliformes, etc.

6.1.- AGUA POTABLE

Las normas de calidad para el agua potable, conocidas también como límites máximos permisibles, se publicaron en el Diario Oficial el 18 de enero de 1988, los cuales se transcriben a continuación:

Características de algunos elementos críticos como los que se mencionan a continuación.

CROMO

El cromo se define como un elemento químico metálico con una alta resistencia a la corrosión y que es utilizado por un gran número de industrias. La forma como se encuentra en yacimientos naturales es como cromita cuya fórmula es $FeCr_2O_4$. Los compuestos de cromo más importantes son: cromato de sodio y potasio. Se puede encontrar también como cromo metálico (Cr^{++}), cromo trivalente y como cromo hexavalente. Esta última forma tiene tendencia a ser reducida por especies orgánicas.

En el agua se puede encontrar en forma soluble. Proviene de la disolución de sales de cromato de sodio, cromato de potasio y cromato de amonio. Es utilizado comúnmente en industrias electrónicas, en plantas textiles, en industrias de vidrio y de materiales fotográficos. También se utiliza en la industria del calzado, en pinturas y tintes, así como en explosivos, fábricas de cerámica y papel. Exceso de cromo en el agua potable causa problemas en el hígado y pulmones con síntomas de hemorragia, así como problemas en la piel. Se clasifica como cancerígeno y dentro del grupo 1 (International Agency for Research on Cancer - IARC). La norma de calidad para el agua potable de acuerdo a la USEPA 1989 (U.S. Environmental Protection Agency), es de 0.1 miligramos por litro. La Norma Oficial Mexicana (NOM) indica una concentración máxima de 0.05 miligramos por litro de cromo hexavalente para el agua potable.

NITRITOS Y NITRATOS

Los nitratos (NO_3) son un producto de la estabilización aeróbica del nitrógeno orgánico. Otra fuente de nitratos son sales minerales.

Los nitritos (NO_2) se forman por la acción bacteriana del amonio y del nitrógeno orgánico. Generalmente sus concentraciones en el agua son muy reducidas debidas a la rápida oxidación de los nitritos a nitratos. Se encuentra generalmente en aguas tratadas, tanto municipales como agrícolas.

Los nitritos se utilizan como fertilizante, así como agente oxidante en la industria química. En la industria alimenticia, son utilizados como preservador de alimentos, particularmente en carnes y quesos.

Los nitritos al ser ingeridos por el hombre, actúan en la sangre como oxidante de la hemoglobina. Se clasifica dentro del Grupo D en relación al riesgo cancerígeno (USEPA, 1985) y en publicaciones recientes se indica que no existen suficientes datos para su clasificación por lo que se recomiendan estudios más profundos. La norma de calidad para agua potable de acuerdo a la MCLG y MCL (1989) indican 10 miligramos por litro para los nitratos y un miligramo por litro para los nitritos. (MCLG = Nonenforceable standars to be used as a guide; MCL = maximun contaminant level). La Norma Oficial Mexicana indica 5 mg/l para los nitratos y 0.05 mg/l para los nitritos

SILICE

Se expresa como óxido de sílice, SiO_2 y es ampliamente utilizado para referirse al sílice que se encuentra en las aguas naturales pero debe entenderse que la forma en que se encuentra es hidratado y su representación real es H_4SiO_4 o bien $\text{Si}(\text{OH})_4$.

El sílice puede ser incorporado en el agua a partir de la disolución de feldespatos sódicos como la albita. Concentraciones mayores se encuentran en relación con aguas de origen geotermal. Estudios de geotermia basan o utilizan la determinación de sílice en el agua para calcular la profundidad de formación y temperatura, tendiente a estudiar los yacimientos geotérmicos y a localizar sitios para perforación de pozos geotérmicos. A las determinaciones de temperaturas basadas en edad se le denomina geotermómetros.

El rango en que generalmente se encuentra el sílice en el agua de acuerdo a la literatura, es de 1 a 30 miligramos por litro, sin embargo, concentraciones arriba de 100 mg/l llegan a ser comunes en zonas como la estudiada (comunicación verbal del laboratorio), donde el agua ha circulado a través de rocas que incluyen sílice entre los minerales que las constituyen y que han estado sujetas a altas temperaturas.

ARSENICO

El arsénico es un elemento químico sólido, semimetálico, que destaca por su alta toxicidad hacia humanos. Se encuentra en forma de compuestos siendo el más común la arsenopirita (FeSAs). Es utilizado por industrias de vidrio, cerámica, tintes y como insecticida en la agricultura, etc. Recientemente se ha venido utilizado en estado sólido en transistores y parte de material laser.

El arsénico como As es insoluble en agua pero varias sales sí presentan solubilidad. Concentraciones de 100 mg suelen ser venenosas para los humanos y letales en rangos de 130 mg. El arsénico se acumula en los tejidos del cuerpo humano. Ha sido reportado como venenoso cuando se encuentra en concentraciones que varían de 0.21 y 10.0 mg/l. No se ha encontrado que presente problemas de cáncer porque, antes que eso, primeramente, se considera venenoso o tóxico. La norma de calidad reciente publicada por la MCLG USEPA 1987, indica que el agua debe de contener menos de 0.05 mg/l para consumo humano. Mismo valor consigna la Norma oficial Mexicana.

6.2.- AGUA PARA RIEGO

Para conocer la calidad del agua para riego, se ha optado por utilizar la clasificación de Wilcox (1948) en la cual, por medio de la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS), se obtiene la clase de agua para riego.

La conductividad eléctrica es igual al recíproco de la resistividad y proporcional a la concentración de sólidos totales disueltos. Normalmente, esta se expresa en micromhos por centímetro (mmhos-cm).

La relación de adsorción de sodio, se obtiene por medio de la fórmula siguiente.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Donde las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} están dadas en equivalentes por litro. Con esta relación se obtiene el peligro que entraña el uso del agua para riego, el cual, como puede apreciarse en la fórmula, queda, supeditado a las concentraciones absoluta y relativa de los principales cationes.

Los valores de CE y RAS, son graficados en el nomograma de clasificación (figura 6.1) obteniéndose de esta manera, la clase de agua para riego, la cual está definida por los parámetros, C y S y subíndices en cada uno de ellos. El significado de las diferentes clases, así como algunas recomendaciones para el uso del agua en riego, se comentan a continuación.

- C1 BAJA SALINIDAD.- Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y para casi todas las plantas, con pocas probabilidades de que aumente la salinidad.
- C2 SALINIDAD MEDIA.- Puede usarse, si se hacen lavados moderados. Se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales en la mayoría de los casos, sin efectuar prácticas especiales para el control de la salinidad.
- C3 ALTAMENTE SALINA.- No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Aún con drenaje adecuado, se requiere un manejo especial para el control de la salinidad, además de seleccionar plantas que sean bastante tolerantes a las sales.
- C4 MUY ALTAMENTE SALINA.- No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias aunque puede usarse, en ocasiones, bajo circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado; el agua para riego debe aplicarse en exceso con el fin de llevar a cabo un lavado fuerte. Las plantas que se seleccionen deberán ser muy tolerantes a las sales.
- S1 CON POCO SODIO.- Puede usarse para riego en casi todos los suelos, con poco peligro de que el sodio intercambiable llegue a niveles perjudiciales. Sin embargo, las plantas sensitivas al sodio como algunos frutales (fruto con hueso) y aguacate, pueden acumular concentraciones dañinas de sodio.
- S2 CON CONTENIDO MEDIO.- Será peligrosa en suelos de textura fina y en aquellos que contengan una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavados leves, a menos que haya yeso en el suelo. Esta agua puede usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.
- S3 CON ALTO CONTENIDO.- Conducirá a niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos por lo cual se requerirá de un manejo especial, buen

drenaje, lavados fuertes y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos no desarrollarán niveles perjudiciales de sodio intercambiable. Los mejoradores químicos deberán usarse, para el reemplazo de sodio intercambiable, excepto en el caso de que no sea factible el uso de mejoradores en aguas de muy alta salinidad.

S4 CON MUY ALTO CONTENIDO.- Generalmente no es apropiada para el riego, excepto en casos de baja y quizá media salinidad, donde la solución del calcio del suelo o el empleo de yeso u otros mejoradores, hagan factible el uso de esta agua.

La conductividad eléctrica puede tomarse como un índice en la selección de cultivos, en la tabla siguiente se presenta la tolerancia relativa de los cultivos a las sales.

Tabla 6.2.- Tolerancia de cultivos a las sales
Frutales

MUY TOLERANTES	MEDIANAMENTE TOLERANTES	POCO TOLERANTES
Palma – dátiles	Granada Higuera Olivo Vid Melón	Peral Manzano Naranja Toronja Ciruela Almendro Chabacano Durazno Fresa Limonero Aguacate

Hortalizas

MUY TOLERANTES	MEDIANAMENTE TOLERANTES	POCO TOLERANTES
$CE_c \times 10^3 = 12 *$ Betabel Bretón o col rosada Espárragos Espinacas $CE_c \times 10^3 = 10$	$CE_c \times 10^3 = 10$ Jitomate Brócoli Col Chile dulce Coliflor Lechuga Maíz dulce Papas Zanahoria Cebolla Chicharos Calabaza Pepinos $CE_c \times 10^3 = 4$	$CE_c \times 10^3 = 4$ Rábano Apio Ejotes $CE_c \times 10^3 = 3$

Plantas forrajeras

MUY TOLERANTE	MEDIANAMENTE TOLERANTES	POCO TOLERANTE
$CE_c \times 10^3 = 18$ Zacate alcalino de coquito Zacate bermuda Zacate rhodes	$CE_c \times 10^3 = 4$ Trébol blanco Trébol amarillo Zacate inglés perenne Zacate Sudán Trébol Huban Alfalfa (California común)	$CE_c \times 10^3 = 4$ Trébol blanco holandés Trébol Alsike Trébol rojo Trébol ladino Pinpinela

El boro en pequeñas concentraciones, es esencial para el desarrollo normal de las plantas y, la falta de este elemento, o su presencia en concentraciones altas, afecta el crecimiento de los cultivos.

Dependiendo de la cantidad de boro que las plantas acepten, estas se han dividido en tres grupos:

CUANDO ACEPTAN

Cultivos sensibles	Hasta 0.67 ppm
Cultivos semitolerantes	Entre 0.67 y 1.00 ppm
Cultivos tolerantes	Entre 1.00 y 3.75 ppm

A continuación se muestran algunos cultivos haciéndose distinción entre tolerantes, semitolerantes y sensibles.*

Tabla 6.3.- Cultivos tolerantes, semitolerantes y sensibles a las sales

TOLERANTES	SEMITOLERANTES	SENSIBLES
Espárragos	Girasol (nativo)	Nuez encarcelada
Palma datilera	Papa	Nogal negro
Remolacha azucarera	Algodón	Nogal persa
Alfalfa	Jitomate	Ciruelo
Gladiola	Rábano	Peral
Haba	Chícharos	Manzano
Cebolla	Rosa Ragged	Uva (málaga y sultaina)
	Robin	Higo Kadota
Nabo	Olivo	Nispero
Col	Cebada	Cereza
Lechuga	Trigo	Chabacano
Zanahoria	Maíz	Durazno
	Sorgo	Naranja
	Avena	Aguacate
	Calabacita	Toronja
	Pimiento "Bell"	Limonero
	Camote	
	Frijol Lima	

(En orden descendente de más a menos tolerante)

MUY TOLERANTES	MEDIANAMENTE TOLERANTES	POCO TOLERANTES
Cebada folium (para heno tripata de pájaro) $CE_e \times 10^3 = 12$	Trigo (para heno) Avena (para heno) Grama azul Bromo suave Veza lechosa Cicer $CE_e \times 10^3 = 4$	$CE_e \times 10^3 = 2$
CULTIVOS COMUNES		
$CE_e \times 10^3 = 12$ Cebada (grano) Remolacha Azucarera Colza Algodón $CE_e \times 10^3 = 10$	$CE_e \times 10^3 = 10$ Centeno (grano) Trigo (grano) Avena (grano) Arroz Sorgo (grano) Maíz Linaza Girasol Higuera $CE_e \times 10^3 = 6$	$CE_e \times 10^3 = 4$ Alubias

(De: Suelos salinos y sódicos, 1954)

*El número que sigue a la $CE_e \times 10^3$ es el valor de la conductividad eléctrica del extracto de saturación en milimhos por centímetro a 25°C asociado a una disminución en los rendimientos de 50 por ciento.

6.3.- AGUA PARA ABREVADERO

El agua usada en granjas y ranchos ganaderos, normalmente debe de cumplir con los mismos requisitos que el agua potable, ya que es utilizada también para usos domésticos de los ranchos. Los animales pueden ingerir agua con una mayor concentración de sales.

A continuación se describen los límites máximos para algunos animales, según Mckee y Wolf, (1963).

Tabla 6.4.- Límites máximos para algunos animales

Aves	2,860 ppm
Cerdos	4,290 ppm
Caballos	6,430 ppm
Ganado lechero	7,150 ppm
Ganado de carne	10,100 ppm
Borrego	12,900 ppm

6.4.- AGUA PARA LA INDUSTRIA

La clase de agua requerida en la industria, depende del tipo de instalaciones utilizadas.

Una forma rápida de catalogar el tipo de agua para la industria, es conociendo su dureza. Esta normalmente se reporta en concentración de carbonato de calcio (CaCO_3).

Cuando un agua contiene concentraciones bajas de ese compuesto, se denomina "agua blanda" y al agua con concentraciones altas, "agua dura".

De acuerdo con algunos autores (Durfor y Becker, 1964), se han distinguido los siguientes rangos de dureza.

Tabla 6.5.- Rangos de dureza para la industria

Concentración en Mg/l de CaCO_3	Descripción
0 - 60	Agua blanda.
61 - 120	Agua moderadamente dura.
121 - 180	Agua dura.
más de 180	Agua muy dura

En la tabla siguiente, se muestran algunos de los límites para la industria textil y papelera, así como en derivados del petróleo y embotelladoras.

Tabla 6.5.- Calidad del agua para algunas industrias
(en mg/l)

CONSTITUYENTE	INDUSTRIA TEXTIL	INDUSTRIA PAPELERA	DERVIADOS DEL PETRÓLEO	EMBOTELLADORA
SiO ₂	-	50	-	-
Fe	0.1	1.0	1.0	0.3
Mn	0.1	0.5	-	0.05
Ca	-	20	75	-
Mg	-	12	30	-
Cu	0.01	-	-	-
NH ₄	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-
HCO ₃	-	-	-	-
SO ₄	-	-	-	500
Cl	-	200	300	500
F	-	-	-	-
NO ₃	-	-	-	-
Dureza	25	100	350	-
PH	2.5-10.5	6-10	6-9	-
S.T.D.	100	-	100	-

(En: John Hem, 1985)

REFERENCIAS

Chapingo, Escuela Nacional de Agricultura. Calidad del agua para riego, apuntes inéditos.

De Zuane, John, (1990). Handbook of Drinking Water Quality, Standards and Controls. Van Nostrand Reinhold, New York, 523 p.

Drever, James, (1998). The Geochemistry of Natural Waters. Prentice Hall, New Jersey. 437 p.

Hem, John, (1985) Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply paper 2254.

Languimir, Donald, (1997). Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice Hall, New Jersey, 600 p.

Driscoll, Fletcher (1986). Ground Water and Wells. Filter/Johnson Screens, Ed. St. Paul, MN. 1089 p.

Suelos Salinos y Sódicos, 1954 Manual de Agricultura No. 60 Departamento de Agricultura de los estados Unidos de América.

CAPÍTULO 7.- SIGNIFICADO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

Los elementos que pueden encontrarse en solución en el agua pueden ser muy variados. De los más comunes, a continuación se mencionan su fuente o causa de origen, así como algunas de sus principales características.

BICARBONATO (HCO₃) CARBONATO (CO₃)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la incorporación del bióxido de carbono en el agua y de la disolución de rocas carbonatadas como la caliza y la dolomita.

Significado.- Los carbonatos y bicarbonatos producen alcalinidad. Los carbonatos de calcio y magnesio se descomponen en calderas y aguas calientes, facilitando la incrustación y liberando bióxido de carbono corrosivo a la atmósfera. En combinación con calcio y magnesio es causa de la dureza.

ARSENICO

El arsénico es un elemento químico sólido, semimetálico, que destaca por su alta toxicidad hacia humanos. Se encuentra en forma de compuestos siendo el más común la arsenopirita (FeSAs). Es utilizado por industrias de vidrio, cerámica, tintes y como insecticida en la agricultura, etc. Recientemente se ha venido utilizado en estado sólido en transistores y parte de material laser.

El arsénico como As es insoluble en agua pero varias sales sí presentan solubilidad. Concentraciones de 100 mg suelen ser venenosas para los humanos y letales en rangos de 130 mg. El arsénico se acumula en los tejidos del cuerpo humano. Ha sido reportado como venenoso cuando se encuentra en concentraciones que varían de 0.21 y 10.0 mg/l. No se ha encontrado que presente problemas de cáncer porque, antes que eso, primeramente, se considera venenoso o tóxico. La norma de calidad reciente publicada por la MCLG USEPA 1987, indica que el agua debe de contener menos de 0.05 mg/l para consumo humano. Mismo valor consigna la Norma oficial Mexicana.

BORO (B)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de suelos y rocas, en especial las de origen ígneo. El agua de zonas térmicas y especialmente aquellas que se encuentran en áreas de actividad volcánica reciente, pueden contener altas concentraciones de boro. Puede deberse en ocasiones, a contaminación por desperdicios, especialmente donde se usan detergentes que contiene boratos.

Significado.- Cantidades pequeñas de este elemento, es esencial para crecimiento, y nutrición de las plantas, pero es tóxico para la mayor parte de ellas cuando se encuentra en concentraciones mayores de 1 mg/l.

CALCIO (Ca)

Fuente o causa de origen.- Proviene de casi todo tipo de suelos y rocas pero en especial de las calizas, las dolomitas y el yeso. Algunas salmueras contienen grandes cantidades de calcio.

Significado.- El calcio y el magnesio son los principales responsables de la dureza en el agua, la cual origina un gran consumo de jabones. Puede incrustarse en tuberías y además, reduciendo su eficiencia.

COLOR

Fuente o causa de origen.- En agua superficial, componentes orgánicos provenientes del decaimiento de la vegetación y por contaminación de desperdicios orgánicos e inorgánicos descargados a los ríos. En agua subterránea, componentes orgánicos que han pasado a través de lignita y turba.

Significado.- Indica la presencia de iones orgánicos o materia orgánica en el agua subterránea. Es un factor importante en la valuación de agua potable o para otros usos.

CLORURO (Cl)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de rocas y suelos, en especial evaporitas; se presenta por contaminación de desperdicios y desagües. Antiguas salmueras, agua de mar y salmueras industriales, contienen grandes cantidades de este elemento.

Significado.- Grandes concentraciones de este elemento, aumenta el poder corrosivo del agua y, en combinación con sodio, da un sabor salado.

CONCENTRACIÓN DE HIDRÓGENO (pH)

Fuente o causa de origen.- Los ácidos y el bióxido de carbono libre, bajan el valor del pH. Carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, fosfatos, silicatos y boratos, aumentan el valor del pH.

Significado.- Un pH igual a 7.0 indica neutralidad en una solución; valores mayores indican alcalinidad y menores, acidez. La corrosividad, generalmente aumenta al disminuir el pH. Aguas excesivamente alcalinas, pueden atacar metales.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Fuente o causa de origen.- Depende de la cantidad de sales disueltas en el agua.

Significado.- Es una medida de la capacidad del agua de conducir corriente eléctrica. Varía con la concentración y grado de ionización de los constituyentes, así como con la temperatura. Se usa para estimar la cantidad de sales disueltas en el agua.

CROMO

El cromo se define como un elemento químico metálico con una alta resistencia a la corrosión y que es utilizado por un gran número de industrias. La forma como se encuentra en yacimientos naturales es como cromita cuya fórmula es FeCr_2O_4 . Los compuestos de cromo más importantes son: cromato de sodio y potasio. Se puede encontrar también como cromo metálico (Cr^{++}), cromo trivalente y como cromo hexavalente. Esta última forma tiene tendencia a ser reducida por especies orgánicas.

En el agua se puede encontrar en forma soluble. Proviene de la disolución de sales de cromato de sodio, cromato de potasio y cromato de amonio. Es utilizado comúnmente en industrias electrónicas, en plantas textiles, en industrias de vidrio y de materiales fotográficos. También se utiliza en la industria del calzado, en pinturas y tintes, así como en explosivos, fábricas de cerámica y papel. Exceso de cromo en el agua potable causa problemas en el hígado y pulmones con síntomas de hemorragia, así como problemas en la piel. Se clasifica como cancerígeno y dentro del grupo 1 (International Agency for Research on Cancer - IARC). La norma de calidad para el agua potable de acuerdo a la USEPA 1989 (U.S. Environmental Protection Agency), es de 0.1 miligramos por litro. La Norma Oficial Mexicana (NOM) indica una concentración máxima de 0.05 miligramos por litro de cromo hexavalente para el agua potable.

DUREZA COMO CaCO_3

Fuente o causa de origen.- En la mayoría de los casos, la dureza es debida a el calcio y el magnesio.

Significado.- Consume jabón y no produce espuma. Forma depósitos de jabón en baños. El agua dura incrusta calderas y tuberías Dureza es equivalente de dureza de carbonatos y bicarbonatos.

ESTRONCIO (Sr)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de rocas y suelos, en especial de rocas carbonatadas y rocas de origen ígneo.

Significado.- Las concentraciones son en general muy bajas.

FIERRO (Fe)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de suelos, rocas y de tuberías, bombas y equipos similares. Concentraciones mayores a 1 ó 2 ppm, generalmente indican drenaje de zonas mineras u otra fuente.

Significado.- Expuesto a la superficie, el fierro disuelto en el agua se oxida formando un sedimento rojizo. Más de 0.3 ppm, mancha lavadoras y utensilios. Elemento nocivo en el proceso de bebidas, tintes, blanqueadores, hielo, etc. Grandes concentraciones, producen un sabor desagradable y favorece el crecimiento de bacterias.

FLUORURO (F)

Fuente o causa de origen.- Se encuentra diseminado en cantidades muy pequeñas, en casi todo tipo de rocas y suelos.

Significado.- Reduce la picadura de dientes (caries) en los niños durante la época de calcificación. En excesos de este elemento, produce el decaimiento de la dentadura, el cual dependerá de la concentración de flúor, la edad del consumidor, la cantidad de agua que se consuma y la susceptibilidad de cada individuo.

FOSFATO (PO₄)

Fuente o causa de origen.- Proviene del intemperismo de rocas ígneas y de la lixiviación de suelos que contienen desperdicios orgánicos, fertilizantes, detergentes y drenajes domésticos e industriales.

Significado.- Concentraciones mayores a las normales, indican contaminación por desechos.

LITIO (Li)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de rocas durante el intemperismo. La escasez del litio es probablemente el responsable de las relativas bajas concentraciones en el agua.

Significado.- Las concentraciones de este elemento en el agua son en general muy bajas, no afectando la calidad para los diferentes usos.

MAGNESIO (Mg)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de la mayoría de los suelos y rocas pero especialmente de las dolomitas. Algunas salmueras contienen cantidades abundantes de magnesio.

Significado.- El magnesio y el calcio, son los principales responsables de la dureza y del agua incrustante.

MANGANESO (Mn)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de algunos suelos y rocas. Es menos común que el hierro, pero normalmente se encuentra asociado con éste y con aguas ácidas.

Significado.- Es el causante de la coloración café oscura o negra.

NITRITOS Y NITRATOS

Los nitratos (NO_3) son un producto de la estabilización aeróbica del nitrógeno orgánico. Otra fuente de nitratos son sales minerales.

Los nitritos (NO_2) se forman por la acción bacteriana del amonio y del nitrógeno orgánico. Generalmente sus concentraciones en el agua son muy reducidas debidas a la rápida oxidación de los nitritos a nitratos. Se encuentra generalmente en aguas tratadas, tanto municipales como agrícolas.

Los nitritos se utilizan como fertilizante, así como agente oxidante en la industria química. En la industria alimenticia, son utilizados como preservador de alimentos, particularmente en carnes y quesos.

Los nitritos al ser ingeridos por el hombre, actúan en la sangre como oxidante de la hemoglobina. Se clasifica dentro del Grupo D en relación al riesgo cancerígeno (USEPA, 1985) y en publicaciones recientes se indica que no existen suficientes datos para su clasificación por lo que se recomiendan estudios más profundos. La norma de calidad para agua potable de acuerdo a la MCLG y MCL (1989) indican 10 miligramos por litro para los nitratos y un miligramo por litro para los nitritos. (MCLG = Nonenforceable standars to be used as a guide; MCL = maximun contaminant level). La Norma Oficial Mexicana indica 5 mg/l para los nitratos y 0.05 mg/l para los nitritos

POTASIO (K)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y suelos. Se encuentra también en salmueras, agua de mar y en algunos desechos industriales.

Significado.- Grandes concentraciones, en combinación con cloro, producen un sabor salado. Esencial en la nutrición de las plantas.

SELENIO (Se)

Fuente o causa de origen.- La principal fuente de selenio son las emanaciones volcánicas y los depósitos de sulfuros que han sido acumulados por erosión e intemperismo. Se encuentra en rocas cretácicas, en especial en lutitas y suelos derivados de ellas.

Significado.- Es tóxico en cantidades pequeñas. Constituye un problema cuando se encuentra en plantas o agua para el ganado.

SILICE (SiO_2)

Se expresa como óxido de sílice, SiO_2 y es ampliamente utilizado para referirse al silice que se encuentra en las aguas naturales pero debe de entenderse que la forma en que se encuentra es hidratado y su representación real es H_4SiO_4 o bien $\text{Si}(\text{OH})_4$.

El sílice puede ser incorporado en el agua a partir de la disolución de feldespatos sódicos como la albita. Concentraciones mayores se encuentran en relación con aguas de origen geotermal. Estudios de geotermia basan o utilizan la determinación de sílice en el agua para calcular la profundidad de formación y temperatura, tendiente a estudiar los yacimientos geotérmicos y a localizar sitios para perforación de pozos geotérmicos. A las determinaciones de temperaturas basadas en edad se le denomina geotermómetros.

El rango en que generalmente se encuentra el sílice en el agua de acuerdo a la literatura, es de 1 a 30 miligramos por litro, sin embargo, concentraciones arriba de 100 mg/l llegan a ser comunes en zonas como la estudiada (comunicación verbal del laboratorio), donde el agua ha circulado a través de rocas que incluyen sílice entre los minerales que las constituyen y que han estado sujetas a altas temperaturas.

SODIO (Na)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y suelos. Se encuentra también en salmueras, agua de mar, desperdicios industriales y drenajes.

Significado.- Grandes concentraciones en combinación con el cloro, producen un sabor salado. Cantidades fuertes comúnmente limita el uso del agua para la agricultura.

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de minerales que forman los suelos y las rocas. Puede incluir constituyentes orgánicos y agua de cristalización.

Significado.- El valor de los sólidos totales disueltos, es una medida de todas las concentraciones que se encuentran en el agua. Es un índice importante en la determinación de los usos del agua.

SULFATOS (SO₄)

Fuente o causa de origen.- Proviene de la disolución de rocas y suelos que contienen yesos, fierro y compuestos sulfurosos. Comúnmente se presenta en aguas de drenaje de minas y en algunos desechos industriales.

Significado.- Concentraciones altas, actúan como laxante y en combinación con otros iones dá al agua un sabor desagradable. En agua que contiene calcio, producen incrustaciones.

REFERENCIAS

De Zuane, John, (1990). Handbook of Drinking Water Quality, Standards and Controls. Van Nostrand Reinhold, New York, 523 p.

Drever, J. I. 1988. The Geochemistry of Natural Water, Second Edition. Prentice Hall. 437 p.

Freeze, A. and Cherry, J. 1979. Groundwater. Prentice Hall. 604 p.

Hem, Jhon, 1971. "Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water". G.S.E.S:P. 1473.

Hem, John, (1985) Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Surver Water-Supply Paper 2254

CAPÍTULO 8.- TRAZADORES DE AGUA SUBTERRÁNEA

8.1.- RESUMEN

La técnica sobre la aplicación de trazadores en agua subterránea, se ha venido desarrollando con nuevas metodologías en los últimos 35 años. Los principales trazadores utilizados son: fluoriceínas, sales, esporas e isótopos. Las fluoriceínas son uno de los trazadores más económicos y fáciles de utilizar. Su aplicación se ha incrementado al introducir en el proceso de detección, el espectrofluorómetro y la concentración por medio de carbón activado. Las esporas, son el trazador más nuevo que existe, el cual ha probado ser de gran utilidad. Otro tipo de trazadores de agua subterránea, son los isótopos deuterio, oxígeno 18, tritio y carbono 14, cuya técnica y aplicación es cada día mayor.

8.2.- INTRODUCCIÓN

En determinadas ocasiones es de esencial importancia el conocer con exactitud si existe conexión entre dos puntos de un acuífero. Para ello se han llevado a cabo, desde el siglo pasado, experimentos consistentes en mezclar, en el agua de un aprovechamiento subterráneo localizado aguas arriba, una sal o un tinte, el cual puede ser reconocido en otro aprovechamiento localizado a cierta distancia aguas abajo, determinando así, la posible conexión entre dichos puntos. A esta técnica se le conoce como trazadores de agua subterránea.

Este método, se ha aplicado principalmente en rocas fracturadas, donde el tiempo de tránsito es corto, y en distancias hasta de 40 km. (Zotl, 1970). En menor proporción, se ha llevado a cabo en medios granulares, ya que por una parte la velocidad de flujo es relativamente pequeña y por otra, la arcilla produce absorción e intercambio iónico, por lo cual la aplicación en este medio debe ser en distancias cortas.

Los puntos de inyección más comunes, son ríos subterráneos localizados dentro de cavernas y los principales puntos de muestreo son manantiales. Con algunas limitaciones los puntos de inyección y muestreo de trazadores pueden ser también pozos, norias, galerías filtrantes, drenes, lagos y presas. En algunas ocasiones, se ha utilizado esta técnica para determinar si el agua de manantiales, ríos o drenes, corresponden a filtraciones de una presa o lago.

Un buen trazador, debe reunir las características siguientes: Debe ser no tóxico; soluble en agua, identificable en pequeñas concentraciones; resistente a cambios químicos; tener poca o nula capacidad de intercambio iónico; no ser absorbido o retenido por suelo o rocas; su determinación debe ser mediante análisis sencillos y su aplicación económica.

Los principales trazadores son fluoresceínas, sales esporas e isótopos.

8.3.- FLUORESCEINAS

Son sustancias que tienen la propiedad de emitir luz fluorescente. La longitud de cada onda de esta luz, varía de una sustancia a otra, propiedad que se utiliza para identificarlas. Las sustancias más comunes utilizadas como trazadores son: Uranina, Eosina, Aminorhodamina G extra, Rhodamina FB y Tinopal CBS-X.

A continuación se describen las características de cada una de estas sustancias.

- a) URANINA.- Es la de mayor aplicación. Consiste en una fluoresceína de sodio que presenta un color naranja en soluciones concentradas (más de 1 ppm), que cambia de verde-amarillento al ser diluida.

La intensidad de fluorescencia depende del pH. En la figura 8.1, se muestra la relación entre el pH y la intensidad de fluorescencia de la uranina. En aguas muy ácidas, pierde su fluorescencia pero este proceso es reversible, pudiendo recobrarla al añadir un compuesto básico, como KOH ó NH₃. Esta propiedad puede utilizarse para identificar el trazador.

El poder de la uranina, puede disminuir por medio de procesos fotoquímicos como la luz ultravioleta, por agentes oxidantes como el cloro y el ozono y en algunos casos por procesos biológicos.

Es visible en concentraciones mayores de 0.01 ppm. Antiguamente se utilizaban lámparas de luz ultravioleta para identificarla cuando se encontraba en concentraciones bajas. Actualmente las concentraciones entre 1×10^{-2} y 2×10^{-6} ppm son medidas con espectrofluorómetro.

La intensidad máxima de fluorescencia se detecta a una longitud de onda de 515×10^{-9} m. A mayor o menor longitud de onda la intensidad disminuye en forma simétrica (figura 8.2) y la forma de la curva distingue a la uranina de otra fluoresceína. Para concentraciones menores a 2×10^{-6} ppm, se utiliza carbón activado (W.B. White, 1967, F. Baver, 1972) el cual se coloca en el agua durante un tiempo que varía de un día a semanas, donde la uranina es absorbida y concentrada de 50 a 500 veces por el carbón y su concentración medida posteriormente.

Para extraer la uranina del carbón, se le agrega a éste algunas gotas de una de las siguientes preparaciones:

Una parte de alcohol etílico al 95% y una parte de hidróxido de potasio diluido al 15% en agua destilada.

Ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF), dos partes de agua destilada y una gota de NH₃.

Por último, la uranina es resistente a la absorción por arcillas y su uso no es tóxico para el hombre o animales.

- b) EOSINA.- Presenta una fluorescencia naranja-rosa, cuya máxima intensidad se detecta a una longitud de onda de 535×10^{-9} m.

Cuando se presentan valores mayores de 0.01 ppm es visible al ojo humano. Entre 0.01 y 50×10^{-6} ppm, puede detectarse con espectrofluorómetro. Concentraciones menores se concentran con carbón activado del cual puede extraerse añadiendo una sustancia compuesta por ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

Al utilizarse junto con rhodamina FB o uranina, se producen interferencias por lo que su aplicación conjunta es limitada.

- c) AMINORHODAMINA G EXTRA.- Conocida anteriormente como sulforhodamina G extra, presenta una fluorescencia naranja-rosa en soluciones concentradas, que cambia a verde al ser diluida. Su mayor intensidad se presenta a una longitud de onda de 554×10^{-9} m. Es visible en concentraciones mayores de 0.01 ppm y con espectrofluorómetro pueden detectarse hasta 6×10^{-3} ppm. Valores menores pueden concentrarse por medio de carbón activado, del cual puede ser extraída la fluoresceína, por medio de una solución de ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

Esta fluoresceína presenta inconvenientes, ya que es difícil de disolver y fácilmente absorbida por arcillas. En presencia de uranina, rhodamina FB o eosina, se producen interferencias.

- d) RHODAMINA FB.- Presenta un color púrpura y fluorescencia roja. Su mayor intensidad se detecta a una longitud de onda de 578×10^{-9} m. Es visible al ojo humano en concentraciones mayores de 0.01 ppm. Con espectrofluorómetro se detectan hasta 10×10^{-3} ppm. Valores menores pueden ser concentrados por medio de carbón activado del cual se extrae por medio de una de las soluciones siguientes:

- a) Cinco partes de propanol y 5 partes de hidróxido de amonio.
- b) Ocho partes de N-N dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

La rhodamina FB, presenta interferencias al combinarse con uranina, eosina o aminorhodamina G extra. Es tóxica cuando se inhala en soluciones concentradas. Por otra parte, en presencia de arcillas es altamente absorbida.

- e) TINOPAL CBS-X.- Presenta un color verde con fluorescencia azul.

Su mayor intensidad se determina a una longitud de onda de 430×10^{-9} m. Es visible solamente en concentraciones mayores de 1 ppm. Con espectrofluorómetro se pueden detectar hasta 440×10^{-3} ppm. Valores menores son concentrados por medio de carbón activado del cual la fluoresceína puede extraerse agregando unas gotas de una solución que contenga ocho partes de N-N dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada. Este producto, es absorbido por arcillas.

- f) EJEMPLO SOBRE LA APLICACIÓN DE FLUORESCEINA.- Con el propósito de ilustrar su aplicación, a continuación se presentan los resultados obtenidos en un experimento llevado a cabo en una región cárstica.

Se propuso conocer la conexión entre el agua de un río que se infiltraba dentro de una dolina y dos manantiales situados a 5 kilómetros de la primera. Para ello, se inyectaron 3 kg de uranina en el agua de la dolina y se obtuvieron muestras de agua cada dos horas en los manantiales "H" y "S".

En el manantial "S", no se detectó uranina, por lo que se concluye que este no tiene conexión con la zona de recarga donde se inyectó el trazador.

En el manantial "H", se empezó a detectar uranina 56 horas después de la inyección, y la concentración del trazador fue aumentando hasta llegar a 32 mg/m^3 , según se muestra en la figura 8.3.

Otro ejemplo ilustrativo de la aplicación de trazadores, ahora en acuíferos granulares someros es el siguiente:

En un valle aluvial que presenta un acuífero freático a 3 m de profundidad, se perforaron 9 pozos a 3" de diámetro y 5 m de profundidad, distribuidos en la forma como se ilustra en la figura No. 8.4.

En el pozo central, se inyectó uranina y se obtuvieron muestras de agua en el resto de los pozos, cada 20 minutos.

Después de 3 horas 20 minutos de la inyección, se detectó uranina solamente en los pozos 4 y 5, de donde se puede obtener que el agua subterránea fluye en dirección sureste, a una velocidad de 1.5 m/hr.

Este método es utilizado en zonas sin información y su aplicación queda limitada por la profundidad a que se encuentre el nivel estático, ya que mientras mayor es ésta, mayo es el costo de los pozos de muestre e inyección.

8.4.- SALES

Las sales son el trazador artificial de agua subterránea más antiguo que se conoce se haya aplicado con éxito. Los productos utilizados más comunes son: sal de cloruro de sodio y sal de cloruro de potasio.

La sal es disuelta en agua y posteriormente incorporada al acuífero. Una de las desventajas que presenta este método, es que requiere que en la zona de inyección el caudal de agua que entre al acuífero sea grande. Por otra parte se necesita una gran cantidad de sal en cada experimento.

En zonas cársticas, para distancias entre 3 y 5 km. se requiere inyectar un mínimo de 500 kg. de sal (Zotl, 1975). La cantidad más grande que se ha llegado a inyectar en un

experimento de trazadores, fue de 50 toneladas de NaCl, (W. Kass. En H Batsche et, al., 1970), donde después de 4 días, se encontró en uno de los manantiales de observación un incremento de cloruros de solo 39 ppm.

Los grandes volúmenes de trazador requeridos mediante este método, hacen que su uso sea limitado. La ventaja consiste en que pueden efectuarse determinaciones cuantitativas.

Ejemplo sobre la aplicación de sales.- Durante los trabajos realizados para conocer la posible conexión entre el agua de un río que se infiltraba en una dolina y dos manantiales localizados a 5 kilómetros de ésta, como se mencionó en párrafos anteriores, se inyectaron 50 kg. de cloruro de sodio y 400 kg. de cloruro de potasio.

Posteriormente se obtuvieron muestras de agua con intervalos de dos horas cada una, tanto en el manantial "H" como en el "S", las cuales se analizaron químicamente determinándose el contenido de cloruros, sodio y potasio.

Al igual que en los resultados obtenidos para la fluoresceína (párrafos anteriores), en el manantial "S", no se detectó incremento alguno en su contenido salino, por lo cual se concluyó que este manantial no tiene conexión con el agua de infiltración de la dolina.

Por lo que se refiere al manantial "H", los resultados de los análisis se graficaron en la figura 8.5, donde se observa que 56 horas después de la inyección de las sales, se detectó un incremento en los iones determinados, ratificando la comunicación entre la dolina y el manantial.

Considerando el tiempo que tardó en aparecer el trazador en el manantial y la distancia entre éste y la dolina, se obtuvo la velocidad de flujo del agua de este acuífero.

Por otra parte, con estos resultados y los de los análisis químicos y volúmenes aforados, es factible determinar el volumen mínimo de agua almacenado, así como el conocer en que proporción el agua del manantial, proviene de la que se infiltra en la dolina.

8.5.- ESPORAS

Las esporas utilizadas como trazadores corresponden al tipo *Lycopodium Clavatum*. Tiene un diámetro de 30-55 micras y un color amarillo pálido ($1 \text{ micra} = 10^{-4} \text{ cm}$).

Su forma es similar a la de un triángulo isósceles con lados convexos. Sus orillas forman cadenas de semicírculos cóncavos (figura 8.6). Están cubiertas por una fina membrana insoluble por lo que al ser incorporadas al agua son transportadas en suspensión. No se sedimentan y tienen la propiedad de no ser absorbidas o intercambiadas con el suelo o rocas.

En el año de 1953, A. Mayr, trató de emplear las esporas como trazador debido a las propiedades que presentan pero su identificación resultó problemática. J. Zotl y V. Maurin, idearon teñir las esporas de diferentes colores para facilitar su identificación lo cual resultó exitoso. De esta manera pueden mezclarse en agua, esporas de diferentes

colores y posteriormente detectarse en cierta zona de muestreo identificándose, por el color, con cuales sitios tiene conexión.

El muestreo de esporas se lleva a cabo instalando redes para plancton las cuales se pueden dejar por tiempo indefinido en el lugar de muestreo. Al preparar la muestra para observarla en el microscopio, se ha visto que se obtienen resultados satisfactorios, si se lleva a cabo lo siguiente:

A las muestras de campo se le agregan 3 gotas de hidróxido de potasio al 10%, 3 gotas de formol al 35% y una pisco de urea; posteriormente se calienta en baño de María por tres minutos. Se centrifuga y el sedimento se concentra en un tubo al que se le agrega una gota de ácido etílico. Se coloca una pequeña parte de la preparación en una lámina delgada para su análisis al microscopio.

REFERENCIAS

Davis, S.N., D.J. Cambell, H.W. Bentley and T.J. Flynn, 1985. Ground Water Tracers. National Water Well Association.

Dechant M., 1977, "The Dyeing of Lycopodiumspores" Notes of the Ground Water Tracing Techniques Course" Graz, Australia.

CAPITULO 9.- ISÓTOPOS AMBIENTALES EN LA GEOHIDROLOGÍA

9.1.- DEFINICION Y ORIGEN

El nombre de isótopo se utiliza para distinguir a los átomos que tienen iguales propiedades físicas y químicas pero diferente masa. Las propiedades químicas de un átomo están definidas por el número atómico del elemento o sea el número de protones. En el núcleo de los átomos se encuentran, además de los protones, los neutrones; el total de neutrones y protones en el núcleo se conoce como número de masa. Al variar el número de neutrones en un núcleo, se alterará su masa pero su carga seguirá siendo igual y por consiguiente sus propiedades químicas no se alterarán. Los átomos con igual número de protones que el elemento original y diferente número de neutrones, son conocidos como isótopos.

En otras palabras, los isótopos son átomos caracterizados por tener un mayor número de neutrones que el elemento original. Así, por ejemplo, el elemento hidrógeno (^1H) en su forma natural tiene un protón y un electrón; cuando además de lo anterior llega a presentar un neutrón, se convierte en un isótopo del hidrógeno denominado deuterio (^2H). Cuando presenta dos neutrones dentro del núcleo, forma otro isótopo (^3H) conocido con el nombre de tritio.

Otro ejemplo lo constituye el oxígeno, el cual tiene una masa de 16; cuando llega a incluir dos neutrones más dentro de su núcleo, de origen al isótopos denominado "oxígeno 18".

Los isótopos son conocidos también como elementos pesados, ya que tienen un peso mayor que el elemento "normal".

Los isótopos se forman por la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera y pueden provenir de la mayor parte de los elementos. Los de mayor aplicación en geohidrología son el deuterio (^2H), el oxígeno 18 (^{18}O), el tritio (^3H), el carbono 14 (^{14}C) y las relaciones carbono 12/13 y azufre 32/34.

Los tres primeros son los de mayor importancia en geohidrología ya que forman parte de la molécula del agua.

Se encuentran en diferentes combinaciones de las cuales tres son las más comunes y de mayor interés para los estudios geohidrológicos, que corresponden a: H_2^{16}O , H_2^{18}O y H_2^3O .

Al deuterio y al oxígeno 18, se les denomina isótopos estables; por lo que respecta al tritio, éste es radioactivo y se utiliza para determinar la edad del agua a partir del momento en que fue recargada al subsuelo.

Las relaciones carbono 12/13 y azufre 32/34, son utilizadas para conocer el origen del elemento en el agua, el cual puede provenir de la disolución de sales o de la descomposición de materia orgánica.

Los isótopos del hidrógeno tienen diferente peso atómico que el hidrógeno "normal"; la molécula de agua que forman refleja esta diferencia; por ejemplo, la denominada agua pesada consiste en una molécula de agua que incluye al isótopo deuterio y presenta una masa de 20, comparada con el agua "normal" cuya masa es de 18. Esto, es una de las causas que ocasiona la variación de concentraciones isotópicas en el agua, bajo diferentes condiciones, como se verá más adelante.

En la tabla No. 9.1, se presenta los isótopos más comunes.

En el agua de mar el contenido isotópico es bastante uniforme, lo cual permite usarlo como patrón mundial de referencia (SMOW, Estándar Mean Ocean Water), y con respecto a él y de manera arbitraria, se expresan los contenidos isotópicos del oxígeno 18 y del deuterio.

Tabla 9.1.- Isótopos

NOMBRE	SÍMBOLO	VIDA MEDIA AÑOS	RANGO DE EDAD DETECTABLE
<u>Más comunes</u>			
Deuterio	D	12.4	0 – 50 años
Tritio	T		
Oxígeno 18	^{18}O	5730	500 – 40,000 años
Azufre 34	^{34}S		
Carbono 13	^{13}C		
Carbono 14	^{14}C		
Nitrógeno 15	^{15}N		
<u>Menos comunes</u>			
Cloro 37	^{37}Cl	103	50 – 100 años
Estroncio 86	^{86}Sr		
Boro 10	^{10}B	269	100 – 1,000 años
Silicio 32	^{32}Si		
Argón 39	^{39}Ar	3 – 30 años	
Krypton 85	^{85}Kr		

Los valores típicos para el agua dentro del ciclo hidrológico varían desde 0, tanto para el deuterio como para el oxígeno 18, en el agua de mar, hasta valores del orden de -400% de deuterio y de -40% de oxígeno 18.

9.2.- UNIDADES Y MÉTODO DE ANÁLISIS

Las unidades comúnmente utilizadas para expresar la concentración de deuterio y de oxígeno 18, se denominan δ y son una relación de la concentración isotópica de la muestra de agua, respecto a la concentración del agua de mar, conocida como (estándar Mean Ocean Water). Se expresa en partes por mil.

$$\delta D = \frac{H^2/H^1 \text{ muestra} - H^2/H^1 \text{ SMOW}}{H^2/H^1 \text{ SMOW}} \times 1000$$

$$\delta^{18}O = \frac{O^{18}/O^{16} \text{ muestra} - O^{18}/O^{16} \text{ SMOW}}{O^{18}/O^{16} \text{ SMOW}} \times 1000$$

Las concentraciones de estos elementos son medidas por medio de espectrómetro de masas. Los niveles de precisión son de 0.2% para el oxígeno 18 y de $\pm 2\%$ para el deuterio (University of Waterloo 1987).

La complejidad de la determinación hace que los costos por análisis sean elevados y que no se acostumbre realizarlos en forma rutinaria.

La determinación de estos análisis se efectúa mediante espectrómetros de masas, que en su mayoría están basados en el principio del espectrómetro de Nier.

El método de trabajo en la determinación de deuterio y oxígeno 18, es tratado por A. Cortés, 1986 y los principales aspectos del funcionamiento de un espectrómetro se comentan a continuación:

Un espectrómetro de masas es un aparato diseñado para separar moléculas de acuerdo a su relación masa-carga en base a su movimiento a través de campos eléctricos y/o magnéticos. Esencialmente, un espectrofotómetro de masas opera de acuerdo a los principios básicos de: Admisión del gas y formación de iones; aceleración y colimación de iones y; analizador magnético.

9.3.- RECTA METEÓRICA MUNDIAL Y LOCAL

El contenido isotópico del agua de lluvia variará de acuerdo a ciertos factores, como son la altitud de precipitación, la presión barométrica ambiental, la temperatura, la latitud, época del año, etc., sin embargo existe una relación constante entre el deuterio y el oxígeno 18, tanto en tiempo como en espacio, la cual ha sido estudiada por el Organismo Internacional de Energía Atómica mediante análisis en diferentes partes del mundo y durante un amplio período, obteniendo que dicha relación obedece a la ecuación $\delta D = \delta^{18}O + 10$ (Dansgaard, 1964), la cual se conoce como la "línea meteórica mundial". La referencia general para la mayor parte de los trabajos es la "línea meteórica mundial", sin embargo, para cada sitio, ésta puede presentar cierta variación y denominarse "línea meteórica local", la cual es paralela a la línea mundial y generalmente con variaciones ligeras.

9.4.- PROCESOS QUE MODIFICAN LA COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los procesos que modifican el contenido isotópico del agua y que son conocidos como fraccionamiento isotópico, son principalmente la evaporación y la condensación.

El deuterio y el oxígeno 18 de la atmósfera pasan a formar parte de la molécula del agua que se precipita en forma de lluvia, donde presenta una concentración isotópica característica. La mayor parte de las masas que forman las nubes provienen de los océanos y son transportadas hacia los continentes, modificando en su trayecto su concentración.

En forma general, el vapor formado en el océano presenta una concentración de oxígeno 18 de alrededor de -13% ; al ser transportadas hacia el continente las precipitaciones cercanas a la línea de costa llegan a tener valores de aproximadamente -3% debido a que en el proceso de condensación, la mayor concentración isotópica forma el agua de lluvia, en relación con la que se queda en la humedad de la atmósfera. Las nubes continúan su movimiento tierra adentro con alrededor de -15% de oxígeno 18 o sea empobrecidas.

En el ciclo hidrológico de los acuíferos del Valle de México, las principales masas nubosas que originan las precipitaciones provienen del Golfo de México, las cuales (figura 9.1) tienen en la zona costera un contenido isotópico de alrededor de -7% de oxígeno 18 y -50% de deuterio (Lesser 1980). Los vientos predominantes transportan las masas nubosas tierra adentro, donde chocan y se elevan en el frente de la Sierra Madre Oriental; en esta porción, su contenido isotópico disminuye y las precipitaciones en la parte alta llegan a tener valores del orden de -10% de oxígeno 18 y -66% de deuterio. Las nubes que continúan hacia el Valle de México presentan, a la altura de Pachuca, valores que podrían ser del orden de -10% de oxígeno 18 y alrededor de -66% de deuterio, para posteriormente originar precipitaciones en las que se han detectado -10.25% de oxígeno 18 y -70% de deuterio, (Cortés y Farvolden, 1988).

En la figura 9.2, se muestra la distribución del deuterio y el oxígeno 18 para el agua de lluvia en Norteamérica.

En el proceso mencionado, se presentan dos efectos. Primero el efecto continental, o sea la variación que presentan las lluvias de una zona húmeda en el océano hacia zonas de menor humedad conforme se internan en el continente, disminuyendo la concentración de los isótopos. Otro efecto es el de altitud, ya que el fraccionamiento isotópico que se produce al cambiar de altura, provoca una disminución en el contenido isotópico, la cual ha sido calculada por varios autores para diferentes sitios. Latorre 1977, indica que se han medido decrementos de 0.3 a 0.7% de oxígeno 18 por cada 100 metros de altura que se aumenten.

Otros factores que pueden llegar a modificar el contenido isotópico del agua, son la latitud y la evaporación y, en el subsuelo el intercambio con minerales, la presencia de altas temperaturas, la existencia de medios reductores y la hidratación de silicatos. En general, los contenidos isotópicos del agua de lluvia son menores en climas fríos.

El agua sujeta a procesos de evaporación va a modificar su contenido isotópico, el cual se va a incrementar, y en mayor proporción de oxígeno 18 que de deuterio (figura 9.3). El intercambio con los minerales formadores de rocas, afecta solamente al oxígeno 18, disminuyendo su concentración; el efecto contrario ocurre en aguas de alta temperatura, donde el intercambio con minerales llega a producir incrementos significativos solo de

oxígeno 18. En medios fuertemente reductores, el gas sulfhídrico puede ser un importante componente del sistema geoquímico, de donde se pueden obtener cantidades bajas de deuterio. La hidratación de silicatos llega también a reducir el contenido de isótopos ambientales, sin embargo, de estos procesos solo la evaporación en cuerpos abiertos es común en el ciclo hidrológico.

En la figura 9.4 se muestra la relación de deuterio contra oxígeno 18 para las aguas naturales (Ferronsky and Polyakov, 1982), donde se marca: (1) La dirección del aumento en oxígeno 18 ocasionado por la interacción con minerales a altas temperaturas; (2) dirección del incremento isotópico por evaporación; (3) concentración del agua de mar; (4) línea meteórica mundial; (5) agua de zonas costeras; (6) agua de montañas e interior de continentes; (7) composición isotópica de nieve de altas montañas y polos; (8) nieve en el polo sur.

Debido a que los elementos naturales son más ligeros que los isotópicos pesados (lo cual es una forma de expresar que los elementos ligeros tienen una mayor presión de vapor), al elevar la temperatura de un sistema y producir un cambio de estado, el sistema perderá preferente al elemento natural y se enriquecerá de isótopos. Los procesos de evaporación en el agua, repercuten directamente en el contenido isotópico de la precipitación pluvial, de acuerdo a ciertos patrones tales como variación estacional, latitud y altitud, lo cual se comenta a continuación.

9.4.1.- VARIACIÓN ESTACIONAL

Para el deuterio y el oxígeno 18 se presentan variaciones estacionales, que se han comprobado mediante mediciones que realiza el Organismo Internacional de Energía Atómica, donde se ha observado que, en general, los valores isotópicos aumentan en verano y disminuyen en invierno principalmente por la temperatura características de estas épocas, lo que es el principal factor modificador del contenido isotópico del agua a lo largo del año. En la figura 9.5 se presentan estas variaciones para la estación Nord. Groelandia.

9.4.2.- EFECTO POR LATITUD

Los isótopos varían también con la latitud, ya que la temperatura tiene influencia directa en su concentración. Se ha medido que, en las zonas tropicales, los valores de deuterio y oxígeno 18 son más altos y disminuyen hacia los polos. En general, existe una correlación entre el contenido de isótopos estables y la temperatura media anual, que a su vez está relacionada con la latitud. Para estaciones cercanas a los océanos y con temperaturas medias anuales en superficie (TA) menor de 10° C, se cumple que $\delta^{18}\text{O} = 0.69 \text{ TA} - 13.16\%$ y $\delta \text{D} = 5.6 \text{ TA} - 100\%$. Aunque esto se cumple exclusivamente para estaciones en las líneas de costa, ya que tierra adentro está sujeta a otros efectos.

En la figura 9.6 se muestra la relación entre el oxígeno 18 y la temperatura media anual a diferentes latitudes y en la figura 9.7 la concentración de deuterio en función de la latitud y altitud.

9.4.3.- EFECTO CONTINENTAL

El efecto continental indica que los valores de deuterio y de oxígeno 18 disminuyen conforme se interna en los continentes. Este hecho está asociado con la pérdida gradual de isótopos pesados a que están sujetas las masas de humedad durante su trayectoria desde los océanos. En la figura 9.2 se muestran cambios en la concentración isotópica de la zona húmeda oceánica, hacia una zona más seca tierra adentro. En el proceso de condensación la fase gaseosa cede preferentemente sus isótopos pesados, quedándose con los más ligeros.

Las masas de humedad de la atmósfera, al precipitarse en forma de lluvia, pierden gradualmente sus isótopos pesados conforme penetran en el continente.

9.4.4.- EFECTO POR ALTITUD

Estos isótopos presentan también cambios con la altura, por las alteraciones isotópicas que causa la evaporación y el intercambio isotópico en la precipitación pluvial, los que son más notorios conforme mayor sea su trayectoria hasta llegar al suelo. Existe mayor empobrecimiento en isótopos conforme es mayor la altura de la zona donde ocurre la precipitación. De esta forma, es de esperarse que los contenidos de deuterio y de oxígeno 18 de la lluvia al nivel del mar, sean mayores que el de aquella agua que se precipita a mayor altura. En la práctica, se ha demostrado que es posible distinguir isotópicamente precipitaciones pluviales cuya diferencia de altura es de sólo 100 metros. Se han medido por varios autores, variaciones que fluctúan entre 0.16 y 0.7% de oxígeno 18, por cada 100 metros de altura. Latorre 1977, menciona variaciones de 0.3 a 0.7% (figura 9.2).

En la figura 9.8 se muestra la relación del oxígeno 18 contra la altura de recarga en un ejemplo de Nicaragua.

9.4.5.- EFECTO DE EVAPORACIÓN

La evaporación del agua en espacios abiertos superficiales, es uno de los principales modificadores de su contenido isotópico. La intensa evaporación a que puede estar sujeta el agua, causa un enriquecimiento de isótopos y además, debido a que el proceso es violento, se produce fuera de equilibrio, lo que causa que la variación relativa del oxígeno e hidrógeno, no cumplan la misma relación que la línea meteórica mundial. En la práctica, se ha encontrado que el enriquecimiento isotópico causado por la evaporación en condiciones fuera de equilibrio, lo que causa que la variación relativa del oxígeno e hidrógeno, no cumplan la misma relación que la línea meteórica mundial. En la práctica, se ha encontrado que el enriquecimiento isotópico causado por la evaporación en condiciones fuera de equilibrio, tales como a las que están sujetas las presas o lagos y en general cuerpos de agua abiertos, tienen una correlación lineal dada por la siguiente ecuación $\delta D = (5 \pm 1) \delta 18O + C$

9.4.6.- EFECTOS GEOTÉRMICOS

En campos geotérmicos los isótopos pueden presentar alteraciones. En general los cambios son muy lentos pero se aceleran al existir temperaturas elevadas. En este caso, el contenido de oxígeno 18 del agua sobrecalentada tiende a equilibrarse con el alto contenido de las rocas. Especialmente de los silicatos y los carbonatos, mientras que el deuterio del agua no se altera. Esto, trae como consecuencia que se produzca una línea isotópica característica para los campos geotérmicos de ecuación $\delta D = (O \pm 2) \delta^{18}O$.

9.5.- MÉTODO GENERAL DE INTERPRETACIÓN

Los isótopos son utilizados para obtener un mejor y más claro conocimiento del flujo del agua subterránea, así como para inferir su historia a través del subsuelo. Mediante su interpretación se pueden identificar zonas de recarga; generalmente los valores más bajos indican puntos de recarga a gran altitud y bajo condiciones climáticas frías. Pueden diferenciarse los sistemas de flujo regionales de los flujos locales; se pueden identificar aguas que han estado expuestas a evaporación en cuerpos abiertos superficiales, así como mezclas de los diferentes tipos de aguas mencionados anteriormente. Esto es posible por las especiales características de los isótopos estables que se han venido mencionando, en especial debido a que tanto el isótopo como el elemento "normal", tienen las mismas propiedades físicas y químicas, o sea que, entre otras cosas, la disolución natural de sales por el agua no modifican el contenido isotópico, a menos que exista algún efecto de evaporación u otro de los mencionados anteriormente.

En la figura 9.3 se muestra el método general de interpretación que se sigue al graficar el deuterio contra el oxígeno 18. La línea meteórica mundial se utiliza como referencia en la mayor parte de las interpretaciones isotópicas.

El agua de lluvia, al evaporarse en cuerpos abiertos en la superficie, llega a presentar contenidos altos de isótopos pesados, los cuales se ubicarán a la derecha de la gráfica; las mezclas entre agua del acuífero y agua evaporada, se encontrará sobre una recta que une al agua de lluvia con la zona típica de agua evaporada.

Algunos procesos que ocurren dentro del ciclo hidrológico llegan a modificar el balance relativo de los elementos nucleares. Sin embargo, esta alteración obedece a patrones definidos y lejos de representar una desventaja, cuando las condiciones son favorables, los procesos a los que ha estado sujeta permiten rastrear su evolución.

9.6.- TRITIO

El exceso de neutrones de los isótopos de una familia provoca, en algunos casos, cierta inestabilidad que trae como consecuencia que el isótopo tienda a cambiar después de cierto tiempo su estado o composición. A estos isótopos se les llama radioactivos o radioisótopos.

Emiten rayos alfa, beta o gama, lo cual produce el efecto denominado decaimiento radioactivo. Se ha demostrado experimentalmente que si se tiene una muestra

estadísticamente representativa de un radioisótopo, el decaimiento del conjunto no es al azar, sino que obedece a una ley exponencial en función del tiempo, lo cual permite cuantificar su radioactividad y en base a ello determinar edades cortas, de hasta 50 años. Para edades de varias decenas de miles de años, se utiliza el carbono 14, que es otro isótopo radioactivo. Esta misma propiedad de decaimiento radioactivo, es utilizada en geología para la datación de rocas, donde la edad se deduce a partir de las relaciones isotópicas rubidio-estroncio y potasio-argón. En la tabla 9.1 se presentan los isótopos más comunes.

El decaimiento estadístico obedece a una ley exponencial en función del tiempo, la cual se expresa como $x = x_0 e^{-\lambda t}$; donde x_0 es el número inicial de radioisótopos originales y x el número de radioisótopos que quedan después de un cierto tiempo t ; λ es una constante de decaimiento.

Se define como vida media ($T_{1/2}$) el tiempo en que decae la concentración de un isótopo a la mitad de su concentración original. La vida media del tritio es de 12.26 años.

El valor de la constante de decaimiento en función de la vida media es:

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

Donde llega a formar parte de las nubes y se precipita en forma de lluvia.

Los átomos de hidrógeno son bombardeados por neutrones cósmicos que son incorporados al núcleo del hidrógeno, formando el tritio. La cantidad de tritio que se forma en la atmósfera es de alrededor de 0.25 átomos por segundo por centímetro cuadrado (Lal and Peters, 1962). Ciertas actividades del hombre, como son las explosiones nucleares, han incrementado la cantidad de tritio en la atmósfera, ocasionando la presencia de concentraciones variables en tiempo y en espacio.

Las determinaciones de tritio o de otros isótopos radioactivos se realizan mediante técnicas químicas altamente especializadas y son difíciles de detectar. Bajos valores de tritio requieren ser concentrados por electrólisis y contados por centelleo líquido.

El tritio se expresa en unidades de tritio U.T., lo cual se define como la concentración en la que existe un átomo de tritio por cada 10^{18} átomos de hidrógeno.

Una unidad de tritio es equivalente a 7.2 desintegraciones por minuto en un litro de agua, o bien a 2.1 picocuries por litro.

El contenido del tritio producido en forma natural es del orden de 10 U.T. Como consecuencia de las pruebas nucleares, en 1963 se llegó a detectar concentraciones de hasta 6000 U.T. en la estación de Ottawa, Canadá y 3700 U.T. en Colorado, E.U. (figuras 9.9 y 9.10). Su concentración ha venido disminuyendo; actualmente en la Ciudad de México, se detectan concentraciones de tritio en el agua de lluvia del orden 3 U.T. (P.

Morales; Comunicación Personal). El movimiento de masas de aire produce una variación estacional de tritio, en la que en el hemisferio norte se encuentran valores máximos durante el verano y mínimos durante el invierno, como se puede observar en la figura 9.9.

El tritio varía también con la latitud. Por lo general, se observa que en el hemisferio norte su concentración es mayor y de forma similar que sus valores en los continentes son mayores que en los océanos, lo cual se ilustra en la figura No. 9.11, donde se marca la distribución mundial de tritio para el año de 1963. Nótese que actualmente debe de presentar variación, debido al decaimiento radioactivo.

Antes de las explosiones atómicas de principios de la década de los 50's, la cantidad de tritio en el agua de lluvia era de 5 a 10 U.T.; debido al decaimiento radioactivo, el agua que se infiltró en esa fecha, contiene ahora, teóricamente de 0.3 a 0.6 U.T. (el límite de detección del tritio es de ± 0.2 U.T, o sea que si el agua muestreada y analizada por tritio contiene menos de 0.2 U.T., podemos inferir que se trata de agua precipitada hace más de 50 años y se puede denominar "agua antigua").

Con las explosiones atómicas que se realizaron en la década de los 50 y hasta 1963, la cantidad de tritio en la atmósfera aumentó considerablemente, para llegar a tener en nuestro país alrededor de 180 U.T. Por lo tanto, si aplicamos el factor del decaimiento radioactivo al agua de lluvia que recargó los acuíferos entre 1952 y 1963, obtenemos que actualmente tiene entre 1.2 y 20 U.T.

Posteriormente a 1963, la cantidad de tritio en la atmósfera ha ido decreciendo para, aparentemente estabilizarse en nuestros días en 3 y 8 U.T.

En la figura 9.12 se ilustra la posible edad del agua de acuerdo a su contenido actual de tritio, siempre y cuando no hayan existido mezclas.

REFERENCIAS

Cortés A., 1986. Aplicación de la espectrometría de masas y técnicas isotópicas para la determinación de oxígeno 18 y deuterio en problemas hidrológicos. Tesis Profesional, U.N.A.M.

Cortés A., and Farvolden, R. N. 1988. Isotops studies of precipitation and Groundwater in the Sierra de Las Cruces, México.
Submitted to Journal of Hydrogeology.

Custodio, E. 1976. Trazadores y Técnicas Radioisotópicas en Hidrología Subterránea; en Hidrología Subterránea Sección 12 Vol. 2, Editado por E. Custodio y M. R. Llamas; Ediciones Omega, Barcelona, España, np. 1165-1312.

Davis, S. N., and Bentley, H. W. 1982. Dating Groundwater, a short review in Nuclear and Chemical Data Tecniques, Lloyd Curie, Ed., Am. Chemical Society Symposium Series No. 176, Chapter 11, p.p. 187-222.

Davis, S. N., Campbell, D. J. Bentley, H. W., and Flynn, T. J., 1985. Ground water Tracers, Publish by the National Water Well Association. 200 p.

Drever, J. I. 1988, The Geochemistry of Natural Waters. Second Edition. Prentice Hall. 437 p.

Ferronsky, V. I., and Polyakov, V.A., 1982. Environmental Isotopes in the Hydrosphere. John wiley and Sons, Interscience Publications New York, 466 p.

Fritz, P., and J. Ch. Fontes (eds). 1980 Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol. 1, The Terrestrial Environment A. Elsevier, 545 pp.

Fritz, P. 1984. Environmental Isotope Hydrogeology. Tools to Complement the Classical techniques of Physical Hidrology and Geochemistry. University of Waterloo.

Fritz, P., and J. Ch. Fontes (eds) 1986. Hand book of Environmental Isotope Geochemistry, Vol. 2, The Terrestrial Environment B. Elsevier, 557 pp.

Fritz, P., Drimmie, R. J., Frappe, S. K. And O SHEA, K. (1987) The Isotopic Composition of Precipitation and Groundwater in Canada. In: International Simposium on the use of Isotope Techniques in Groundwater resources Development. IAEA. Viena, Austria.

Fontes, J.C., 1980 Environmental Isotopes in Groundwater Hydrology: Hand book of Environmental Isotope Geochemistry. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Vol. 1, 75 p.

Latorre, C., Lesser, J. M., Quijano, L. Y Payne, B. 1980. Isótopos Ambientales Aplicados al Estudio de la Interconexión de los Acuíferos Calizos y de rellenos en la Región Lagunera de Coahuila-Durango, México. Interamerican Symposium on Isotope Hydrology. Bogotá, Colombia, pp. 135-148.

Lesser, J. M. 1974-1980. Aplicación de Isótopos Ambientales en el Estudio de los Acuíferos de: Durango, Sierra del Burro, Coah., Cuautla, Mor., Río Atoyac, Pue., Río Fuerte, Sin., Altiplano Mexicano, Presa San Ildelfonso, Qro., Valle de Tlacolula, Oax., Piedras Negras, Coah., y San Ciro, S.L.P. Informes Inéditos. Biblioteca de la Dirección de Aguas Subterráneas, S.A.R.H.

Lesser, J. M. 1984. Aplicación de Isótopos Ambientales en los Alrededores del Río San Lorenzo, Sin. Boletín de Difusión Técnica y Científica No. 2, Asociación Geohidrológica Mexicana.

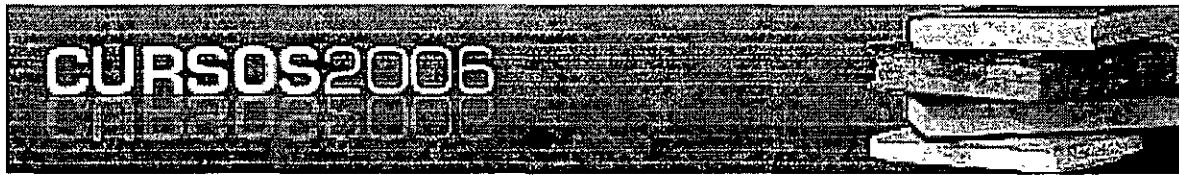
Lesser, J. M. 1987. Dictámen Geohidrológico-Isotópico para definir el funcionamiento y zonas de recarga del campo de pozos del área denominada Ojo de Agua de Patagalana, Municipio de Parras, Coah. Seminario de Hidrología Isotópica. IAEA-ININ, México.

Lesser y Asociados, S.A. 1985. Estudio Isotópico del Acuífero del Valle de México. Elaborado para la D.G.C.O.H. del D.D.F.

Lesser y Asociados, S.A. 1988. Aplicación de Isótopos Ambientales en la Zona de Monclova, Coah. Informe para Altos Hornos de México.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

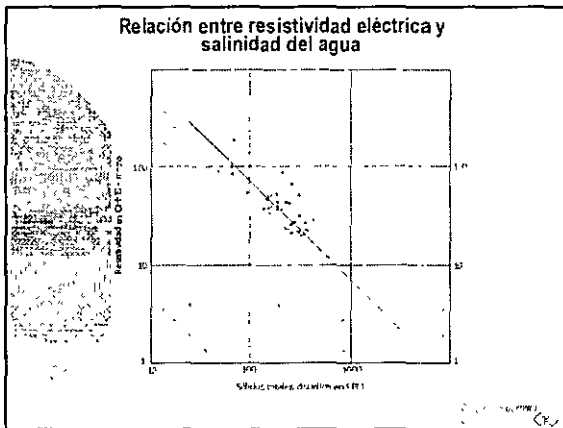
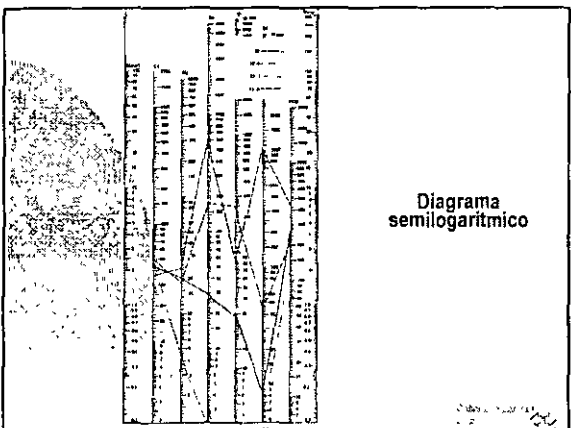
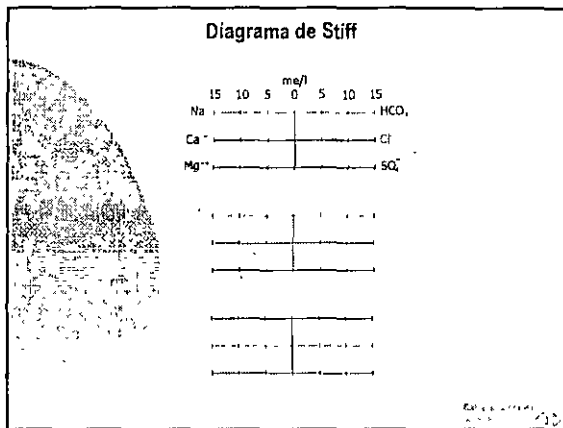
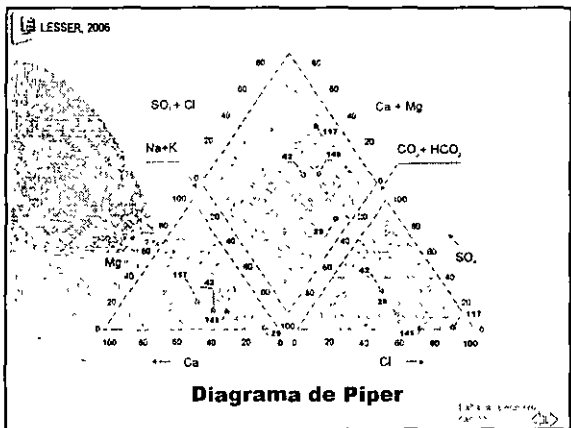
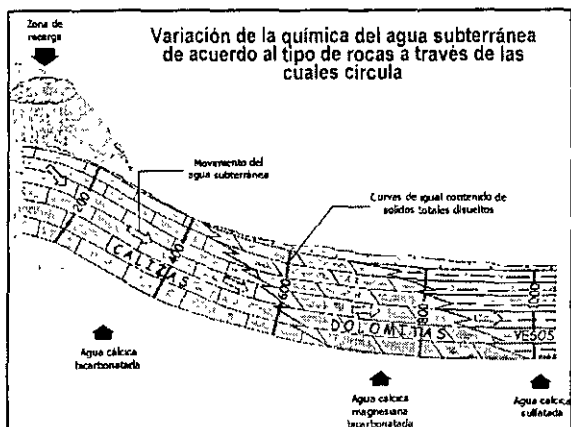
RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

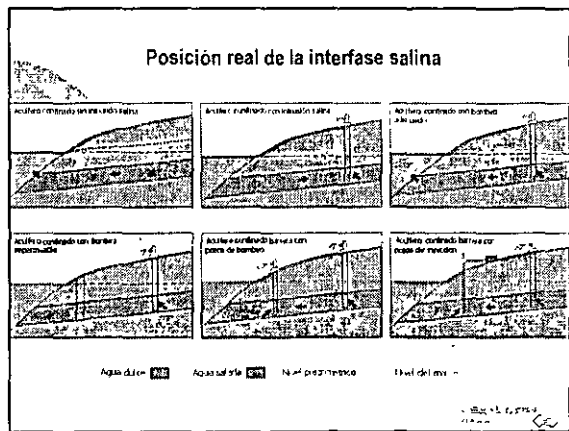
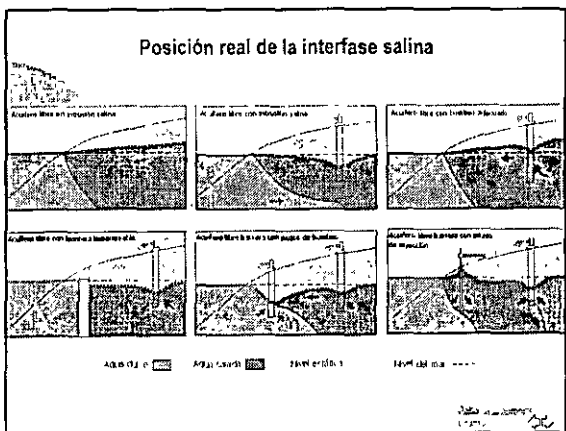
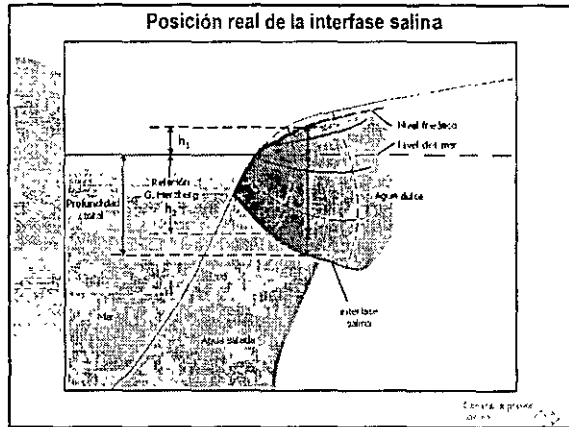
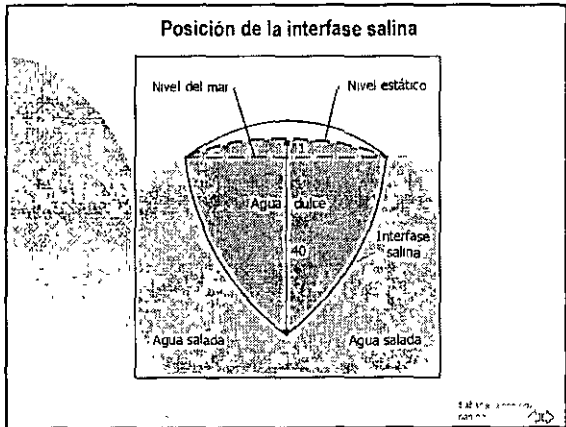
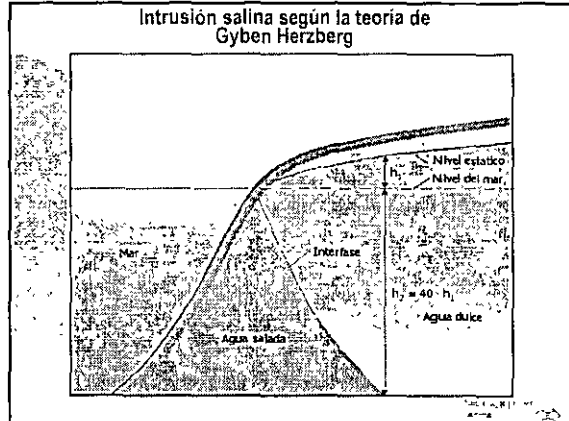
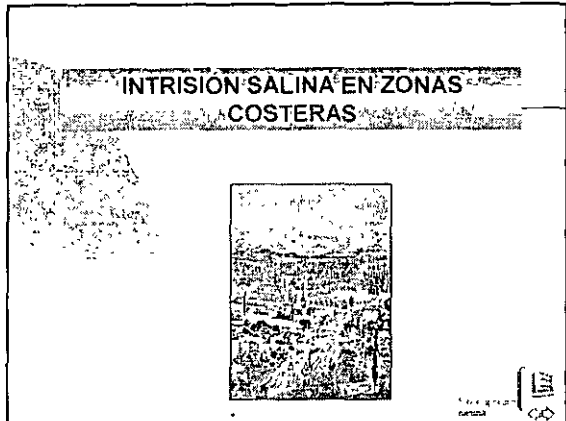
CA 157

TEMA


HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS NATURALES
DIAPOSITIVAS

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**





CALIDAD DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO NOM-127-SSA1-1994(2000)



Lunes 18 de enero de 1993 DIARIO OFICIAL Primer Año

IV. Color Característico:
V. Color Hasta 20 unidades de la escala de platino cobalto, o su equivalente en otro método, y
VI. Turbidez: Hasta 10 unidades de la escala de sílice, o su equivalente en otro método.

ARTICULO 212 - El contenido, expresado en miligramos por litro, de elementos tóxicos y sustancias, no excederá los límites permisibles que a continuación se expresan:

Alcalinidad Total expresada como CaCO ₃	475.00
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	1.70
Cadmio	0.005
Cianuro expresado como CN	0.03
Cobalto	1.50
Cromo libre En agua clorada	0.30
En agua sobre clorada	1.00
Cromo hexavalente	0.03
Dureza de Calcio expresada como CaCO ₃	500.00
Fenoles y compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros expresada como flúor	1.50
Manganeso	0.05
Molibdeno	0.01
Mercurio	0.001
Nitratos expresados como nitrógeno	3.00
Nitritos expresados como nitrógeno	0.03
Nitrógeno orgánico	0.10
Oxígeno consumido en medio ácido	2.00
Ploomo	0.05
Selenio	0.01
Sulfatos, expresados como SO ₄	2,000.00

Límites Norma Oficial Mexicana

Turbidez 5 unidades de turbidez nefelométrica (UNT) o su equivalente en otro método.

4.3 LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

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.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Arsénico	0.05
Bario	0.05
Berilio	0.005
Cadmio	0.07
Cianuro (como CN)	0.05-1.00 (depende de un tiempo de contacto mínimo de 20' - 10')
Cromo residual libre	0.30
Cromo como Cr	250.00
Cromo total	3.00
Dureza total (como CaCO ₃)	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles y compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F)	1.50
Fósforo (como PO ₄ - P)	0.10
Manganeso	0.10
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05

Límites Norma Oficial Mexicana

Límites permisibles de metales pesados en relación a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y en solución.

Cadmio (como Cd)	0.01
Cromo hexavalente	0.03
Cobalto y especies de níquel	20.00
Cromo	90.00
Cromo	0.025
Cromo	200.00
Cromo disuelto total	1000.00
Cromo (como SO ₄)	400.00
Cromo soluble de alto de metales	0.00
Cromo soluble total	0.00
Zinc	0.00

4.4 LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS RADIACTIVAS

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

RADIATIVIDAD ALFA GLOBAL	0.1
RADIATIVIDAD BETA GLOBAL	1.0

5. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

La potabilización del agua comprende de una forma un particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de fiabilidad a nivel de laboratorio para determinar su efectividad.

5.1 Caracterización biológica

AGUA

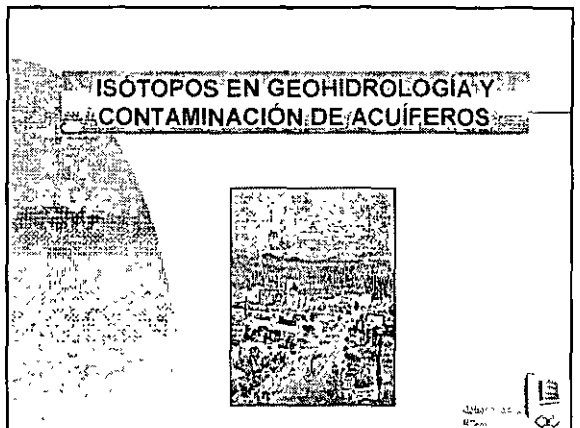
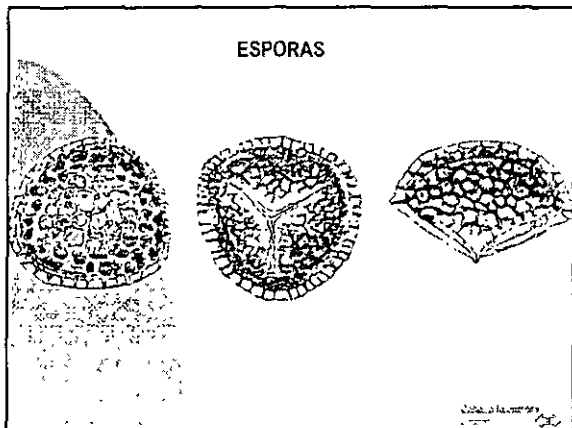
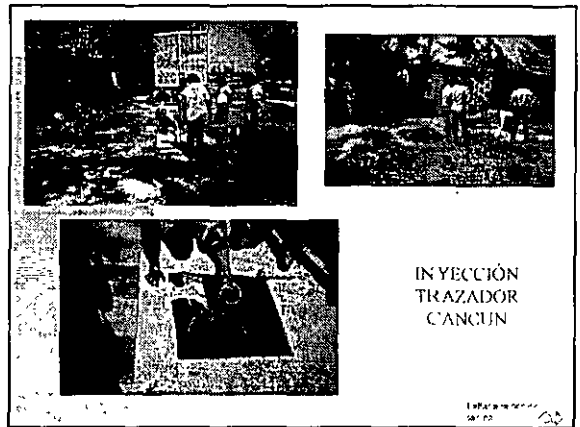
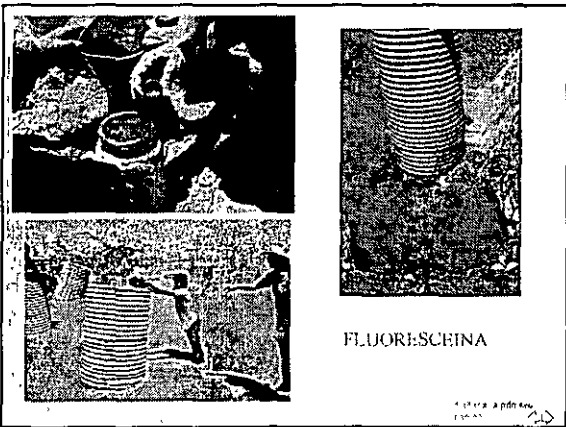
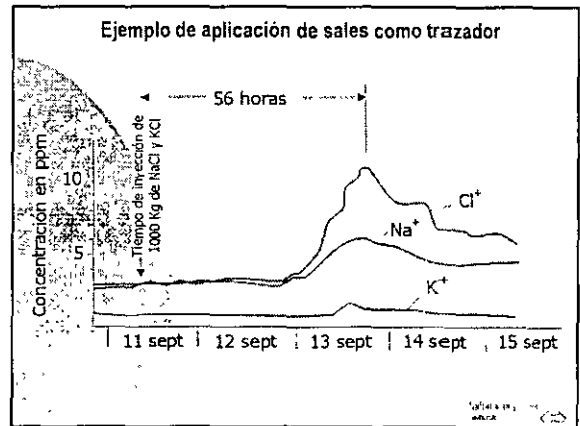
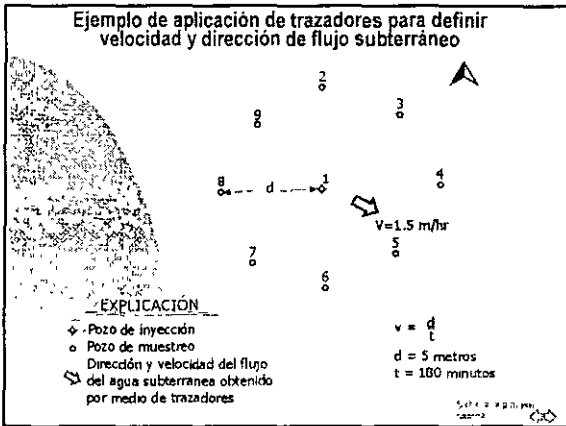
NOM-127

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Arsénico	0.05
Bario	0.05
Berilio	0.005
Cadmio	0.07
Cianuro (como CN)	0.05-1.00 (depende de un tiempo de contacto mínimo de 20' - 10')
Cromo residual libre	0.30
Cromo como Cr	250.00
Cromo total	3.00
Dureza total (como CaCO ₃)	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles y compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F)	1.50
Fósforo (como PO ₄ - P)	0.10
Manganeso	0.10
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05

LÍMITES PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS EN AGUA EN MÉXICO

HIDROCARBUROS MONOCICLÁRICOS (mg/l)		HIDROCARBUROS POLICICLÁRICOS (ng/l)		
Ley Federal de Derechos en Materia de Agua - CNA 1989				
rosajón	benzoceno 0.010	acenafeno	0.020	
	tolueno 0.700			
	estilbeneno 0.300			
Criterios Ecotóxicos de Calidad del Agua - DOF, 1989				
Fuente de abastecimiento de agua potable	benzoceno	0.010	acenafeno	0.020
	tolueno	14.300	fluoranteno	0.040
	estilbeneno	1.400		
NOM-127-SSA1-1994 (2000)				
Límite de consumo humano	benzoceno	0.010		
	tolueno	0.700		
	estilbeneno	0.300		
	xileno	0.500		

AGUA

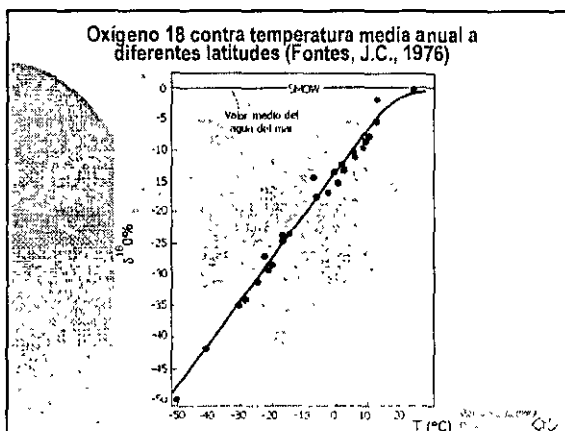
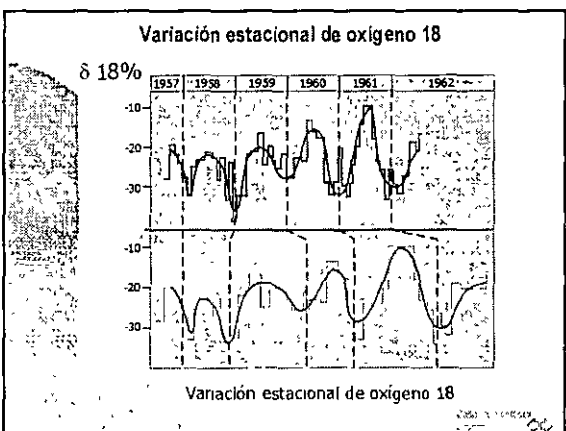
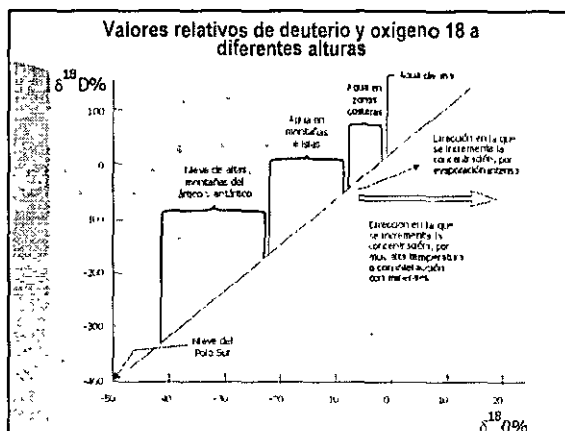
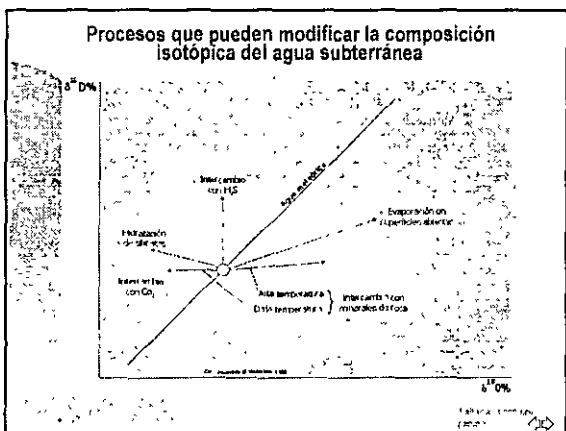
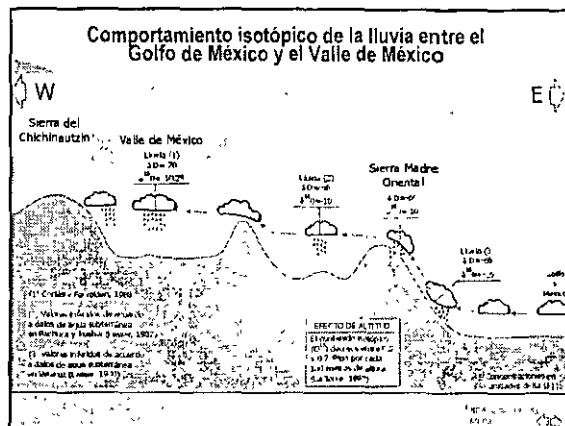


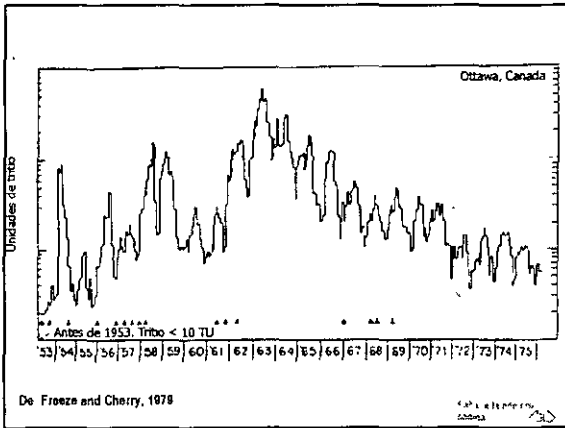
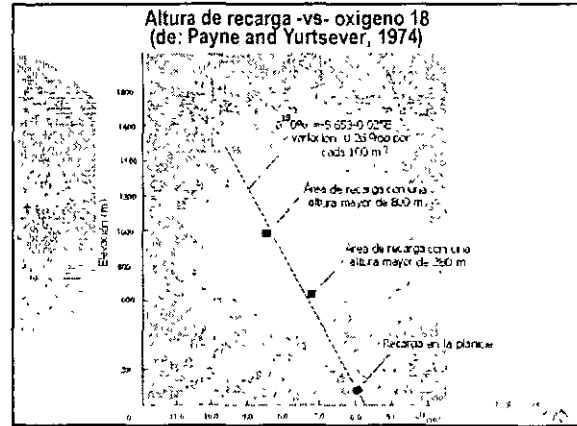
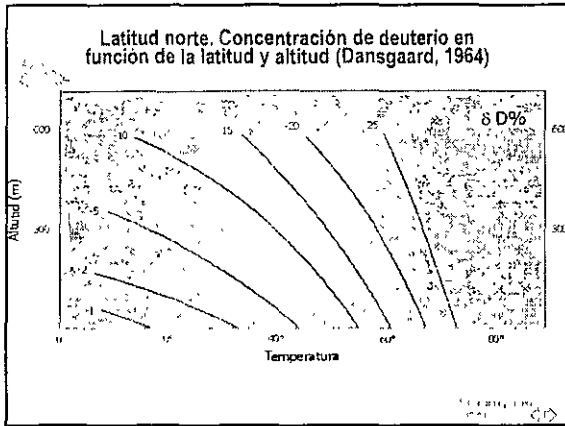
ISOTOPOS DEL HIDRÓGENO

- H1 Elemento natural
- H2 Isótopo del hidrógeno (Deuterio)
- H3 Isótopo del hidrógeno Radioactivo (Tritio)

ISÓTOPOS DEL OXIGENO

- O16 Elemento natural
- O18 Isótopo del oxígeno (Oxígeno 18)

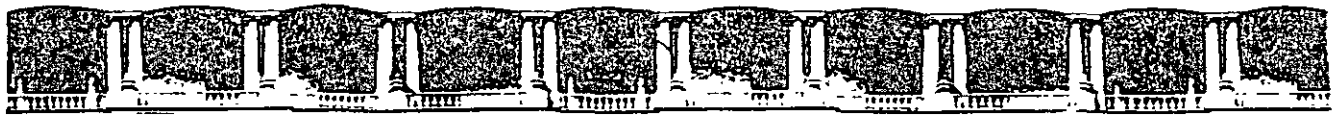




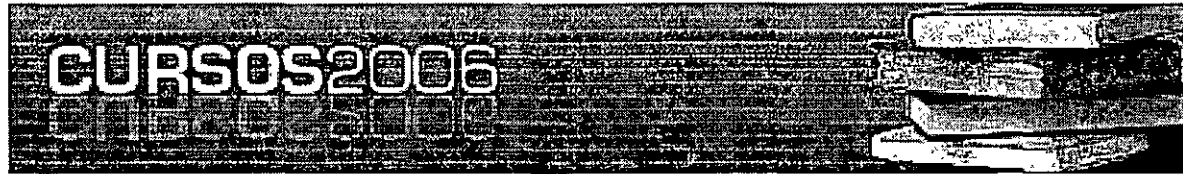
Hidrogeoquímica

- GENERALIDADES
- INTRUSION SALINA
- CALIDAD DEL AGUA
- TRAZADORES
- ISOTOPOS

• Por Ing. Juan Manuel Lesser



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

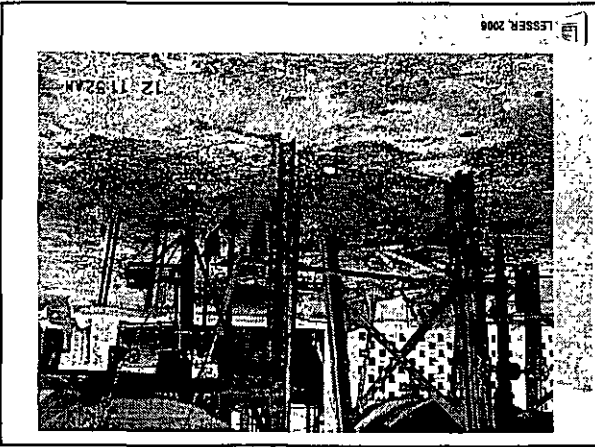
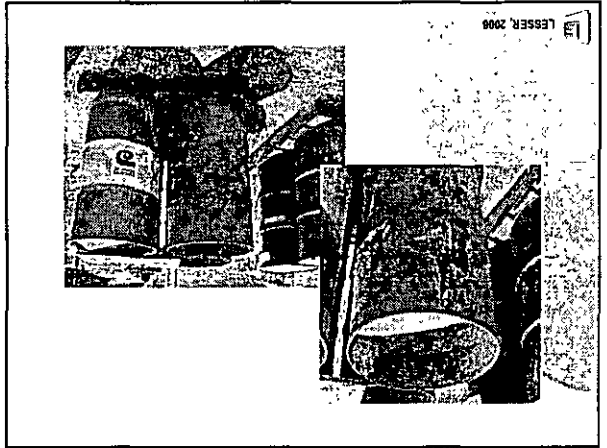
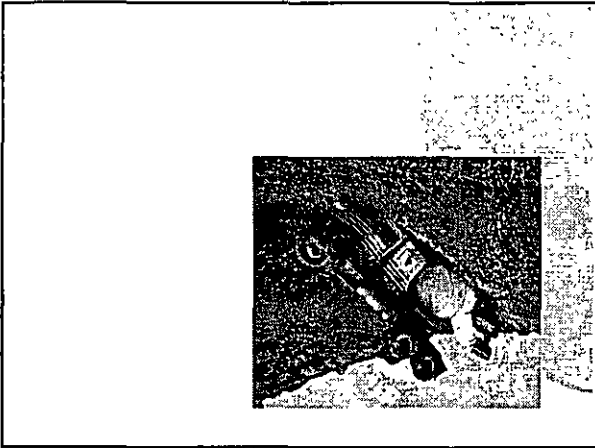
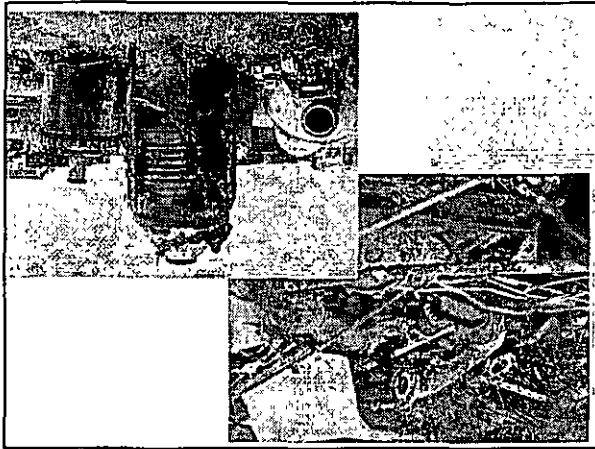
RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA-157

TEMA

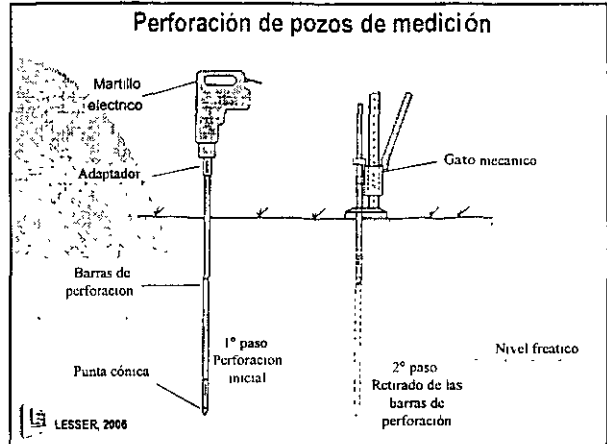
LA CONTAMINACIÓN

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**



PERFORACION DE POZOS DE MEDICION

LESSEr, 2006



Perforaciones de medición

Espacio requerido
3 x 3 m

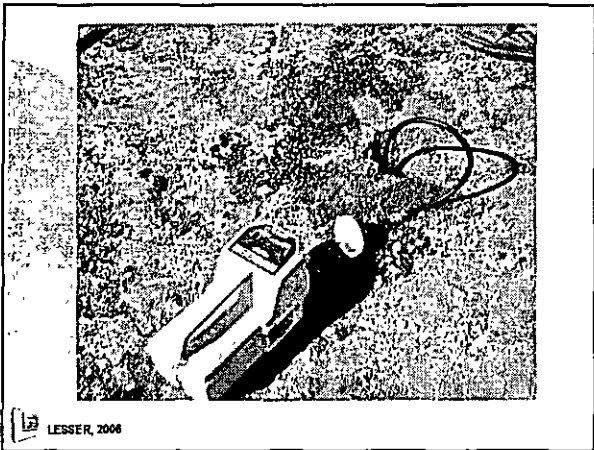
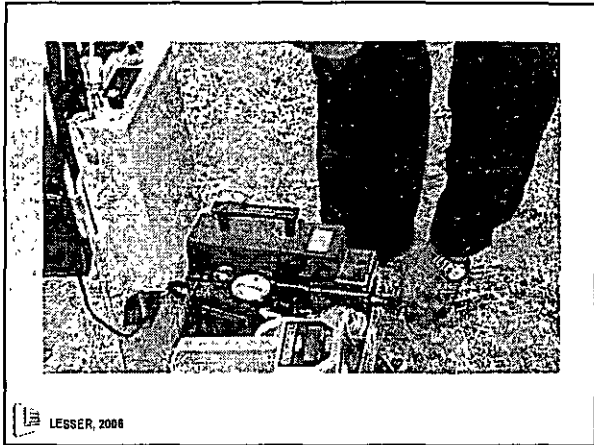
Tiempo por perforación
30 minutos por pozo

LESSEr, 2006



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

LESSEr, 2006



- HIDROCARBUROS VOLÁTILES = 8,000 ppm
- EXPLOSIVIDAD = 100%

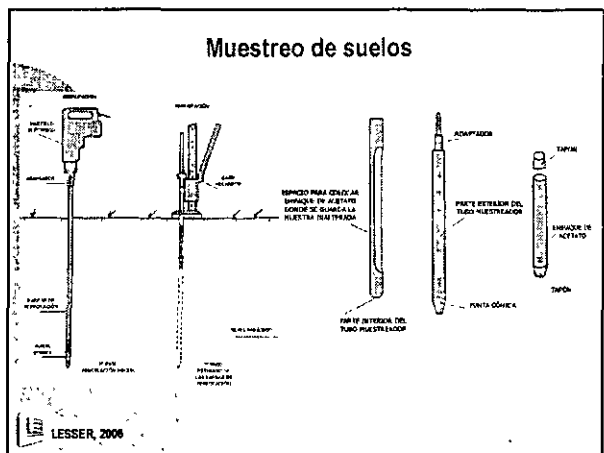
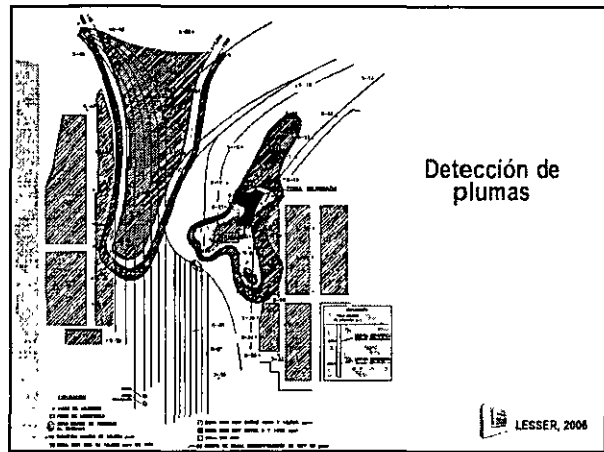
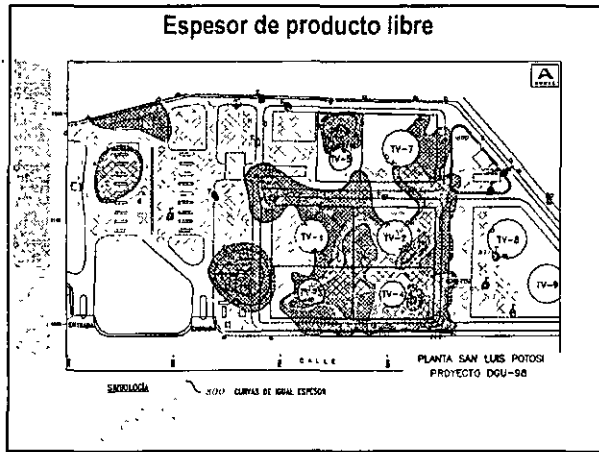
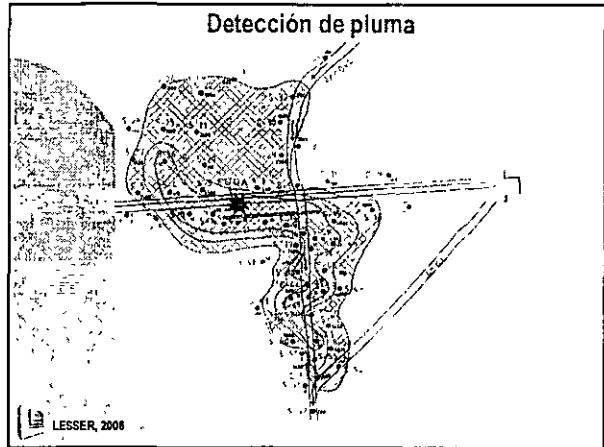
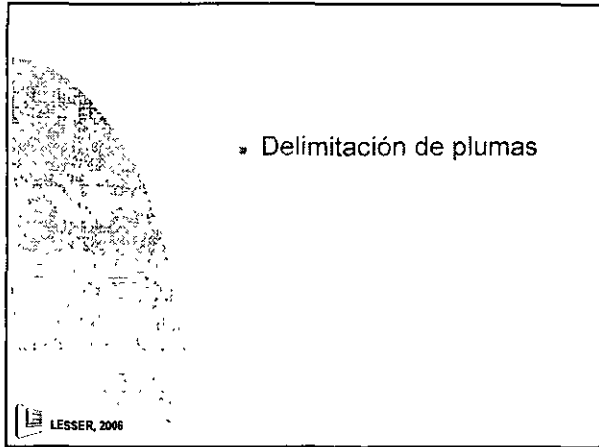
HIDROCARBUROS VOLÁTILES = 55 ppm
EXPLOSIVIDAD = 0%

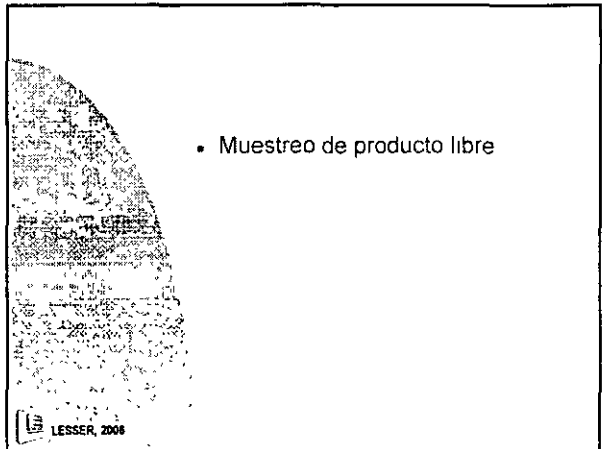
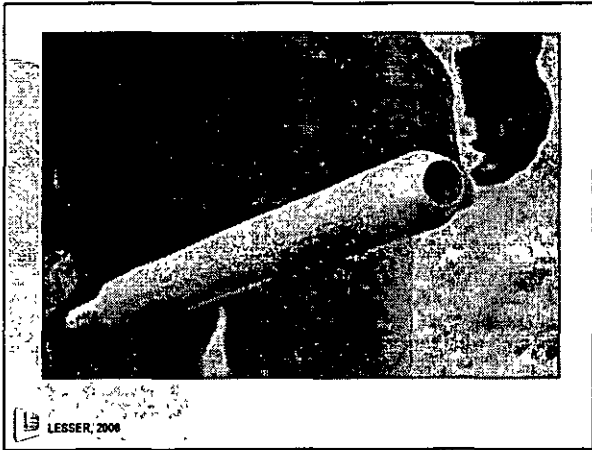
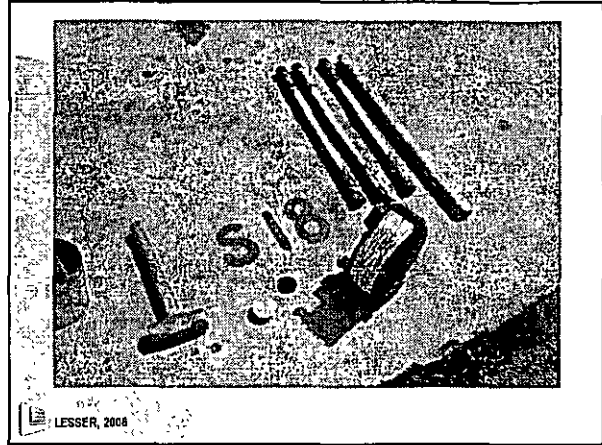
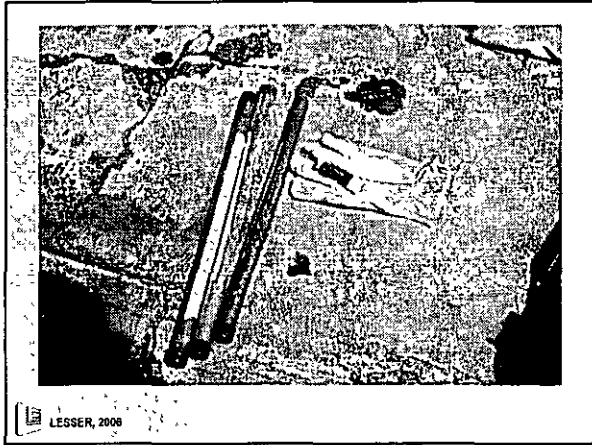
LESSLER, 2006

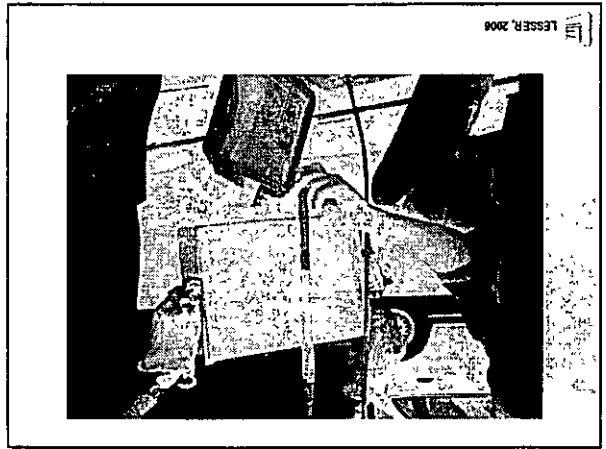
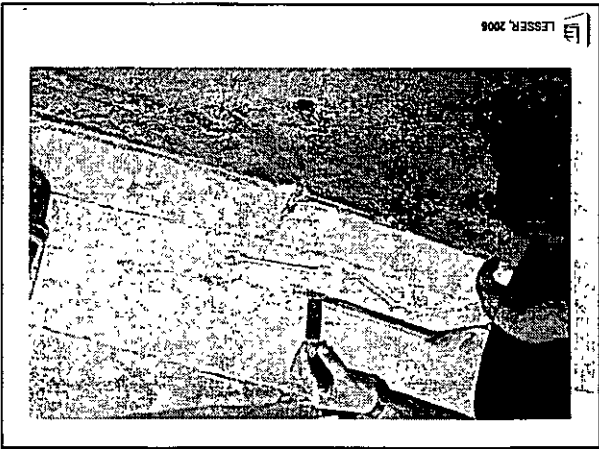
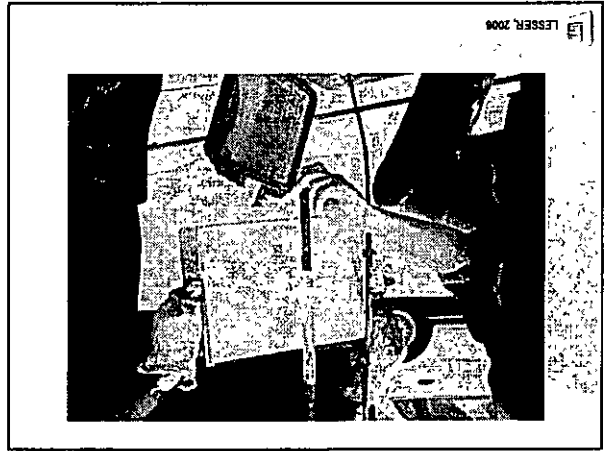
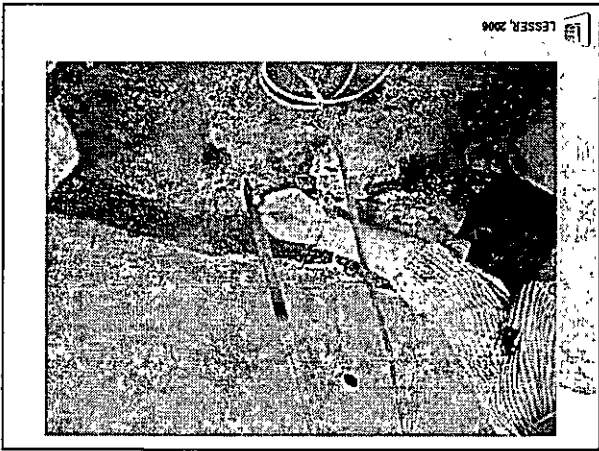
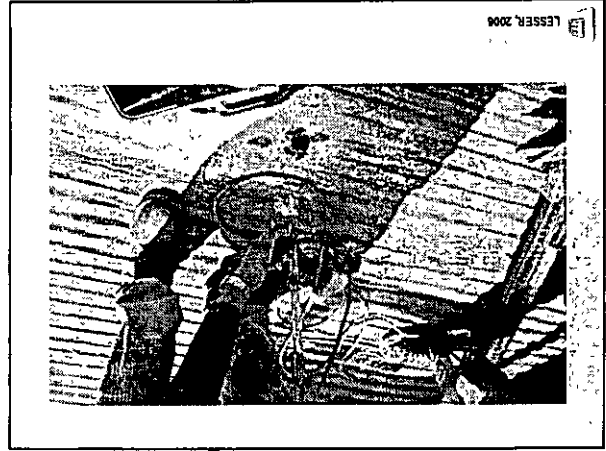
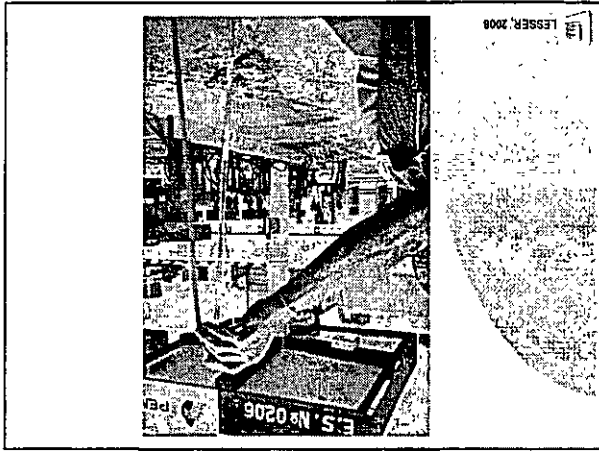
RESPUESTA DE LOS MEDIDORES DE VOLÁTILES

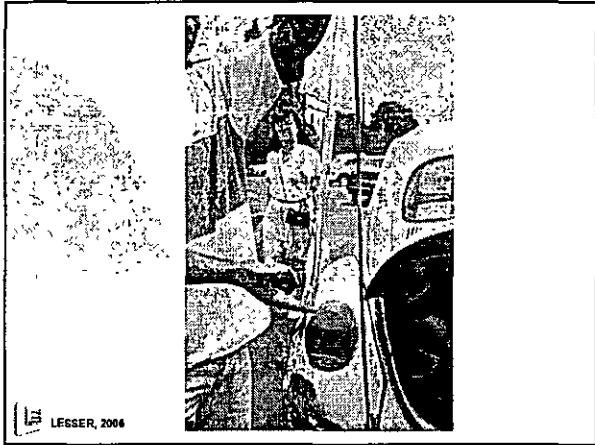
EN GASOLINA RESPUESTA FRANCA, CLARA	EN DIESEL RESPUESTA LENTA, SE MUEVE EL MARCADOR
---	--

LESSLER, 2006

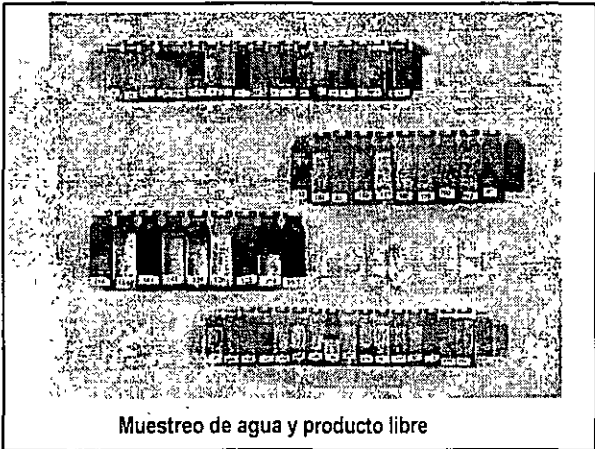
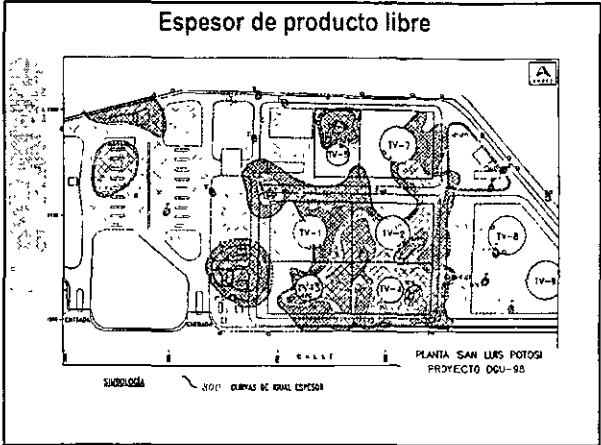




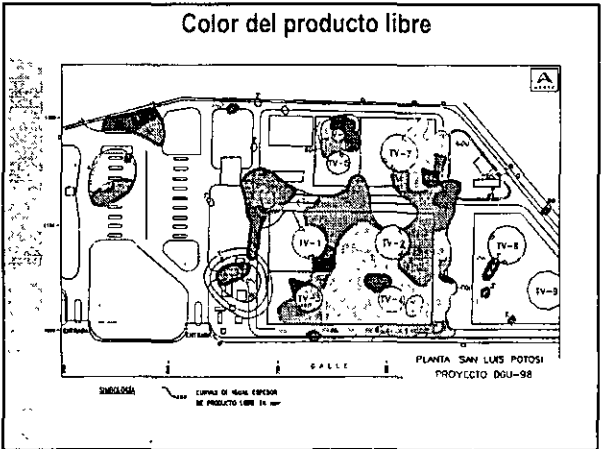




LESSER, 2006



Muestreo de agua y producto libre



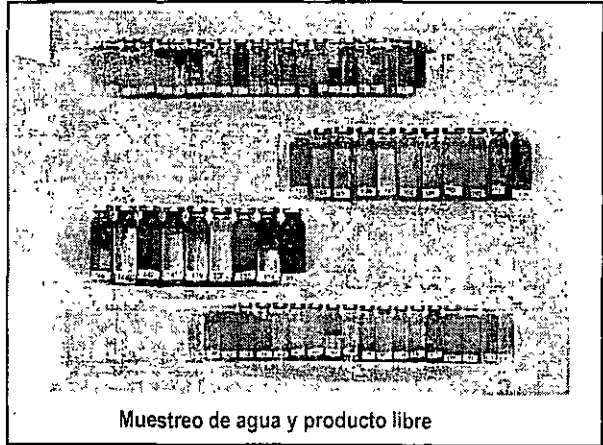
LESSER, 2006



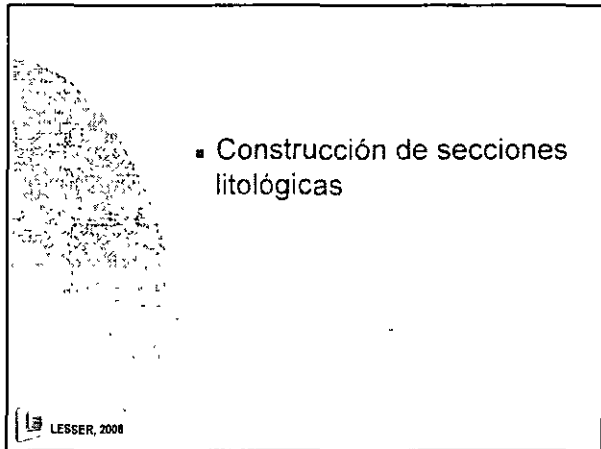
LESSER, 2006



LESSER, 2006

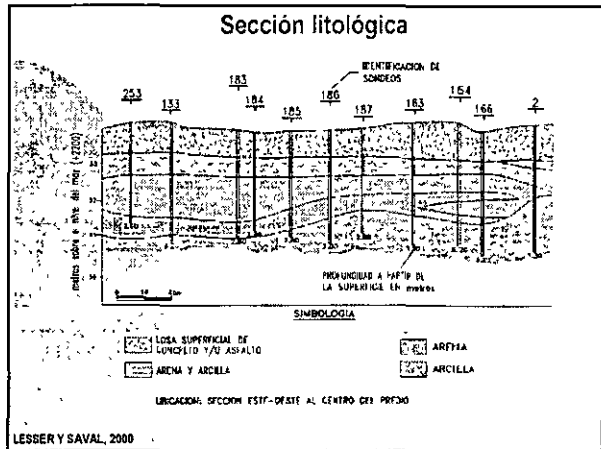


Muestreo de agua y producto libre

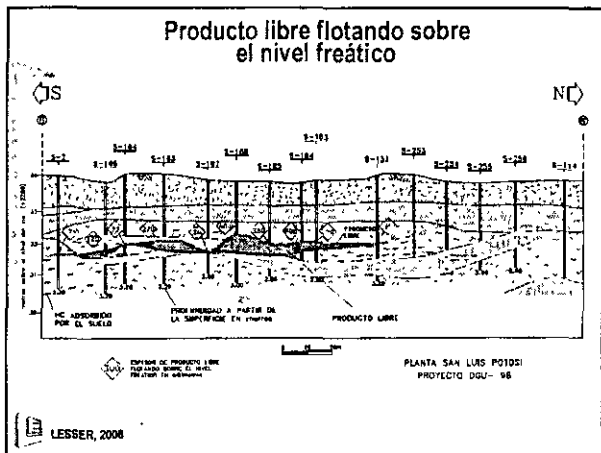


- Construcción de secciones litológicas

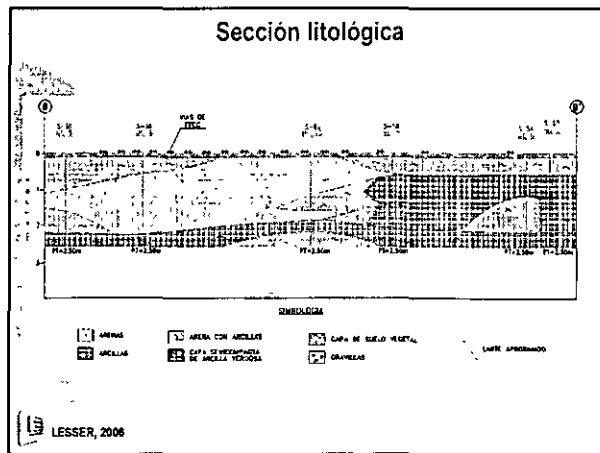
LESSER, 2008



LESSER Y SAVAL, 2000

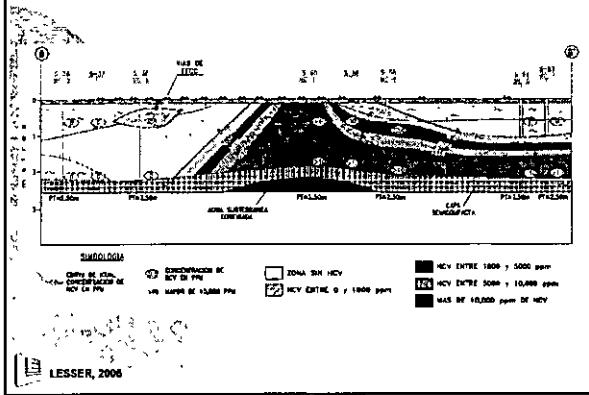


LESSER, 2008

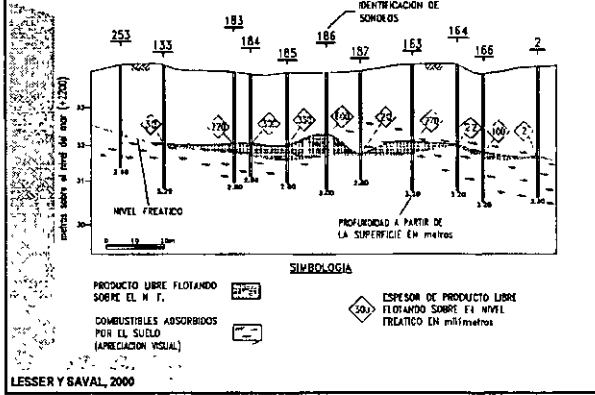


LESSER, 2008

HCs volátiles en el subsuelo

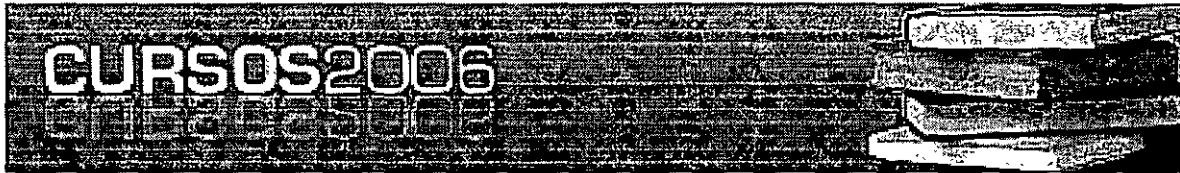


Sección mostrando el espesor de producto libre flotando sobre el nivel freático y horizonte con hidrocarburos adsorbidos en el suelo





FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS
CA 157

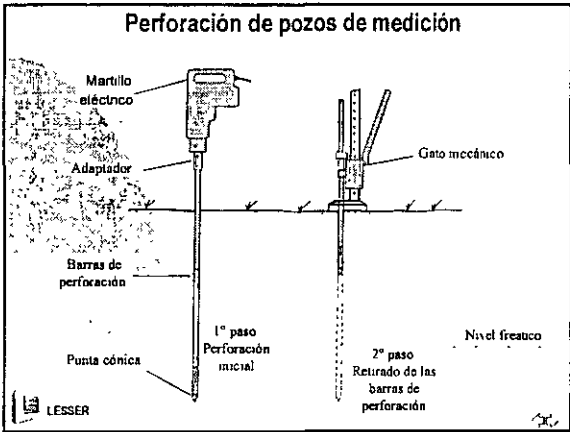
TEMA

MÉTODOS DE PROYECCIÓN Y PERFORACIÓN

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

METODOS DE PROSPECCION Y PERFORACION

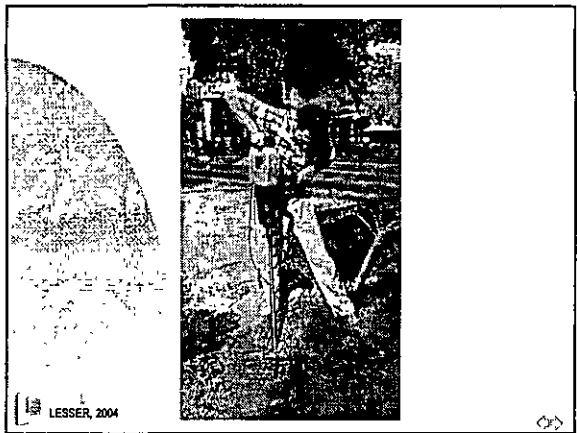
PERFORACION DE POZOS DE MEDICION

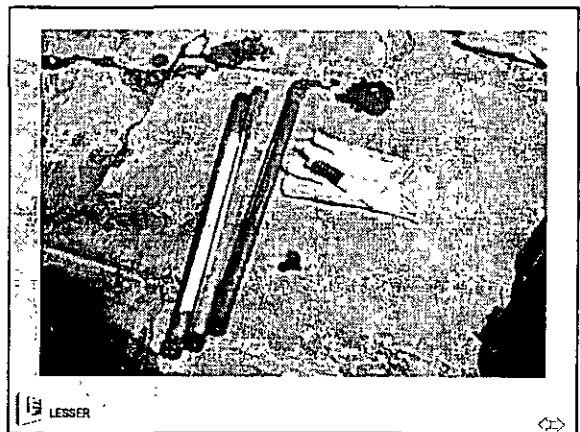
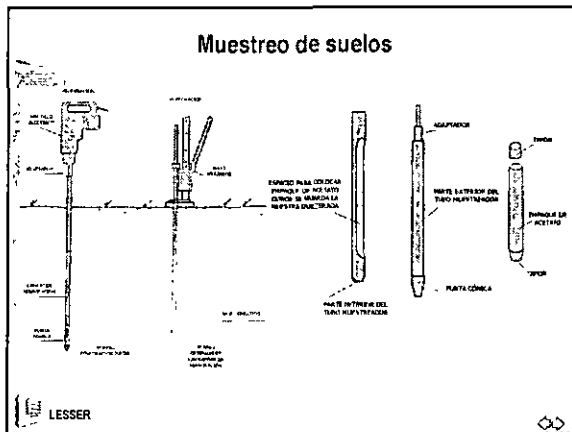
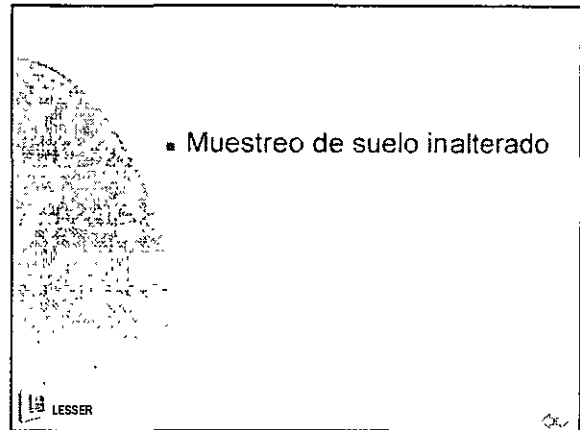
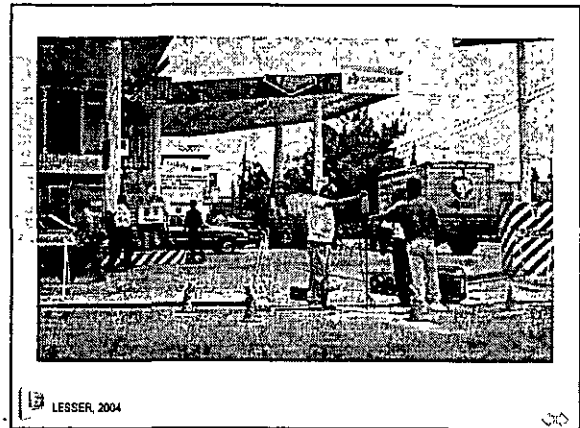
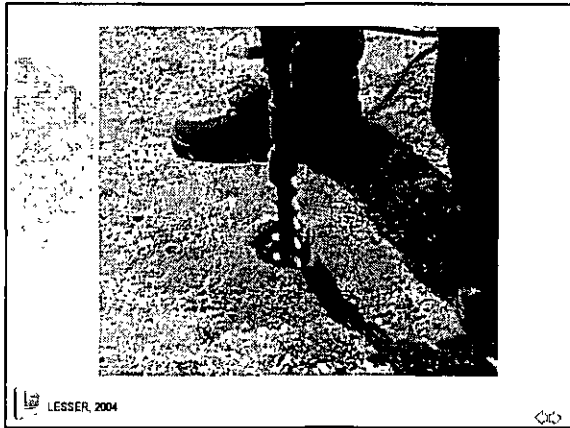


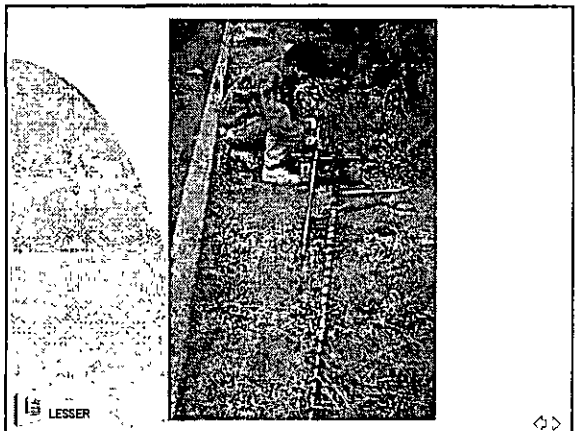
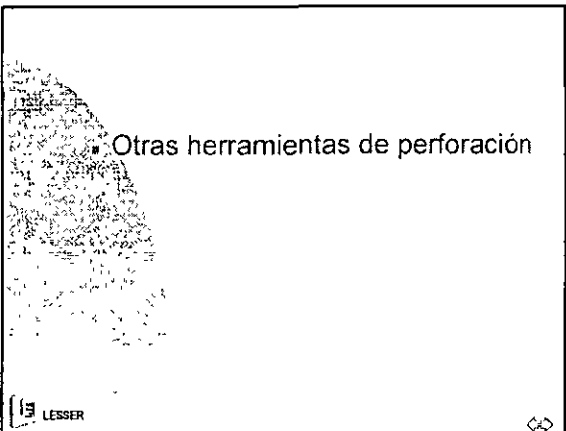
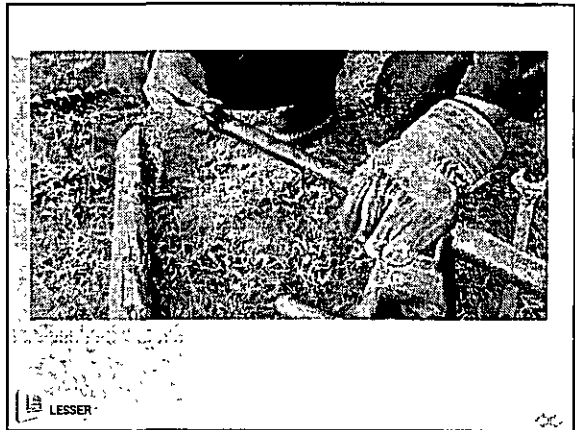
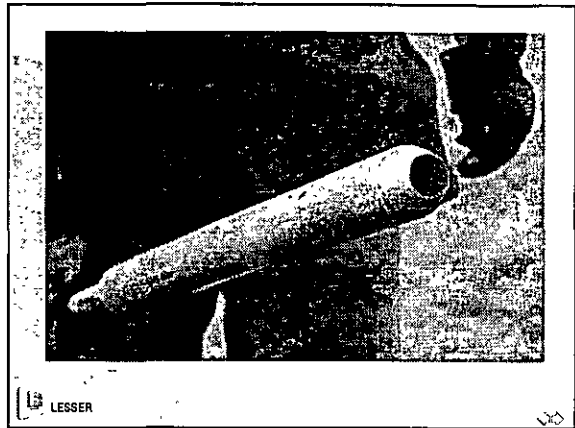
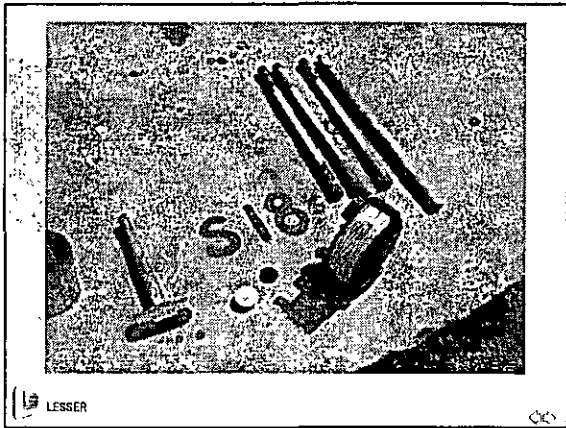
Perforaciones de medición

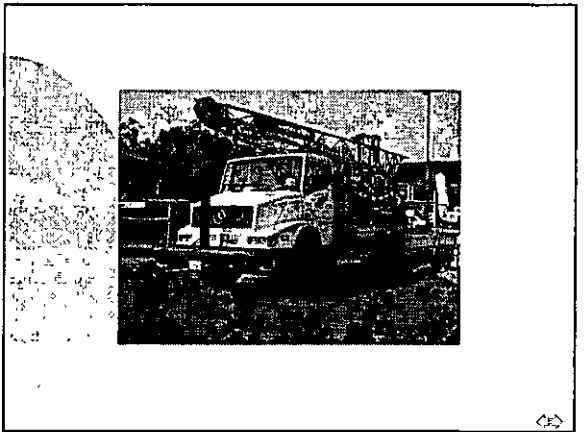
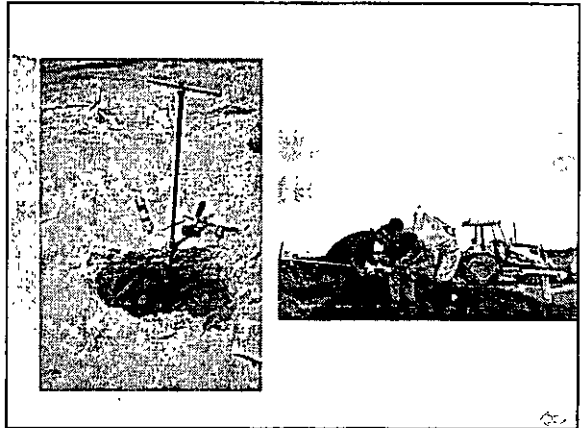
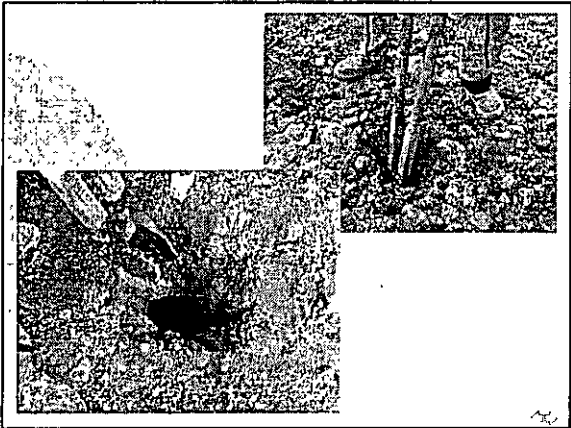
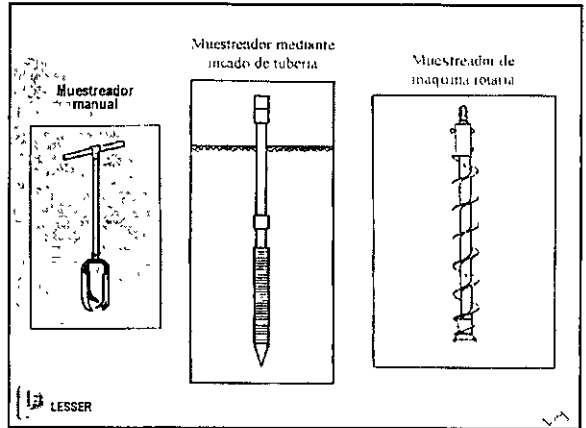
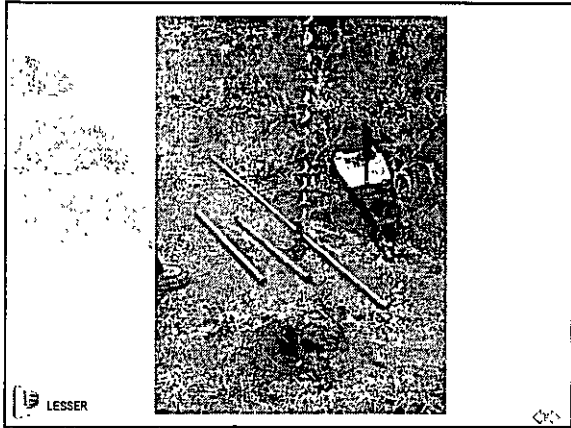
Espacio requerido
3 x 3 m

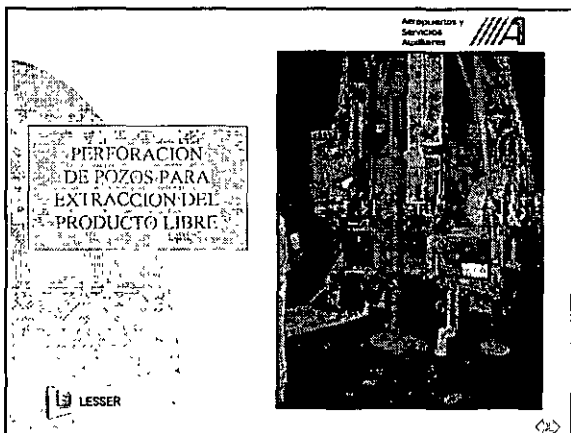
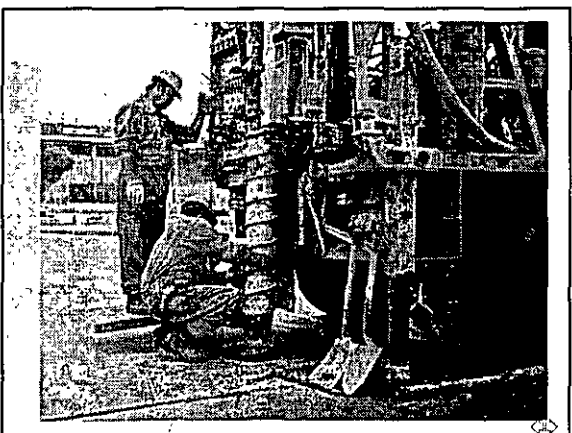
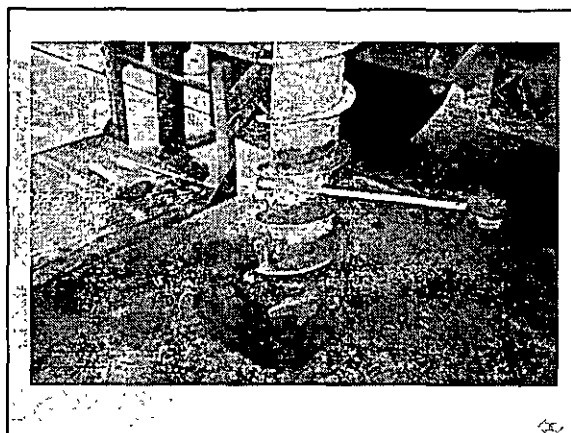
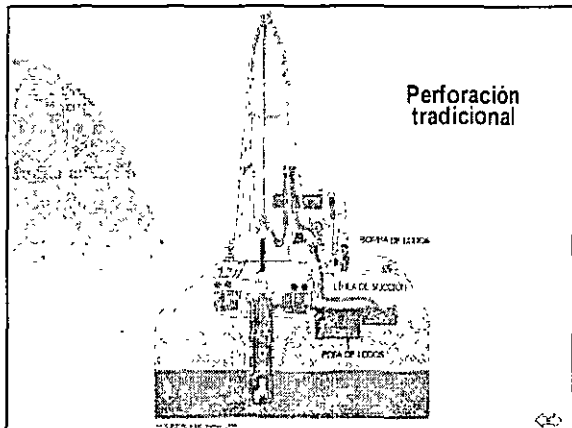
Tiempo por perforación
30 minutos por pozo

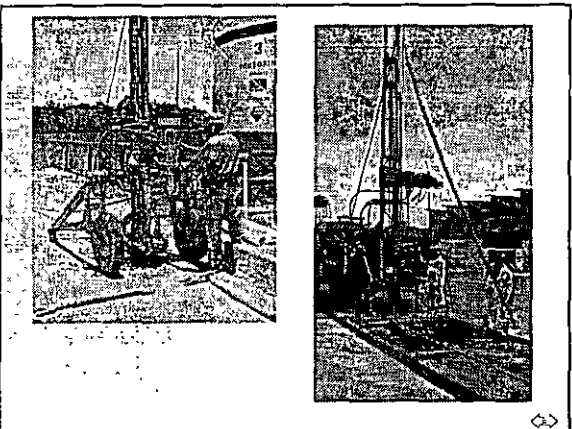
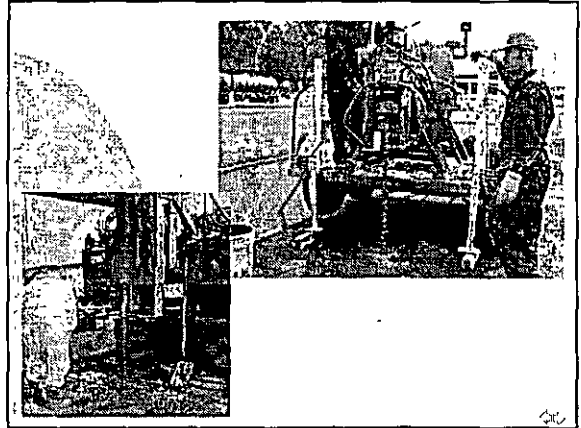
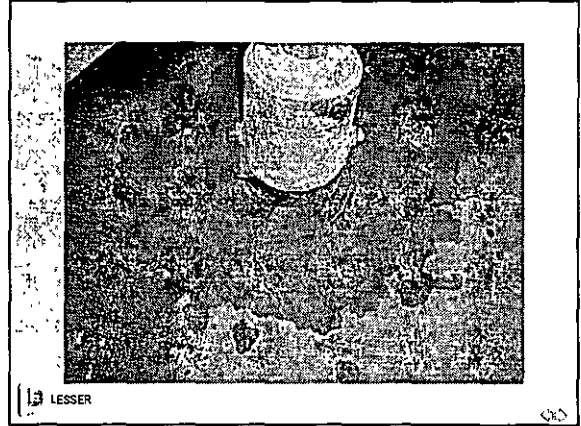
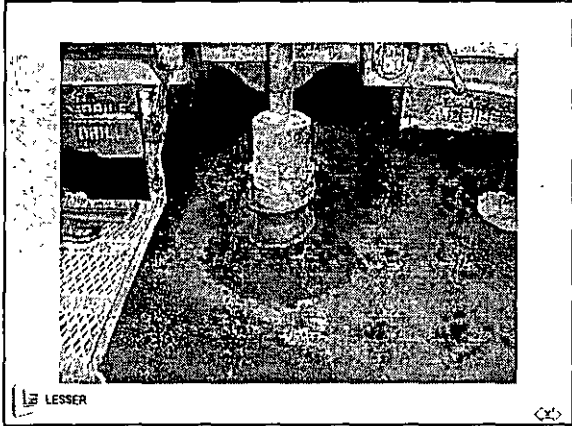


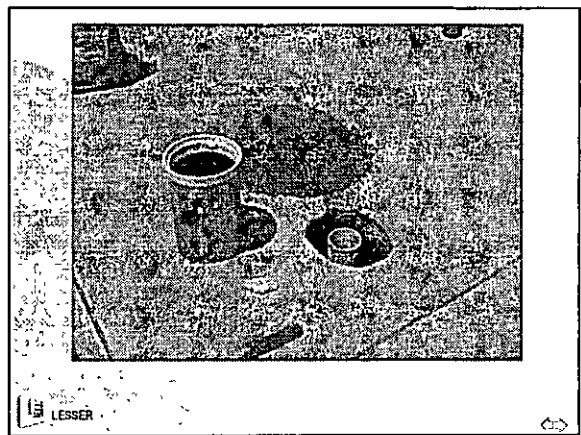
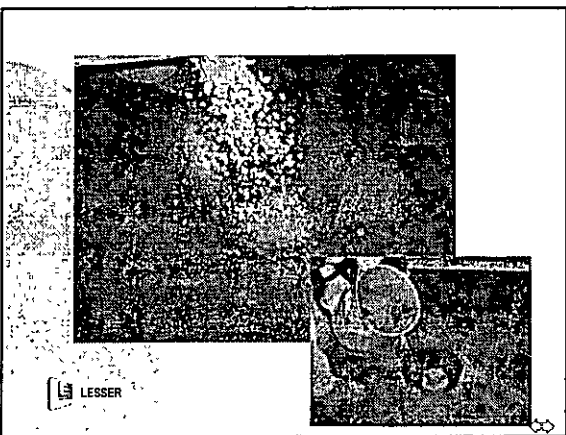
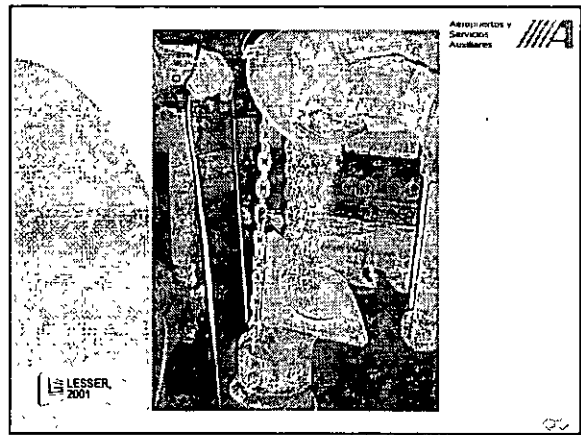
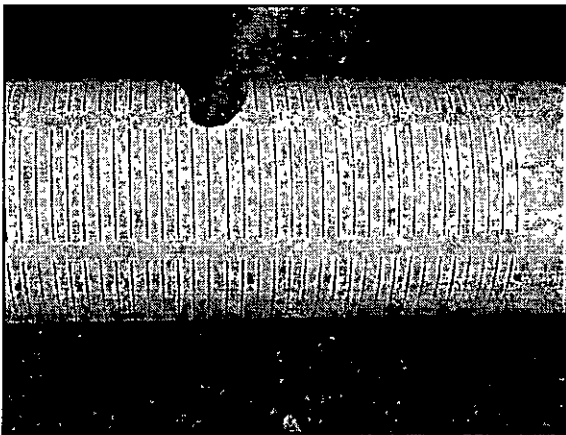
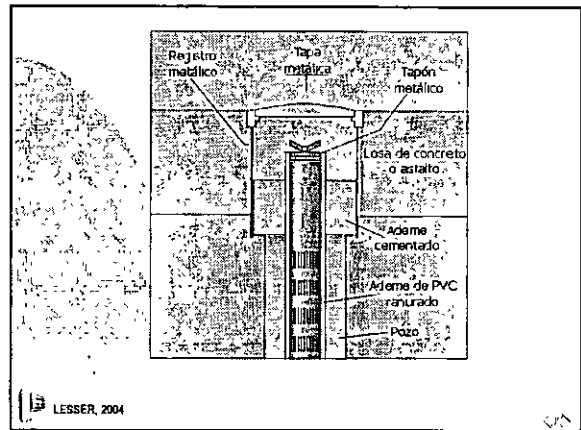
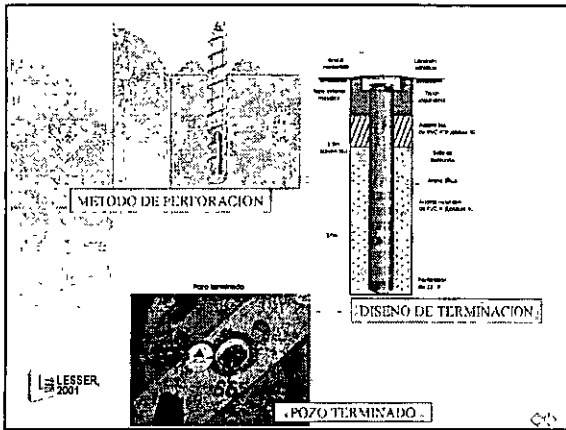


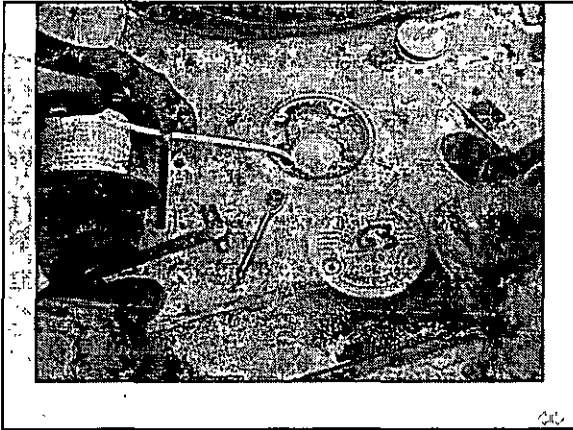
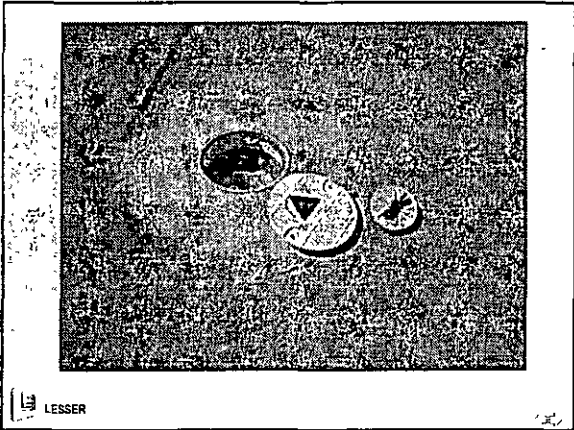
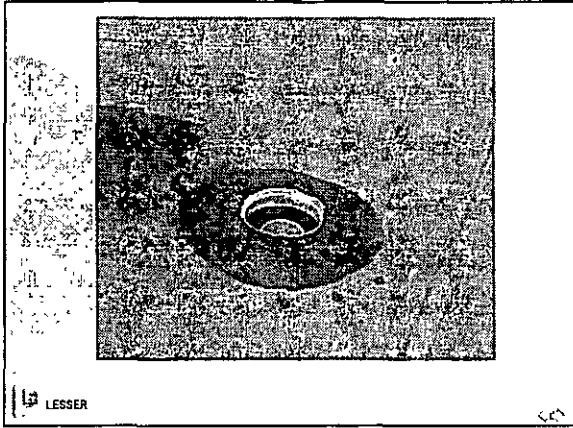
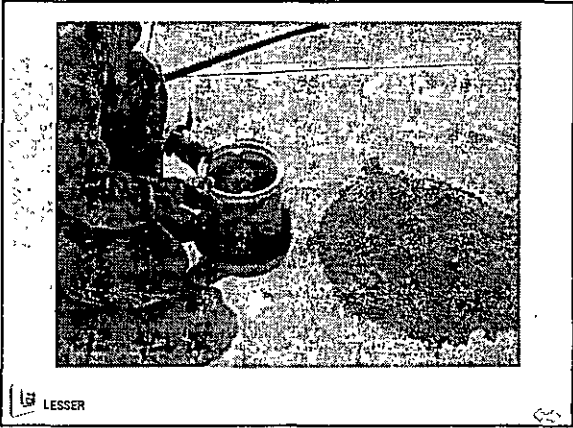


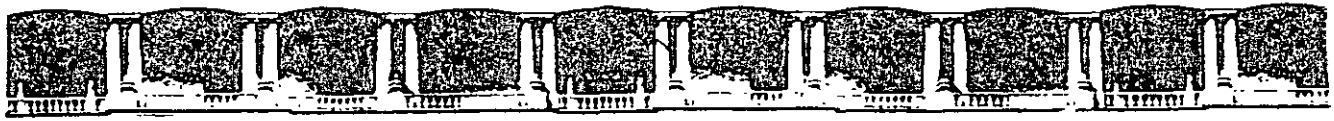




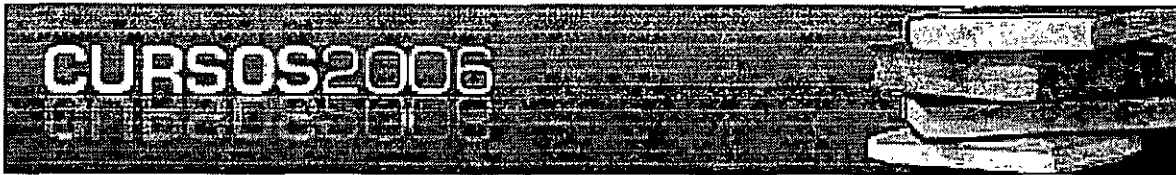








FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA-157

TEMA

PRINCIPALES HIDROCARBUROS CONTAMINANTES
DE SUELOS Y ACUÍFEROS:
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

PRINCIPALES HIDROCARBUROS CONTAMINANTES DE SUELOS Y ACUÍFEROS: IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Ing. Juan Manuel Lesser

Dra. Susana Saval

INTRODUCCIÓN

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. Entre los combustibles destilados del petróleo más comunes, se encuentran gasolina, kerosina o queroseno, turbosina, diesel, gasóleo y combustóleo.

La química de los hidrocarburos es bien conocida, sin embargo, su estudio como contaminantes de suelo y agua subterránea se ha desarrollado hasta las últimas décadas. Una de las técnicas más útiles durante la prospección de sitios contaminados es el análisis mediante cromatografía. A partir de ello es posible identificar el tipo de combustibles presentes y cuantificar algunos de sus componentes específicos más importantes, esto constituye una valiosa herramienta en la definición de la fuente de contaminación y en la determinación del grado de toxicidad y riesgo a la salud.

CONSTITUYENTES DEL PETRÓLEO

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, compuestos heterocíclicos, asfaltenos y resinas. Los hidrocarburos que son los que se encuentran en mayor proporción, están constituidos básicamente por átomos de carbono e hidrógeno con diversas conformaciones moleculares que corresponden a diversas entidades químicas. Incluye compuestos que van del más sencillo que es el metano (C1) a compuestos muy complejos que pueden tener hasta cerca de C100. El número de átomos de carbono es una función directa del peso molecular de un compuesto. En la Fig. 1 se presentan de manera esquemática los constituyentes del petróleo.

Los hidrocarburos del petróleo pueden ser saturados (alcanos) y no-saturados (alquenos). Los saturados se caracterizan por tener enlaces sencillos entre los átomos de carbono, mientras que

los no-saturados tienen dobles ligaduras. En cualquiera de los dos grupos químicos, hay cadenas lineales y cíclicas. Además, en los alcanos y alquenos lineales, los arreglos moleculares pueden ser estructuras de cadena recta o ramificada. Estas estructuras químicas se presentan también en la Fig. 1.

Los alquenos cíclicos se conocen más comúnmente como aromáticos, este nombre proviene de su característica de aromaticidad que es la capacidad de movimiento de electrones que tiene la doble ligadura conjugada dentro del anillo de carbonos, por ello al representar la estructura química se dibuja un círculo al centro del anillo. Entre estos hidrocarburos aromáticos se identifican los monoaromáticos y los poliaromáticos, que como su nombre lo indica poseen un o varios anillos. En la Fig. 1 se presenta una lista de ejemplos típicos y se hace referencia al tipo de compuesto que pertenece.

El petróleo como tal, tiene poca utilidad, su gran importancia es como materia prima para la producción de los combustibles de mayor uso en el mundo. Después de someter el petróleo a muy altas temperaturas mediante el proceso de “cracking” le sigue la destilación, en la que a diferentes intervalos de temperatura, se obtienen los diferentes combustibles. En la Fig. 2 se presenta un esquema de destilación y en la Fig. 3 se ilustran los intervalos de temperatura de destilación que corresponden a los combustibles más comunes.

Los gases que generalmente poseen de C1 a C4, se obtienen a temperaturas muy bajas, menores a 30 °C, le siguen gasolina, gasolvente y gasnafta con un intervalo aproximado entre C4 y C12 los cuales destilan entre 30 y 225 °C y poseen los compuestos con menor peso molecular. Posteriormente destilan kerosina, diesel y gasóleo con C11 a C25, que destilan a temperaturas entre 130 y 370 °C, ya que contienen estructuras de mayor peso molecular que las gasolinas. La fracción de aceites contiene entidades entre C20 y C70 y se obtienen a temperaturas entre 250 y 500 °C. Finalmente, el combustóleo que es el residuo de destilación, contiene los hidrocarburos de más alto peso molecular los cuales son también los más complejos.

Cada combustible es una mezcla de una gran cantidad de hidrocarburos, por ejemplo, la gasolina contiene por lo menos 120 compuestos químicamente diferentes, mientras que el diesel tiene más de 140 hidrocarburos todos ellos diferentes entre sí, tanto por su peso molecular como por su estructura química. La kerosina, conocida también como queroseno o diáfano, presenta una menor diversidad de compuestos.

HIDROCARBUROS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

Para cada combustible existen hidrocarburos típicos, de aquí que cuando se detecta contaminación en suelos y acuíferos, éstos se buscan como indicadores de la presencia de combustibles. Particularmente se buscan aquellos que por sus características puedan representar un riesgo a la salud de la población circundante. Estos indicadores son los hidrocarburos aromáticos, mono y polinucleares, los cuales por naturaleza son tóxicos y varios de ellos han mostrado ser cancerígenos.

Para el caso de la gasolina, los hidrocarburos indicadores son: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (los isómeros *orto-*, *meta-* y *para-*), en conjunto se conocen comúnmente como BTEX. En los combustibles estos monoaromáticos se encuentran en baja proporción, por ejemplo, en la gasolina el benceno se encuentra entre 0.12 y 3.5% y el naftaleno entre 0.09 y 0.49%. El tolueno es el que si puede alcanzar porcentajes mayores, de hasta 21.8% como se indica la Tabla 1. Lo que si es un hecho es que los BTEX se encuentran en mayor proporción en la gasolina que en el diesel, mientras que los poliaromáticos como el naftaleno se presentan en proporciones superiores en el diesel, comparado con las gasolinas.

Cuando los combustibles se encuentran en un suelo arcilloso como contaminantes se pueden adsorber y concentrarse debido al alto contenido de la materia orgánica, pero si el suelo es arenoso la adsorción será reducida. Si la matriz afectada es el agua, los hidrocarburos se pueden disolver, siendo los monoaromáticos más solubles que los poliaromáticos. En la Tabla 2 se presentan cifras que ilustran la solubilidad de algunos hidrocarburos en agua. La capacidad de adsorción de los hidrocarburos al suelo o de disolución en el agua depende de muchos factores, entre los más importantes están la temperatura, los constituyentes naturales de cada matriz y la presencia de otros químicos ajenos.

Las formulaciones de gasolinas oxigenadas incluyen además algunos aditivos como el metilterbutiléter (MTBE) y el teramilmetiléter (TAME), los cuales pueden servir también como indicadores, aunque no se ha demostrado que éstos sean tóxicos o cancerígenos. A diferencia de lo anterior, el tetraetilo de plomo indica la presencia de una contaminación antigua con gasolinas.

El diesel contiene una gran variedad de hidrocarburos poliaromáticos, entre ellos: antraceno, fenantreno, fluoranteno, acenafteno, fluoreno y pireno, los cuales son tóxicos pero no cancerígenos. Otros como criseno, benzopireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y benzo(b)fluoranteno que se encuentran en aceites gastados y combustibles quemados, sí son cancerígenos.

MÉTODOS RECOMENDADOS PARA EL ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS

Los métodos de identificación de hidrocarburos más útiles son aquellos que se basan en la cromatografía de gases. Generalmente, los hidrocarburos se separan en función de su peso molecular, el cual está íntimamente relacionado con su temperatura de ebullición. El registro de un análisis es un perfil cromatográfico con gran cantidad de picos cada uno de los cuales presenta un tiempo de retención el cual se registra en el eje de las abscisas y su altura depende de la concentración, misma que se registra en el eje de las ordenadas.

Cada combustible presenta un perfil cromatográfico típico que se considera como una “huella digital”. Un cromatograma o huella digital del petróleo crudo incluirá picos desde el C1 hasta el C70. En la Fig. 4a se muestra en forma general el intervalo que abarcan los principales combustibles refinados del petróleo crudo, como son la gasolina, el diesel, la kerosina y los aceites lubricantes. Estos perfiles se obtienen siguiendo el método EPA 8015.

En las Fig. 4b se muestra un cromatograma de gasolina, donde se observan picos desde los primeros minutos, éstos corresponden a los hidrocarburos de menor peso molecular, muchos de ellos volátiles. En la Fig. 4c se observan picos formando una “campana” que es el perfil típico del diesel, esta campana se debe a que los hidrocarburos tienen estructuras químicas muy similares entre sí. El perfil de la kerosina conocida también como queroseno o diáfano (Fig. 4d), se traslapa con los perfiles de gasolina y diesel. El perfil de un aceites lubricantes se presenta en la Fig. 4e.

Los combustibles aún mezclados pueden ser identificados en un mismo cromatograma, ejemplos de ello se observan en las Figs. 5a y 5b que son mezclas de gasolina y diesel en el primer caso, y kerosina y diesel, en el segundo.

La destilación de combustibles puede presentar algunas variantes. Los picos de un cromatograma de gasolina pueden cambiar de acuerdo al país del cual provengan, esto depende de la calidad que las normas de cada país establezcan. Aunque sus rasgos básicos permanecen, el intemperismo y el tiempo que permanecen en el subsuelo pueden modificar su composición, lo cual se puede apreciar también en un perfil cromatográfico. En las Figs. 6a, 6b y 6c se presentan perfiles de 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.

Para la cuantificación de los monoaromáticos BTEX, se realizan análisis más específicos aplicando los métodos EPA 8020, 8240 y 8260, en éstos también es posible identificar y

cuantificar los aditivos MTBE y TAME. En el caso de los hidrocarburos poliaromáticos (HPAs), se utilizan los métodos 8100 y 8310.

RIESGO A LA SALUD

En la actualidad, existe cierta tendencia a nivel mundial, de realizar estudios de evaluación de riesgo a la salud para establecer si la contaminación de un sitio es severa y requiere de acciones de remediación inmediatas, o bien, se puede llevar un programa de remediación paso a paso, entendido como una mejora continua.

La evaluación de riesgo a la salud es un procedimiento cuantitativo sistemático a través del cual se determinan los posibles efectos adversos a la salud humana que puedan resultar como consecuencia de un derrame de contaminantes en un sitio determinado. La metodología que generalmente se utiliza se fundamenta en los principios y estándares establecidos por la USEPA (United States Environmental Protection Agency) para la Evaluación de Riesgos del SARA (*Superfund Agreement and Recovery Act*) en su Título 42 del Código Federal de Regulaciones, Parte 90 (*Title 42, CFR, Part 90*), así como en la metodología estipulada en el método ASTM 1789-95 (*Risk Based Corrective Actions Applied at Petroleum Releases Sites, RBCA*).

En general el concepto de riesgo a la salud se evalúa a través de dos elementos básicos: la peligrosidad del compuesto contaminante y las rutas de exposición de la población circundante, ya sean residentes o trabajadores.

La peligrosidad de un compuesto se debe a que éste puede ser tóxico o cancerígeno. La toxicidad comúnmente es una función de la concentración, para lo cual se habla también de un efecto crónico o agudo. Depende también de que el compuesto sea persistente o degradable por acción de factores ambientales y que además se consideren efectos aditivos o sinérgicos.

Como rutas de exposición existen tres: ingestión, inhalación y contacto dérmico, y puede referirse al efecto único de cada ruta, o incluso, exposición a medios múltiples con lo cual se tienen efectos acumulados.

Para la evaluación de riesgo a la salud se consideran principalmente los hidrocarburos indicadores que se mencionaron anteriormente, de los cuales los más importantes son: benceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, indeno(1,2,3)pireno y criseno, que de acuerdo a la USEPA (1999) son cancerígenos a humanos. Durante la evaluación se toman en

consideración las características fisicoquímicas principales de cada hidrocarburo, como son volatilidad y solubilidad, ya que se entiende que al momento del derrame de un combustible, parte de éste se volatiliza, otra parte se adsorbe a la materia orgánica del suelo y otra parte se disuelve en el agua subterránea.

Por ejemplo, el benceno es volátil y puede ser inhalado, y por su alta solubilidad en el agua puede ser ingerido o estar en contacto con la piel de individuos expuestos, esto hace al benceno un elemento de riesgo. En cambio, muchos poliaromáticos no presentan movilidad, ni lixiviación, ni evaporación, se puede presumir que se quedan estáticos en el suelo, además de que son prácticamente insolubles en agua, por ello cuando están presentes en el suelo se puede considerar que la contaminación no constituye un riesgo.

Es común que el agua subterránea aún y cuando se encuentre bajo una capa de hidrocarburos, presente concentraciones bajas de hidrocarburos disueltos. 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 que se ha llegado a disolver y detectar mediante cromatografía es muy reducida. En contraste, en estudios de contaminación de suelos, la fase adsorbida puede ser notablemente alta.

Como resultado de una evaluación de riesgo a la salud se obtiene un factor general de riesgo de cáncer que se interpreta como uno de cada "n" individuos de una población expuesta podría ser afectada por cáncer. Cuanto mayor sea el valor de "n" menor será la peligrosidad de la contaminación. Como parte adicional se pueden obtener límites máximos permisibles para cada una de las sustancias consideradas en la evaluación.

El metilterbutiléter (MTBE) no es carcinogénico, es un compuesto novedoso que hasta ahora ha servido únicamente como trazador para identificar la cercanía de manchas de contaminación con gasolinas, al igual que el teramilmetiléter (TAME), del cual aún no existe información en la literatura. El MTBE da un aspecto desagradable al agua por su olor y color característicos, a pesar de que no se ha comprobado que sea tóxico o cancerígeno, en mayo del 2000, el estado de California adoptó un límite máximo de 0.013 mg/l. Para el TAME únicamente se recomienda darle seguimiento porque es un compuesto nuevo del cual aún no se conoce su comportamiento.

CONCLUSIONES

Un perfil cromatográfico es una “huella digital” que permite identificar los diferentes combustibles y cuantificar sus componentes. Los perfiles de combustibles se obtienen mediante el método EPA 8015, los hidrocarburos volátiles se cuantifican mediante los métodos EPA 8020, 8240 y 8260, mientras que los poliaromáticos se analizan de acuerdo a los métodos 8100 y 8310.

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 volátiles de bajo peso molecular, entre los que predomina el benceno que por ser cancerígeno y de mayor solubilidad constituye un riesgo a la salud. El diesel contiene hidrocarburos poliaromáticos, que aunque muchos de ellos son cancerígenos, son prácticamente insolubles, por lo cual representan un menor riesgo a la salud.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Testing and Materials (ASTM), 1995. Standard guide for risk-based corrective action applied at petroleum release sites. Designation: E 1739 - 95, 51 pp.
- Calabrese, E. J. y P. Kostecki, 1989. Petroleum contaminated soils, Vol. 2, Lewis Publishers. 515 p.
- Kostecki, P.T. and E. J. Calabrese, 1992. Contaminated soils, diesel fuel contamination. Lewis publishers. 227 p.
- Lesser, J. M. y S. Saval, 2000. Intemperismo: su efecto sobre hidrocarburos contaminantes en suelos y acuíferos. Teorema Revista técnico-ambiental, Año 6, No. 23, 34-35.
- Mattney, G. C., 1994. Assessment and remediation of petroleum contaminated sites. Lewis publishers. 360 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, CRC Press. 461 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 99: 24-29.
- Stone W.A. Jr., 1991. Assessing health risks associated with diesel contaminated soils and groundwater. En Hydrocarbon contaminated Soils and Groundwater, P.T. Kostecki and E.J. Calabrese, Eds. Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp 167 - 179.

- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1986a. Method 8240, Gas Chromatography / Mass Spectrometry for Volatile Organics.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1986b. Method 8100, Polynuclear Aromatic Hydrocarbons.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund Vol. I Human Health Evaluation Manual (Part A). US Department of Commerce, Washington.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1986. *Method 8310*, Polynuclear Aromatic Hydrocarbons.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1987. *Method 8260*, Gas Chromatography / Mass Spectrometry for volatile organics: capillary column technique.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1996. Method 8015 B, Nonhalogenated Organics using GC/FID.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999. Region III Risk-based Concentrations, October 22, <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/rbcxls.exe>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2000. Office of Water, Mayo 26, <http://www.westgov.org/wswc>.

Tabla 1. Contenido de algunos hidrocarburos en combustibles

Compuesto	Gasolina	Diesel
Benceno %	0.12 - 3.50	0.50
Tolueno %	2.73 - 21.80	1.33
Etilbenceno %	0.36 - 2.86	0.37
<i>o</i> -xileno %	0.68 - 2.86	1.01
<i>m</i> -xileno %	1.77 - 3.87	0.96
<i>p</i> -xileno %	0.77 - 1.58	0.35
Naftaleno %	0.09 - 0.49	0.50

Tabla 2. Solubilidad de algunos hidrocarburos en agua

Compuesto	Solubilidad (mg/l)
MTBE	48 000
TAME	2 640
<i>n</i> -hexano	18
Benceno	1 750
Tolueno	526
<i>o</i> -Xileno	175
Etilbenceno	169
<i>m</i> -Xileno	158
Naftaleno	31
Acenafteno	3.93
Acenaftileno	3.93
Indeno(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)perileno	0.0007
Dibenzo(a,h)antraceno	0.0005

La solubilidad puede ser influenciada por la presencia de otras sustancias

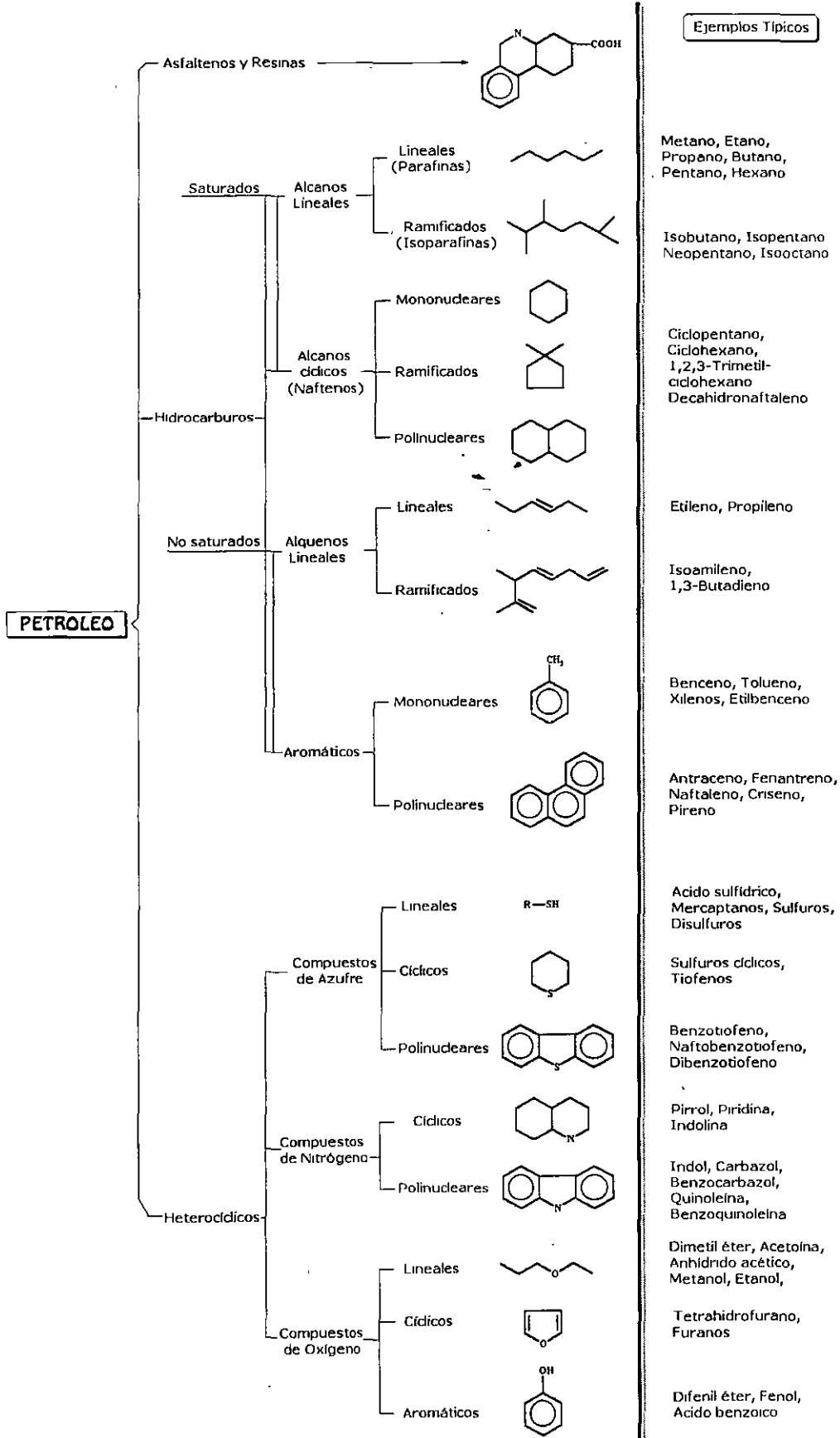
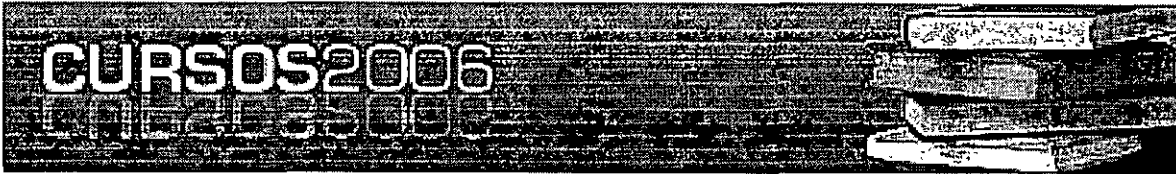


Fig. 1 Constituyentes del petróleo



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

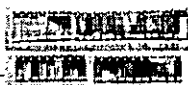
RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA-157


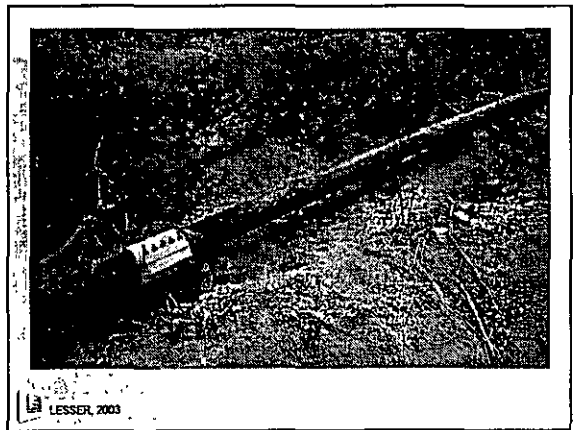
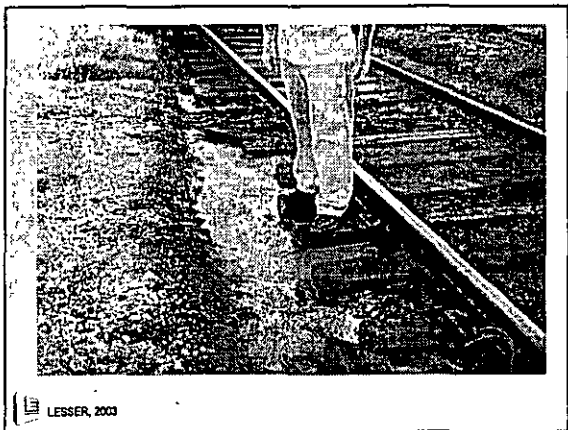
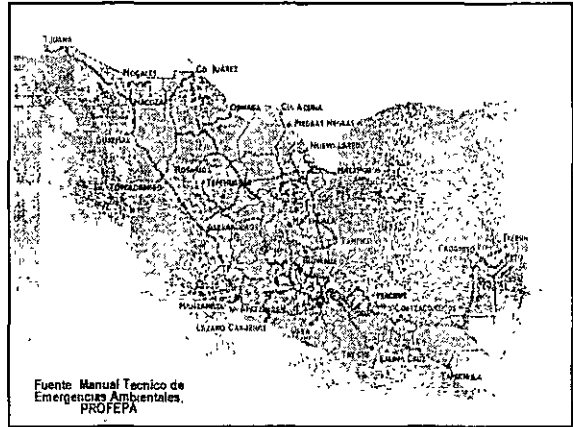
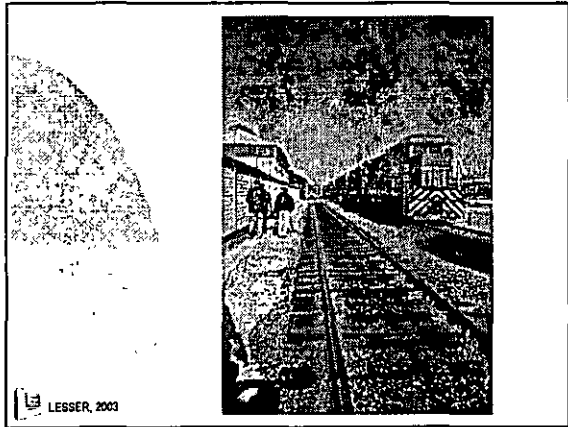
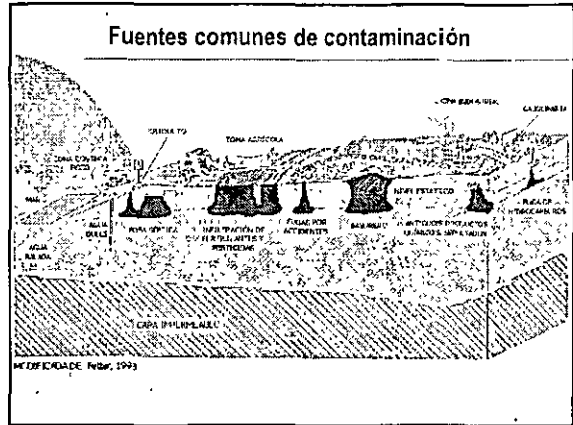
TEMA

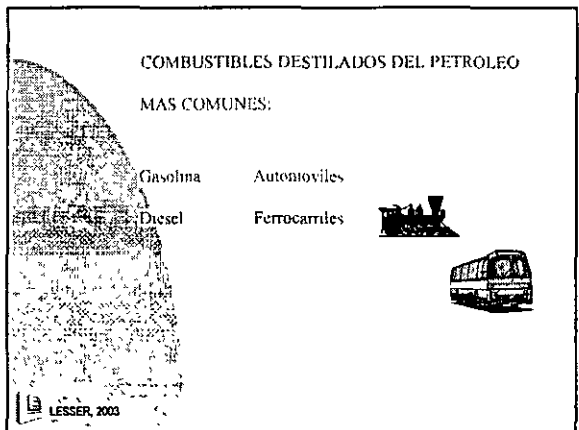
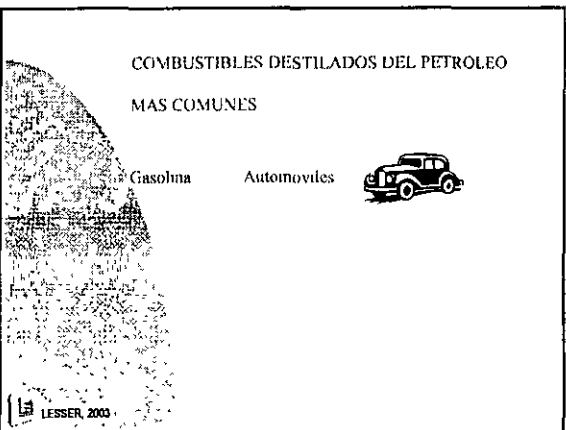
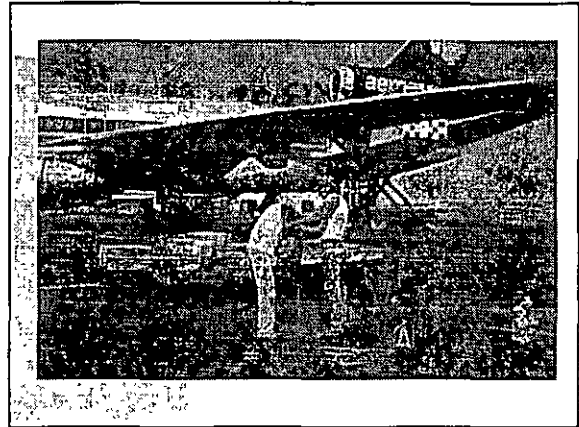
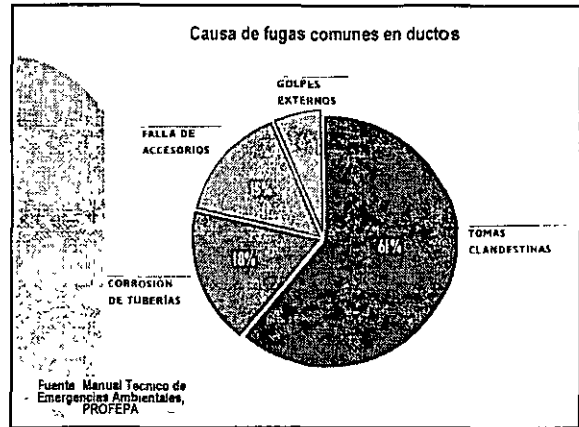
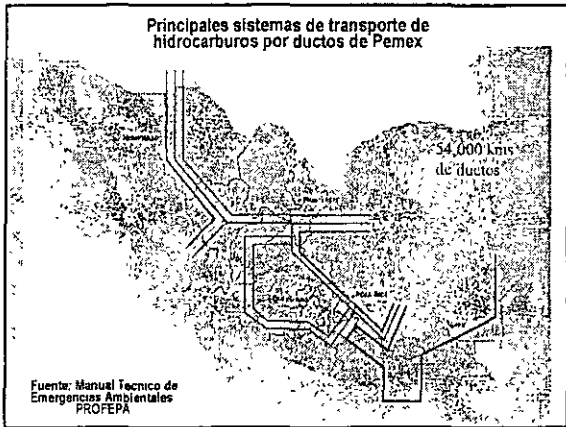
PRINCIPALES HIDROCARBUROS CONTAMINANTES
DE SUELOS Y ACUÍFEROS:
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
DIAPOSITIVAS

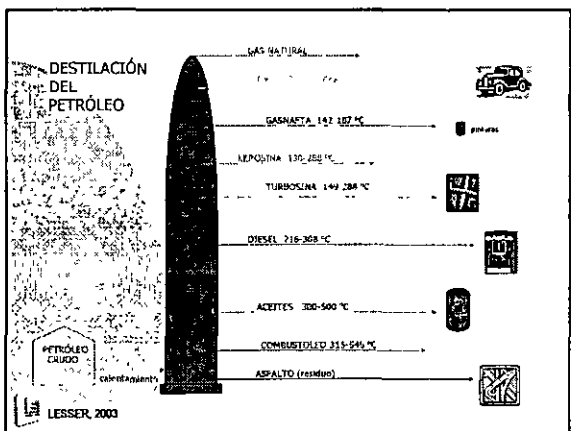
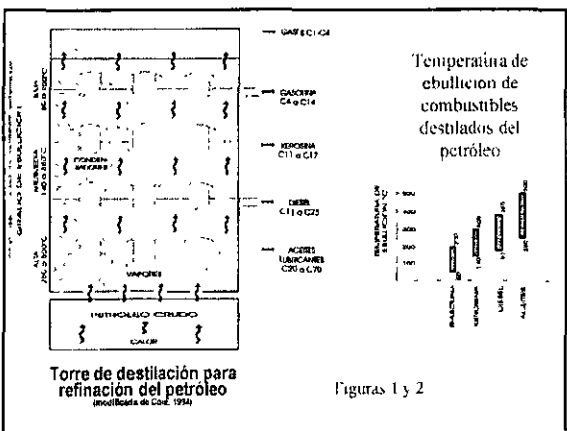
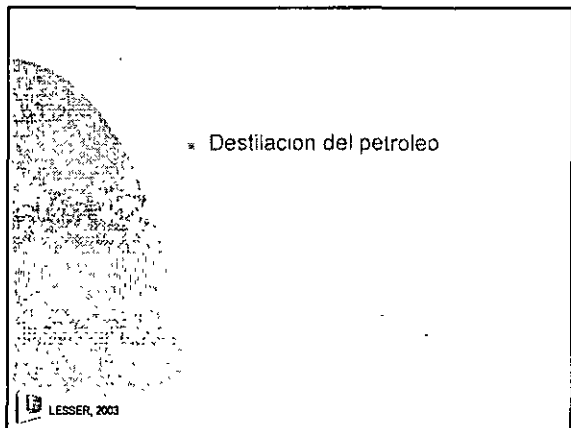
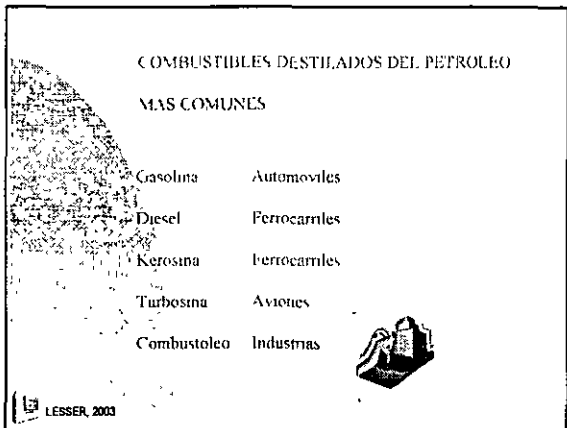
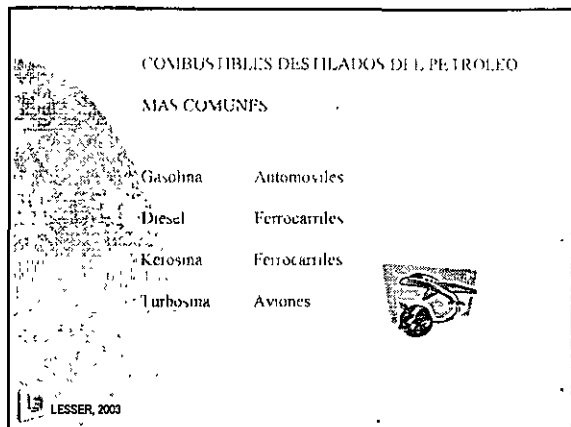
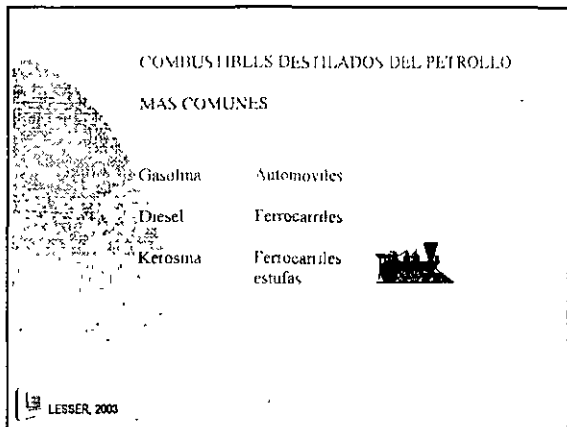
**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

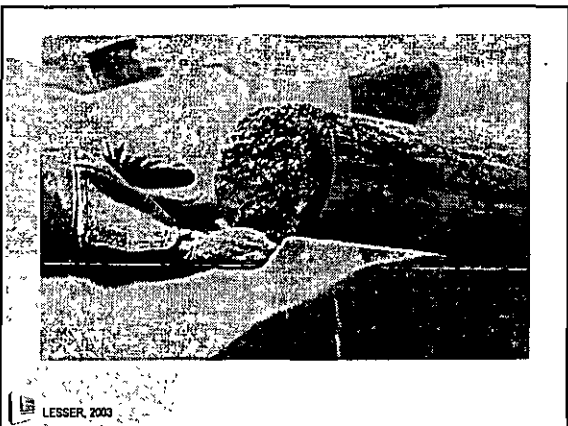
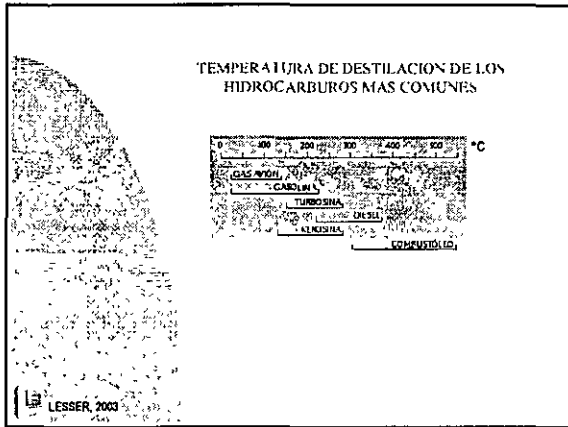

**PRINCIPALES HIDROCARBUROS
CONTAMINANTES DE SUELOS Y ACUIFEROS:**
 IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS

• Por
 • Ing Juan Manuel Lesser
 • Dra Susana Sayal Bohorquez

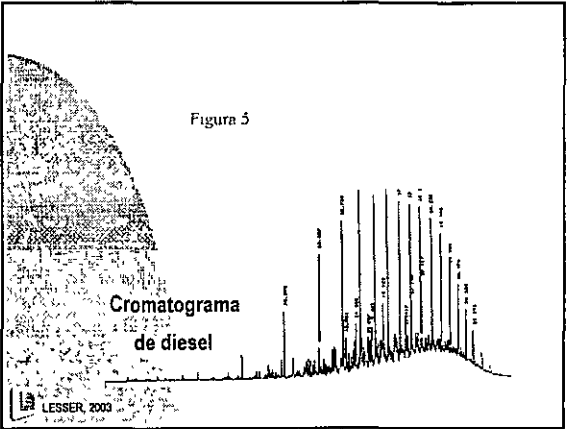
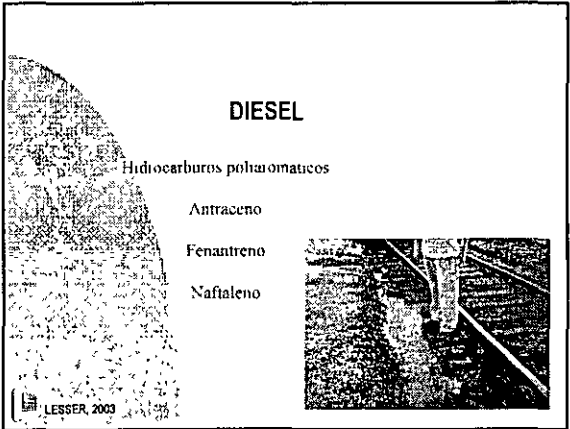
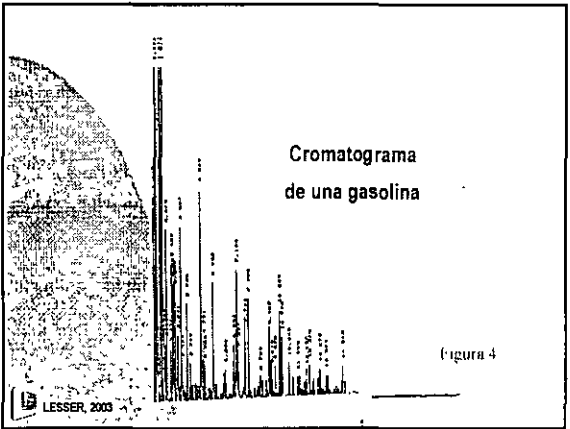
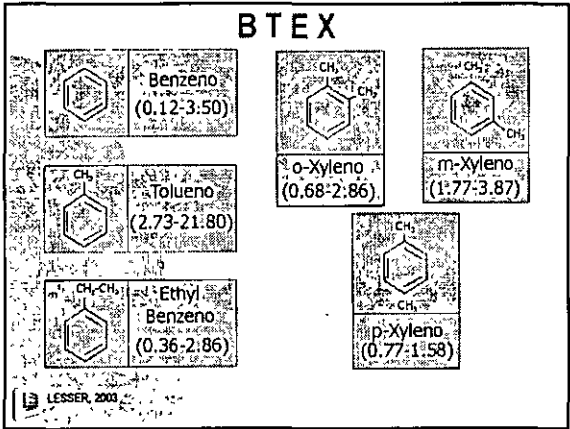
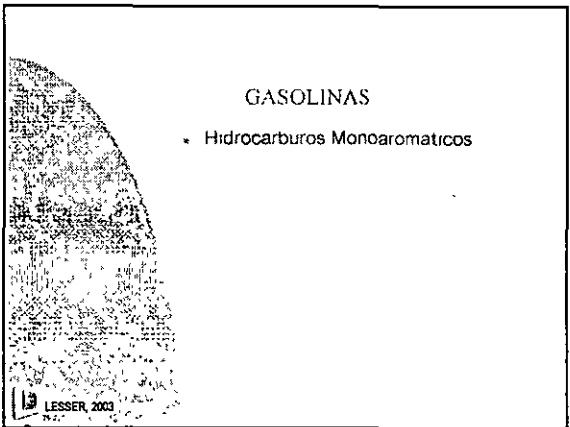
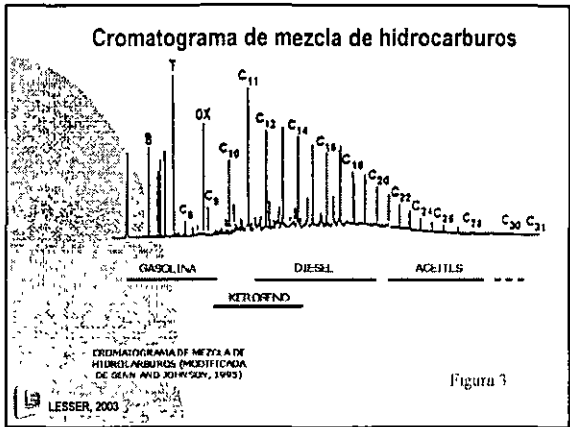


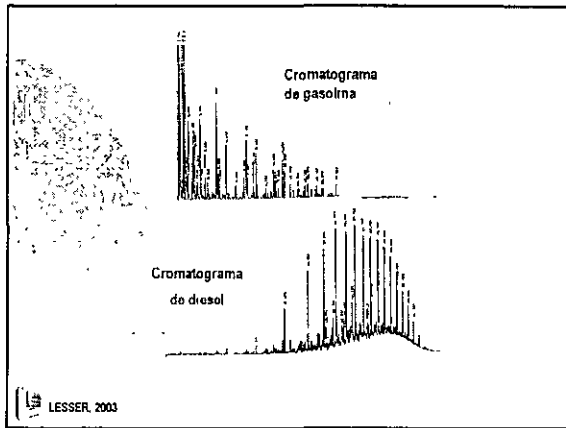




Identificación de hidrocarburos
mediante cromatografía

LESSEER, 2003






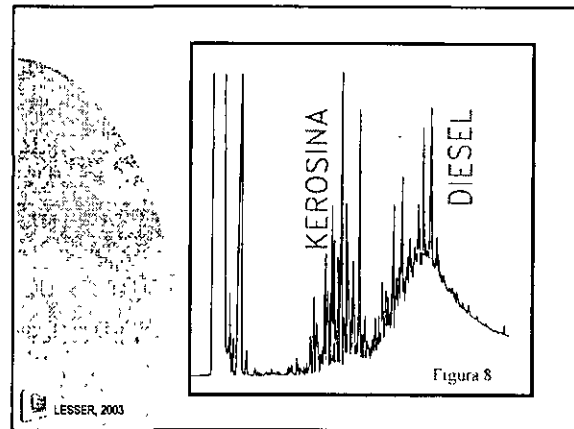
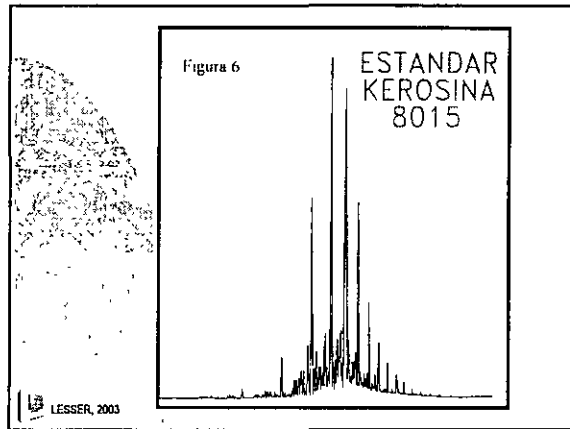
KEROSINA

Hydrocarburos poliaromáticos

- Antraceno
- Fenantreno
- Naftaleno




LESSER, 2003



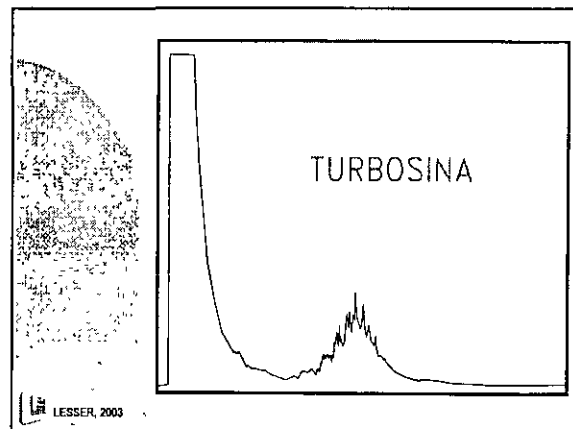
TURBOSINA

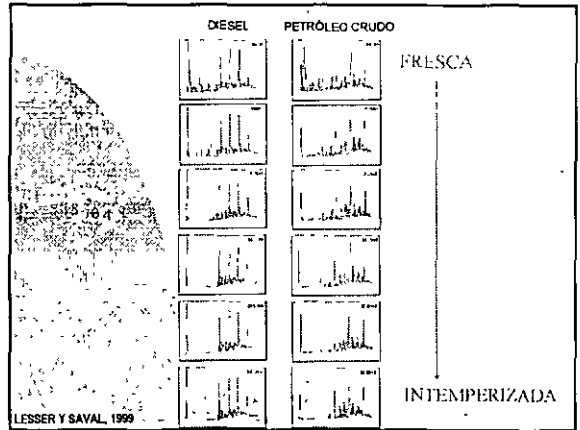
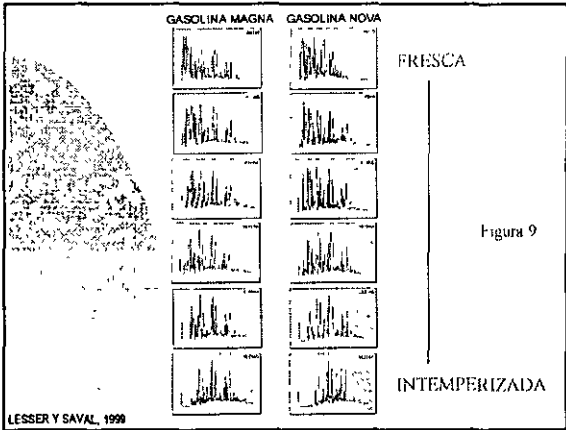
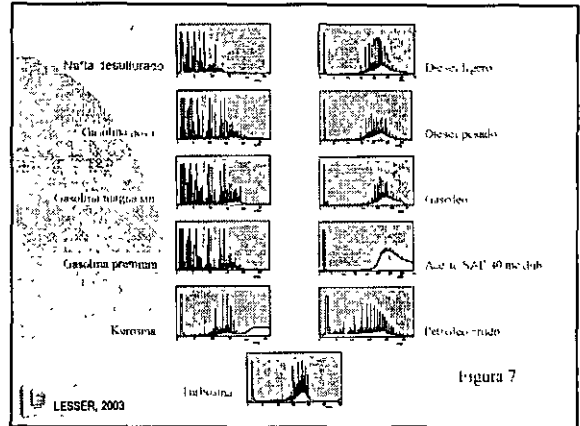
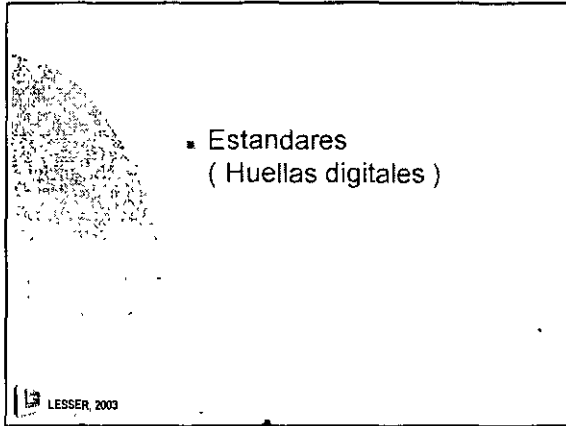
Hydrocarburos poliaromáticos

- Antraceno
- Fenantreno
- Naftaleno



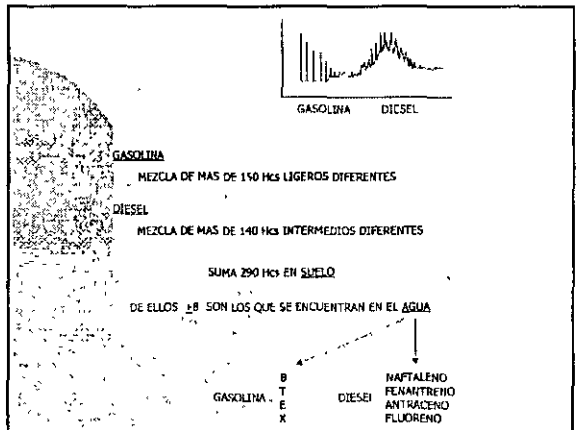
LESSER, 2003

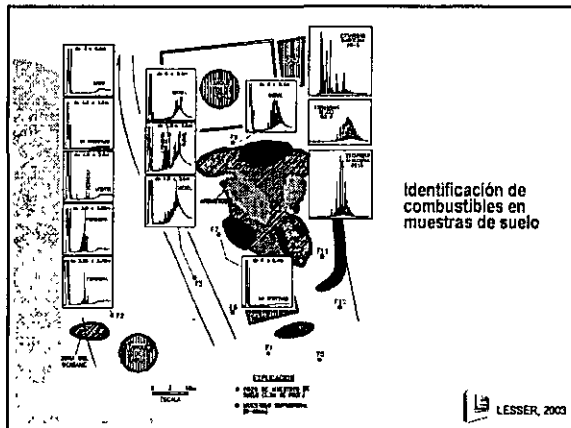
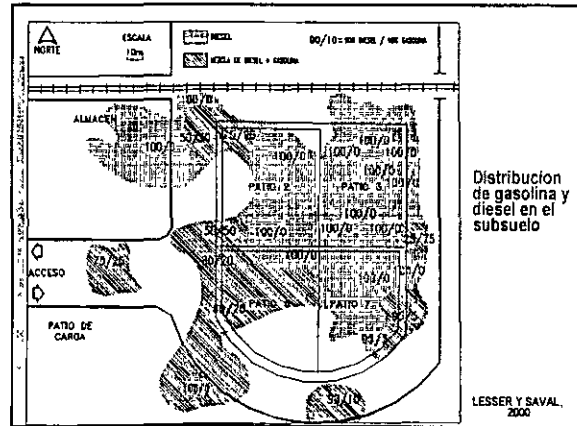
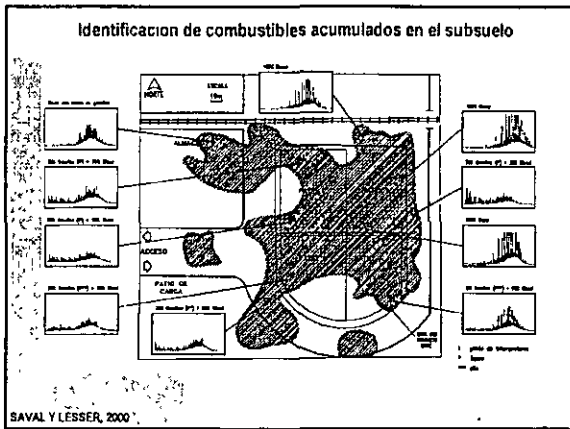




MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS EN MUESTRAS DE SUELO Y AGUA

HTP	ACLIFLS COMBUSTOLEO	EPA-418-1
HTP	GASOLINA DIESEL	EPA-8015
	(HC LIGEROS) MONOAROMÁTICOS BTEX, MTBE	EPA-8260
	(HC PESADOS) POLIAROMÁTICOS	EPA-8310/8270





CONCLUSIONES

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

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

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

LESSER, 2003

CONCLUSIONES

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

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

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

LESSER, 2003

CONCLUSIONES

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

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

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

LESSER, 2003

CONCLUSIONES


- Entre los principales combustibles contaminantes de acuíferos se encuentran la gasolina, el diesel, la kerosina y la turbotina.
- 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 turbotina, por ser de solubilidad limitada, su riesgo en agua es menor.



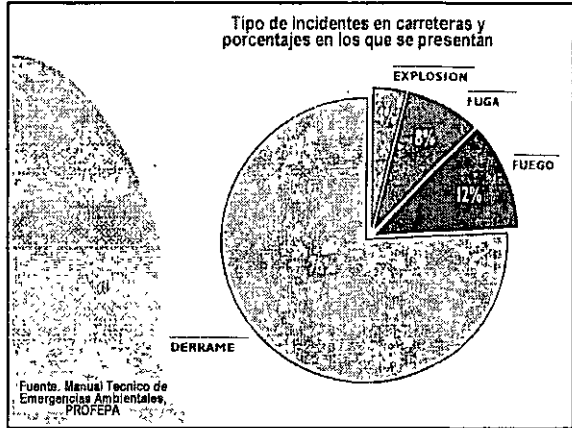
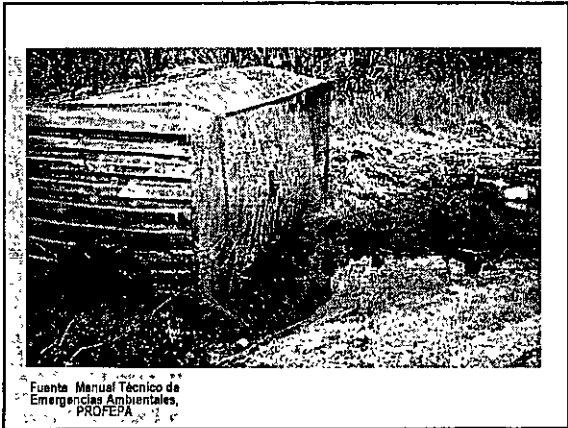
LESSER, 2003

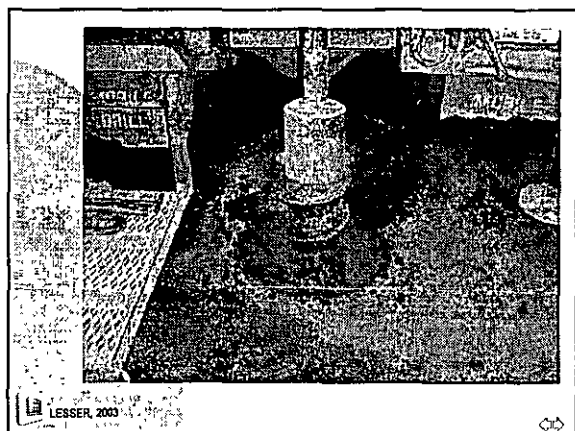
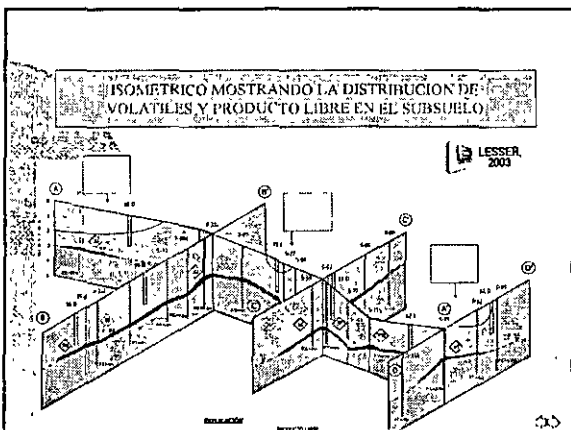
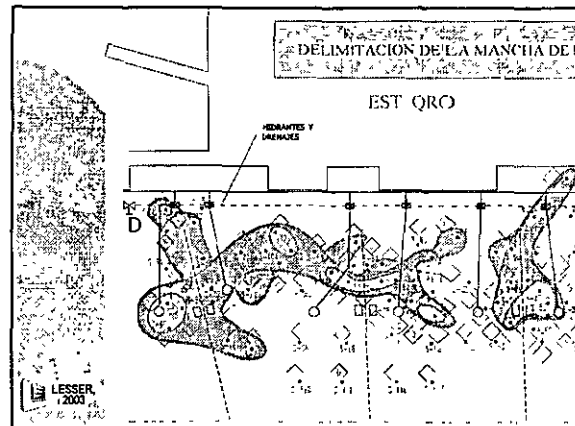
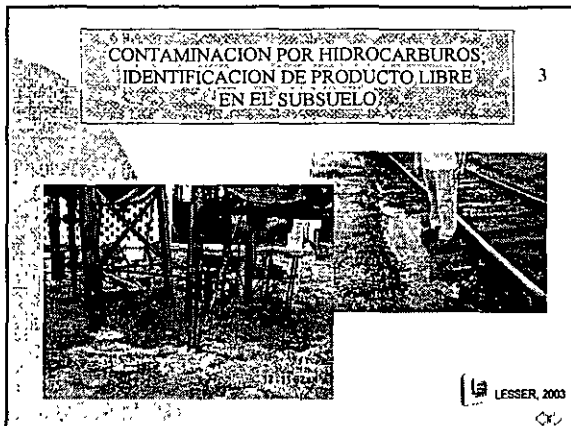
CONCLUSIONES

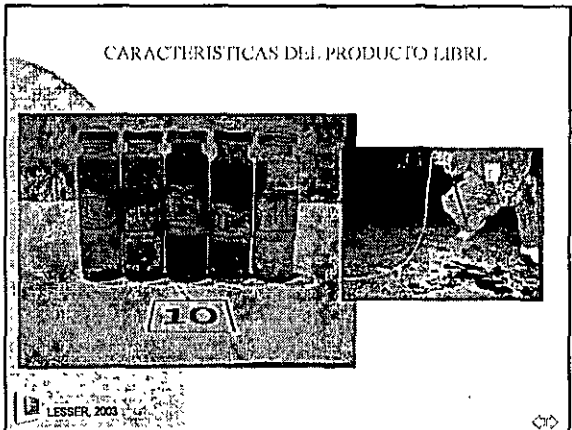
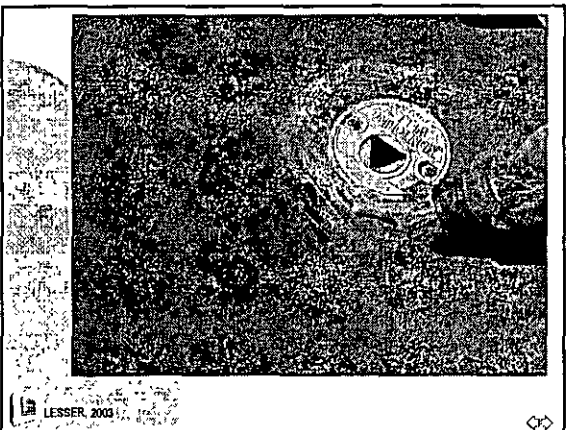
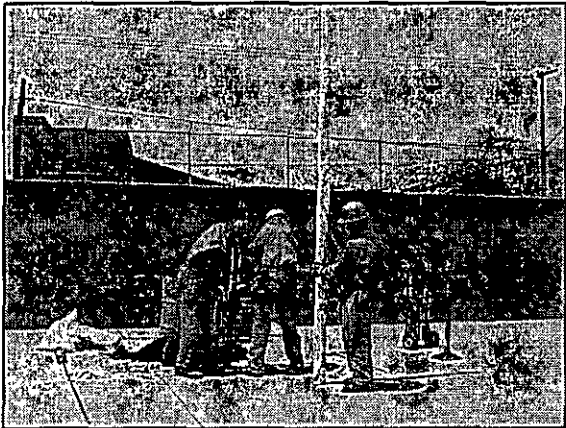
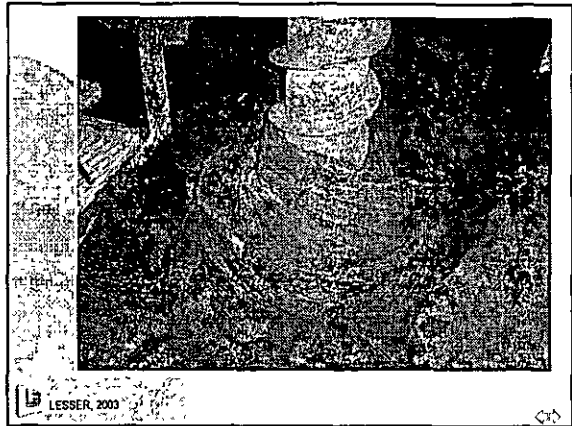
- Entre los principales combustibles contaminantes de acuíferos se encuentran la gasolina, el diesel, la kerosina y la turbotina.
- Para la identificación y cuantificación de combustibles se realizan análisis por cromatografía de gases.
- Con un perfil cromatográfico es posible determinar si corresponde 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 turbotina, por ser de solubilidad limitada, su riesgo en agua es menor.

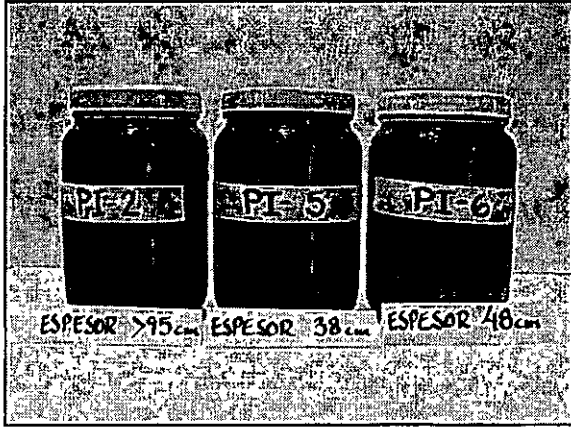
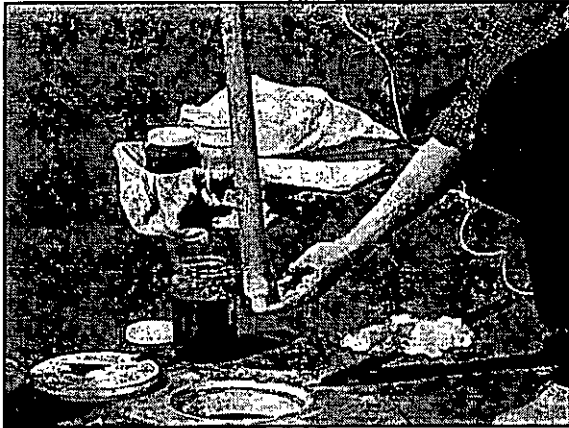


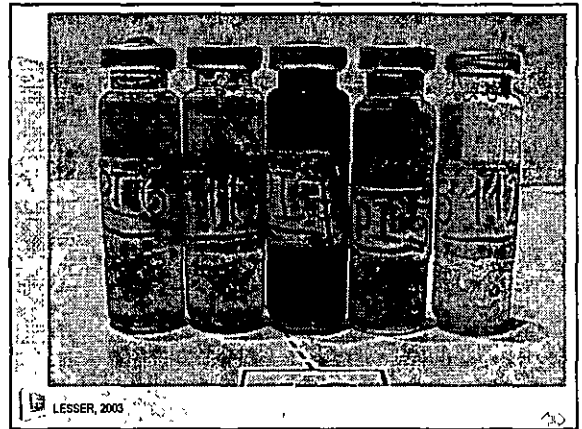
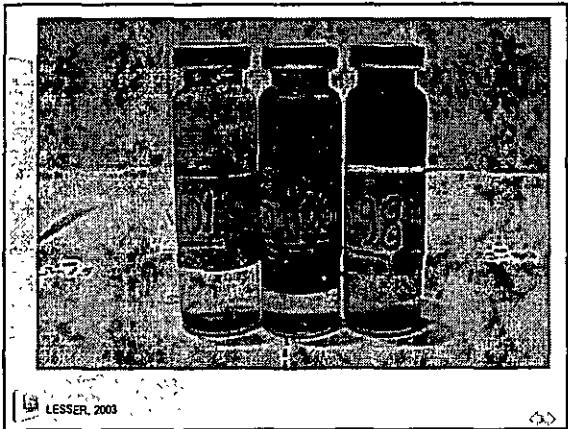
LESSER, 2003



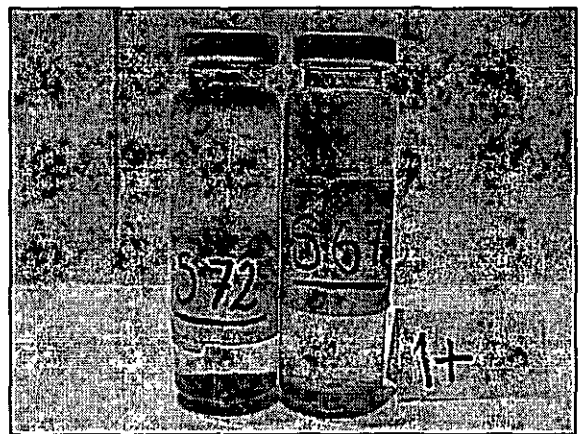


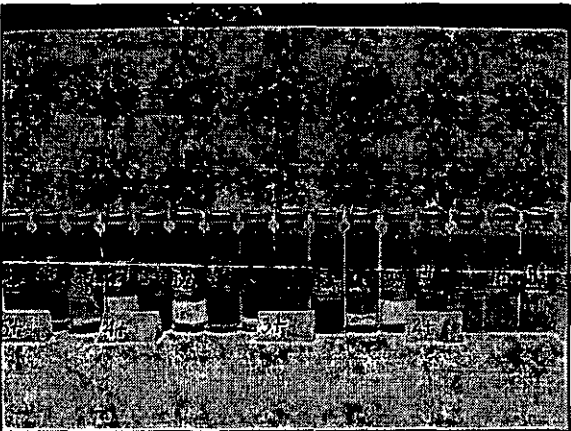
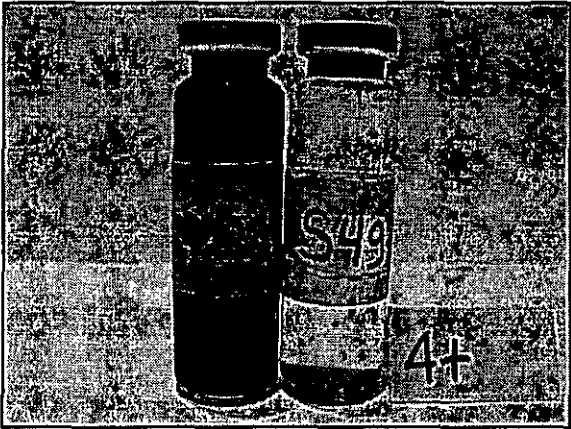
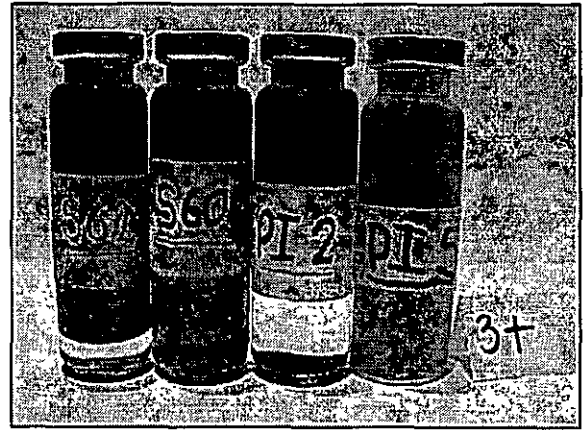
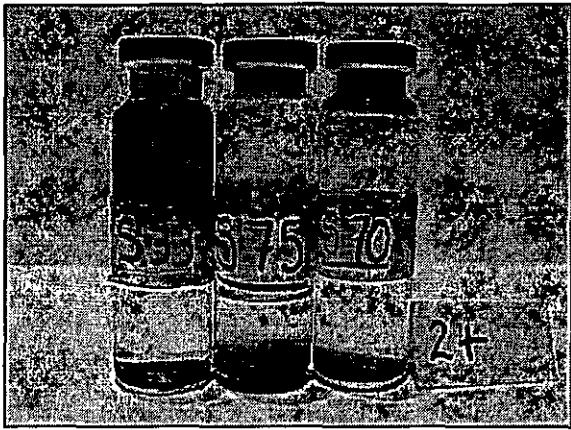




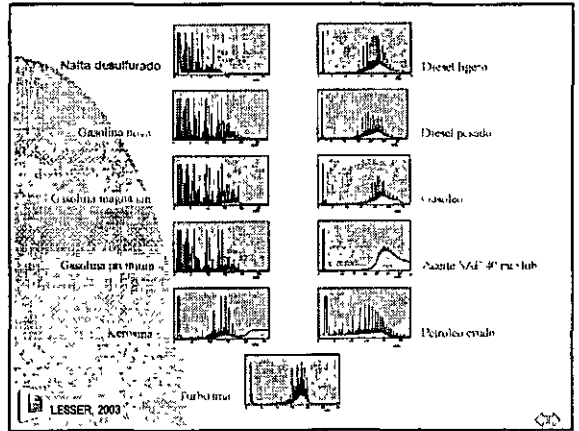
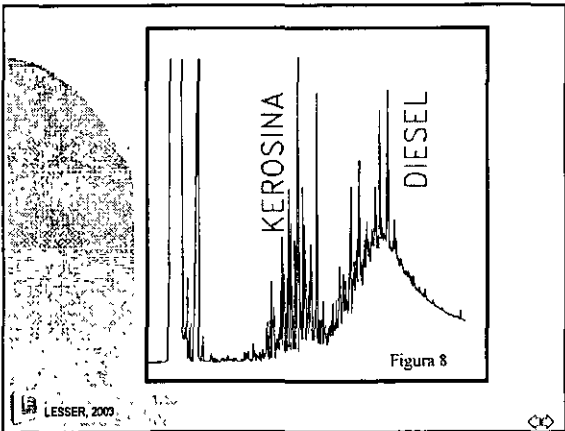
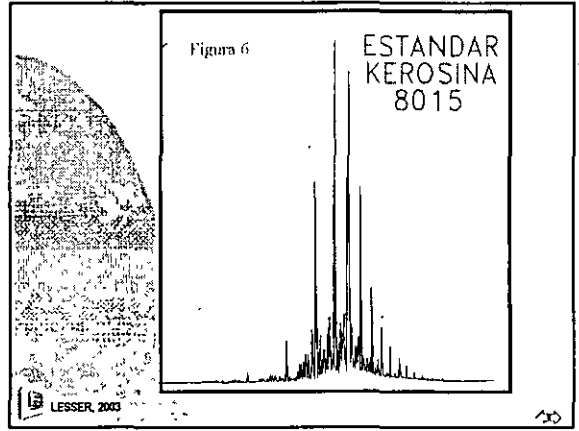
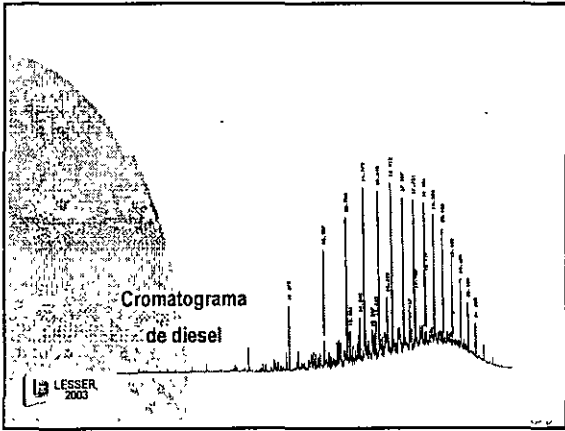
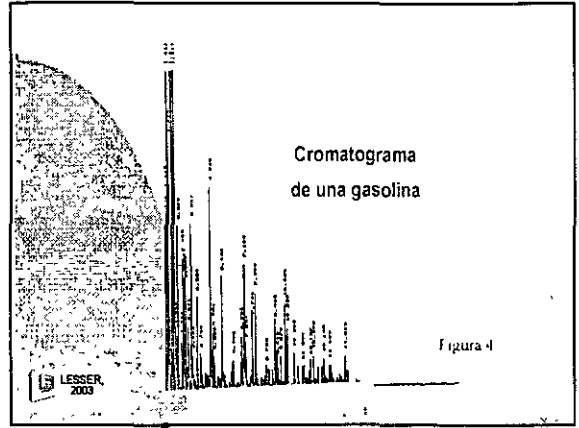


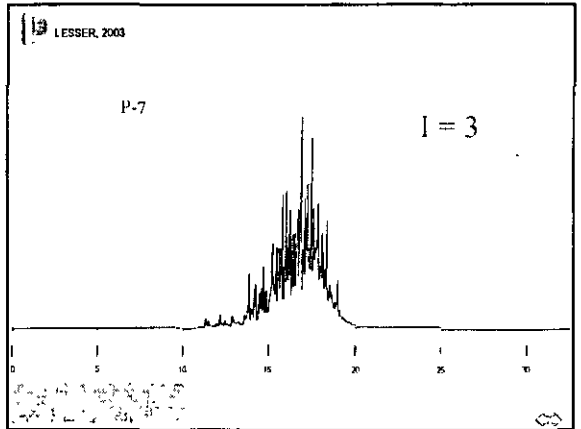
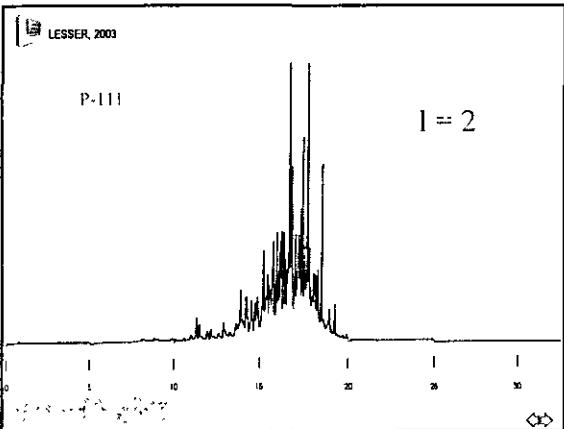
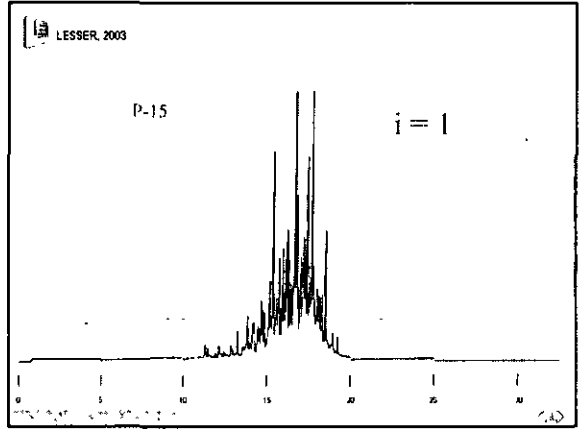
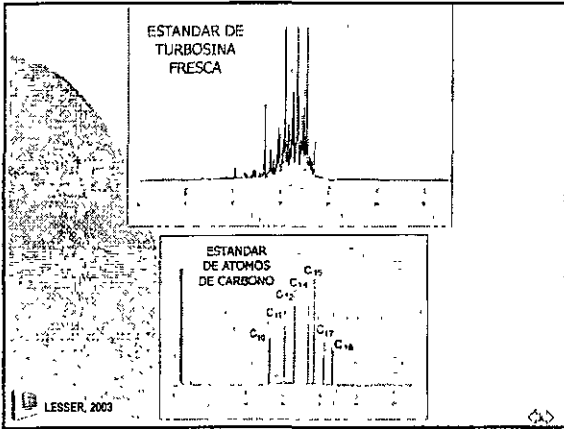
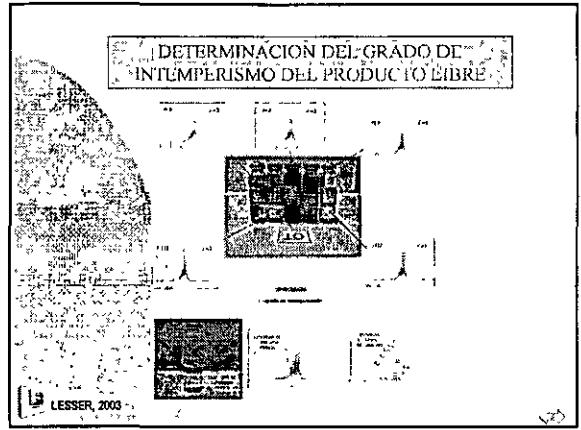
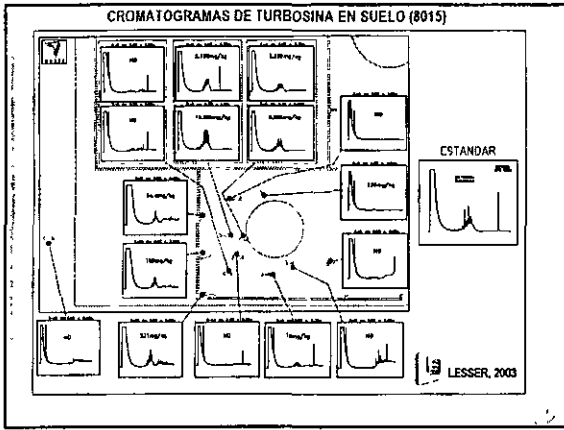
IDENTIFICACION POR COLOR

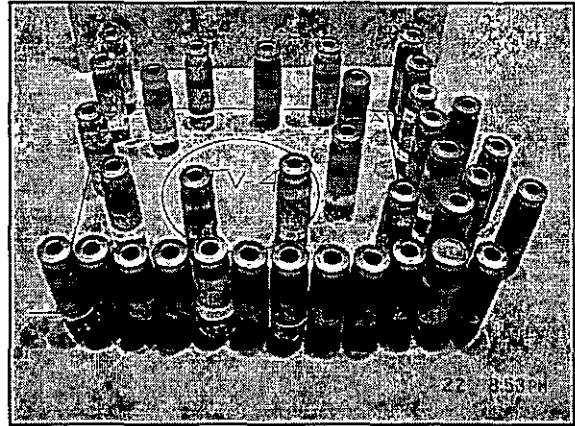
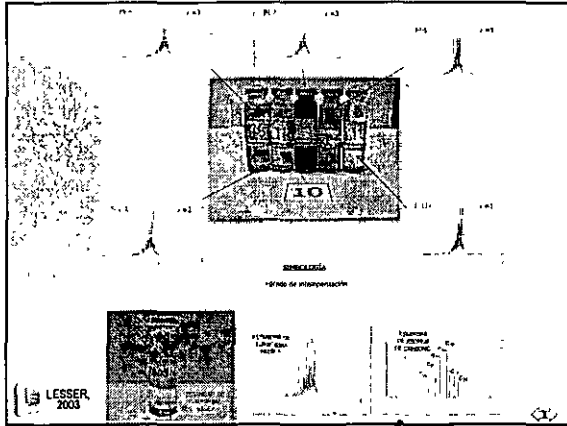




IDENTIFICACION POR CROMATOGRAFIA







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.

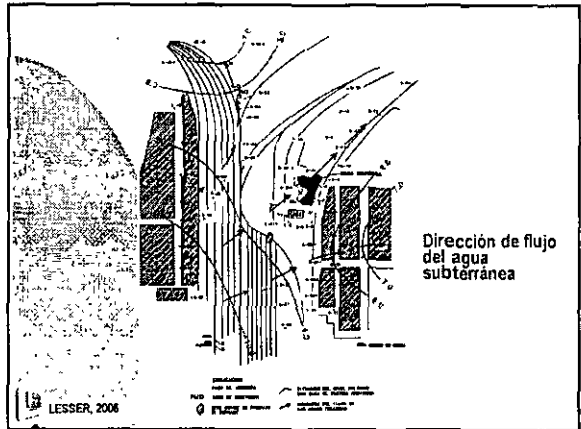
Otro factor que influye en el color, es la facilidad con que la materia orgánica de las arcillas libera compuestos pigmentados.

LESSLER, 2003



Restauración de sitios contaminados

- Remediación física
- Remediación química
- Biodegradación

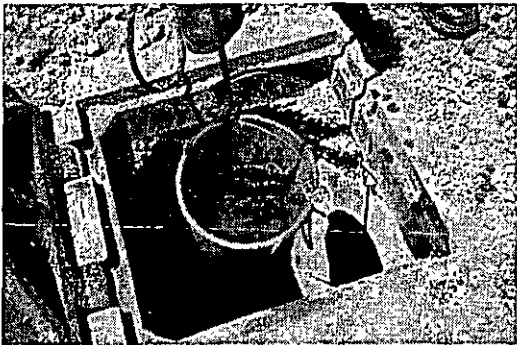


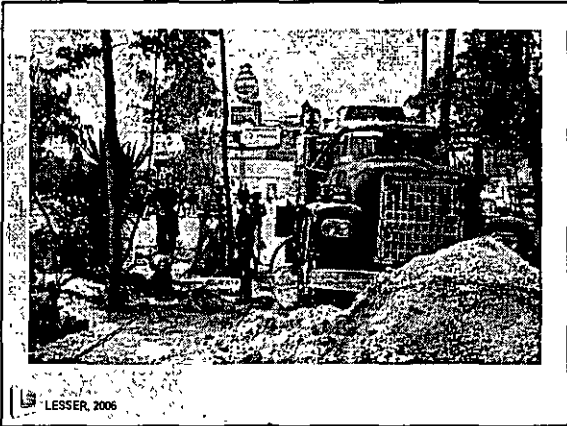
REMEDIACIÓN DE SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA CONTAMINADA POR HIDROCARBUROS

REMEDIACIÓN FÍSICA	EXTRACCIÓN POR BOMBEO DE PRODUCTO LIBRE
REMEDIACIÓN QUÍMICA	INYECCIÓN DE AGENTES TENSOACTIVOS Y EXTRACCIÓN DE AGUA NO DISUELTOS Y TENSOACTIVOS
BIORREMEDIACIÓN	ELIMINACIÓN DE HIDROCARBUROS MEDIANTE MICROORGANISMOS

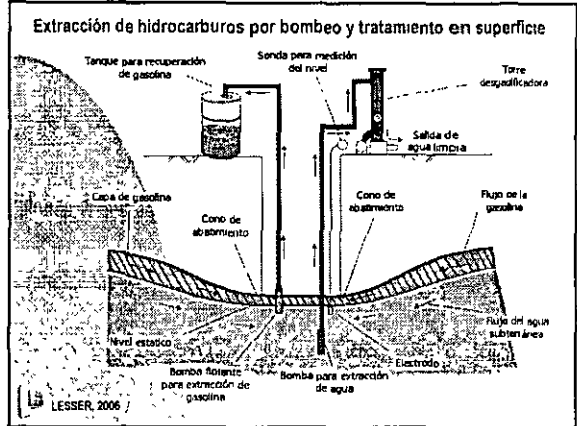
Remediación Física

Extracción de agua y/o volátiles

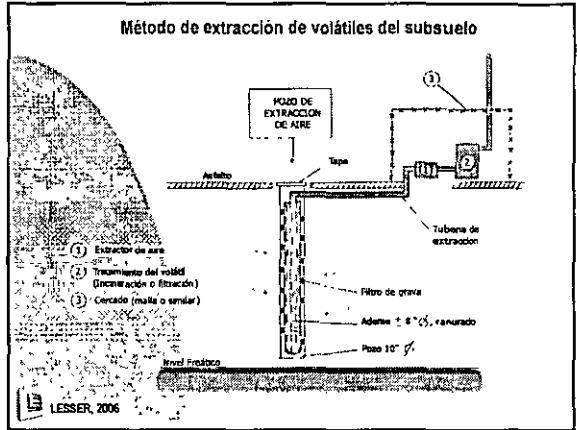
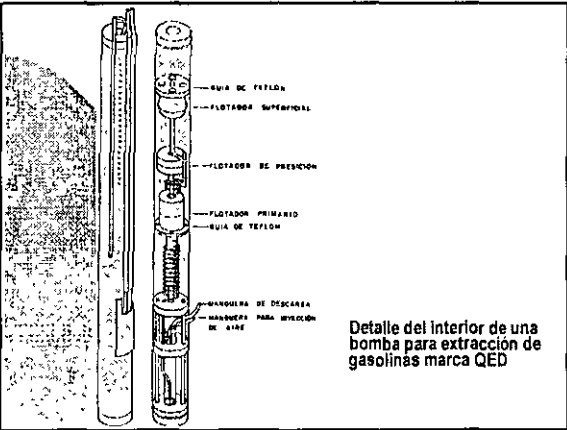




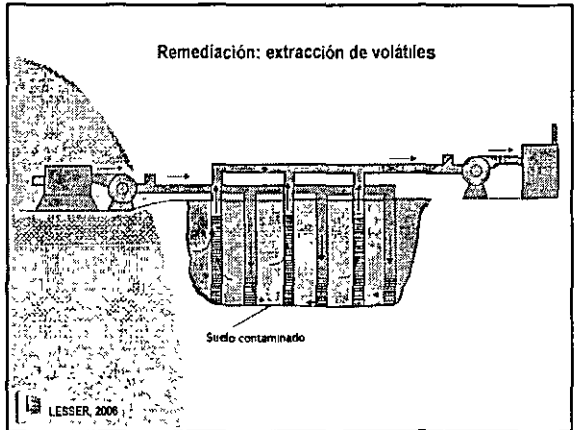
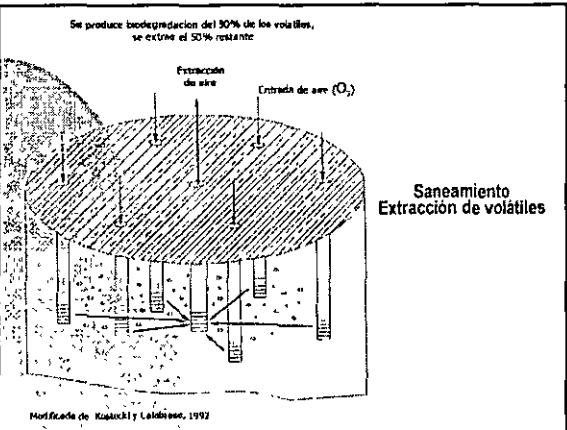
LESSER, 2006



LESSER, 2006

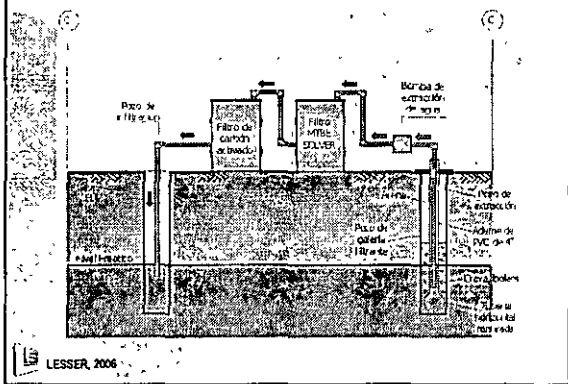


LESSER, 2006

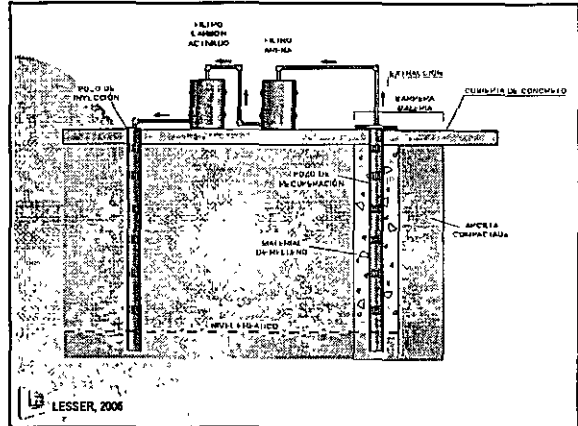


LESSER, 2006

Eliminación de MTBE en el agua

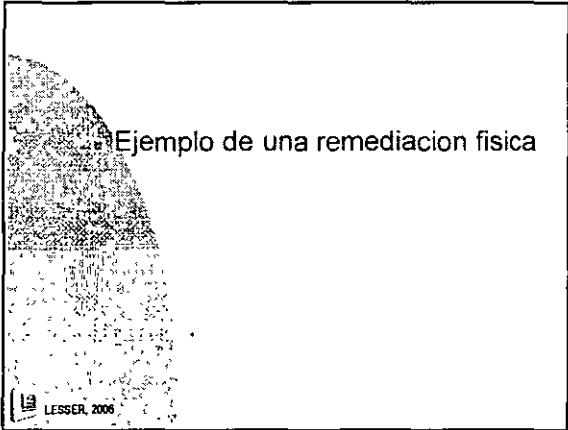


LESSER, 2006



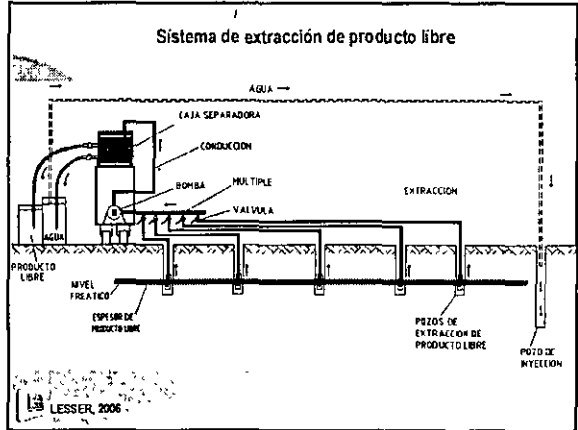
LESSER, 2006

Ejemplo de una remediación física



LESSER, 2006

Sistema de extracción de producto libre

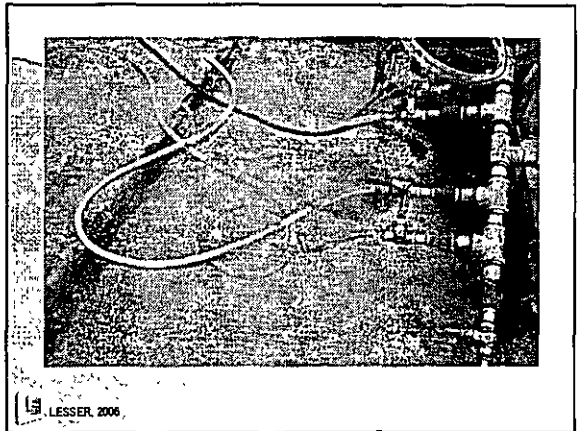


LESSER, 2006

Operación del sistema de extracción de producto libre



LESSER, 2006

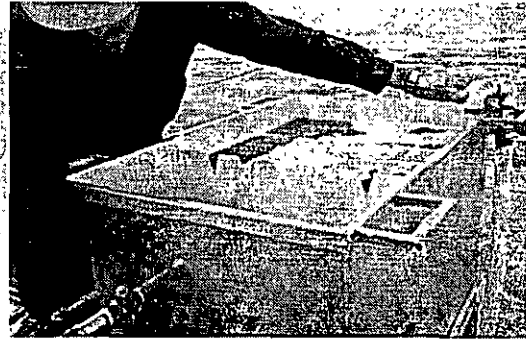


LESSER, 2006

Múltiple, conexión hacia 5 pozos de extracción



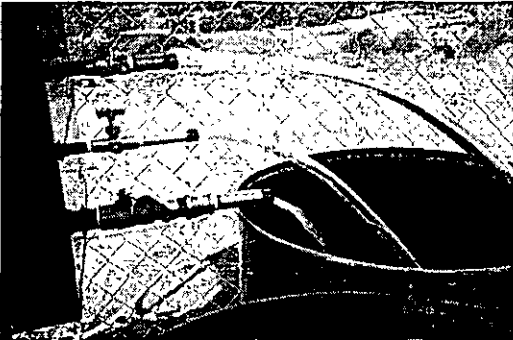
LESSER, 2006



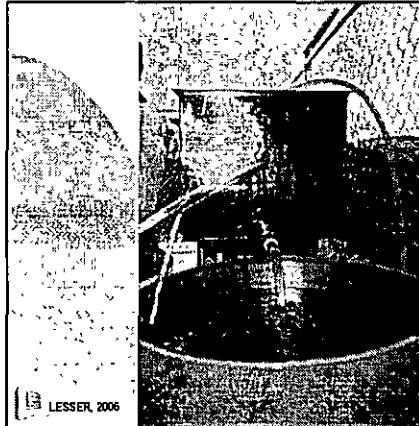
Caja separadora

LESSER, 2006

Salidas de la caja separadora



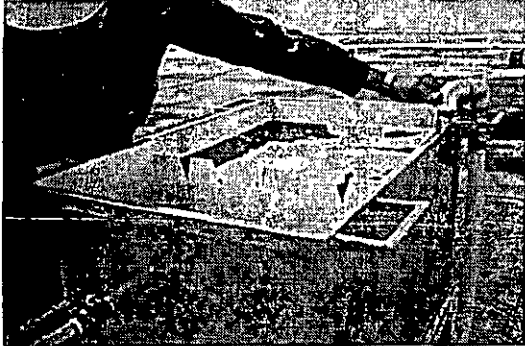
LESSER, 2006



Tanque de almacenamiento

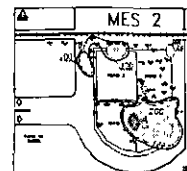
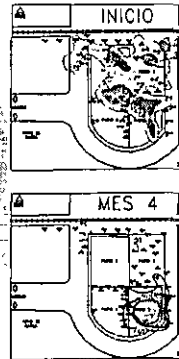
LESSER, 2006

Vista superior de la caja de separación



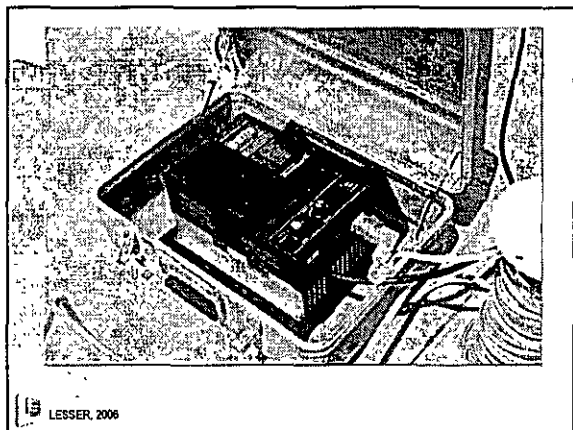
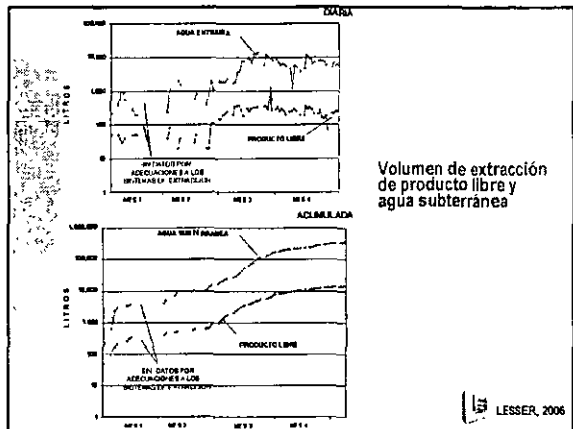
LESSER, 2006

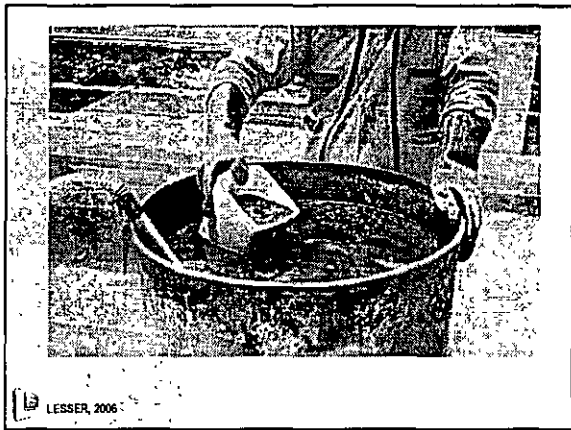
Remediación: extracción de producto libre



Evolución de la mancha de producto libre

LESSER, 2006



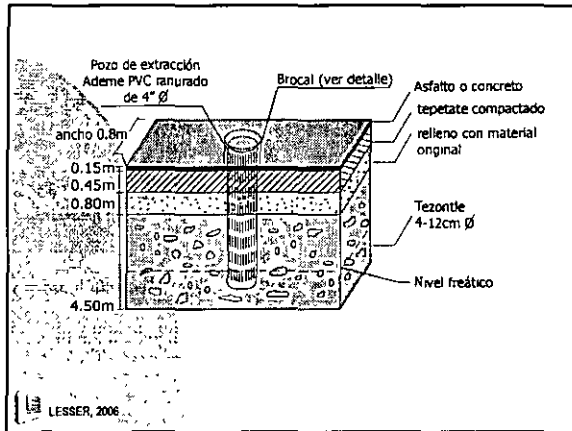


LESSER, 2006

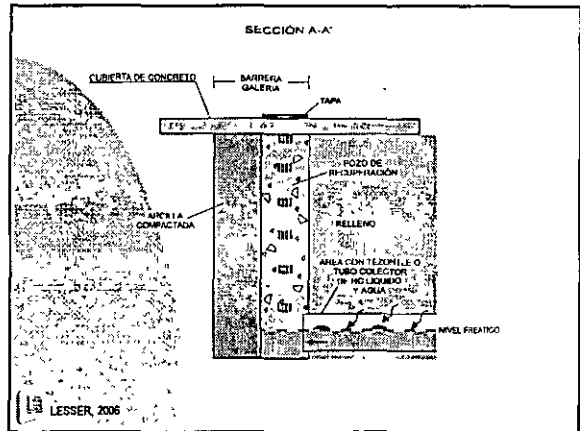
Remediación física

• Galerías filtrantes

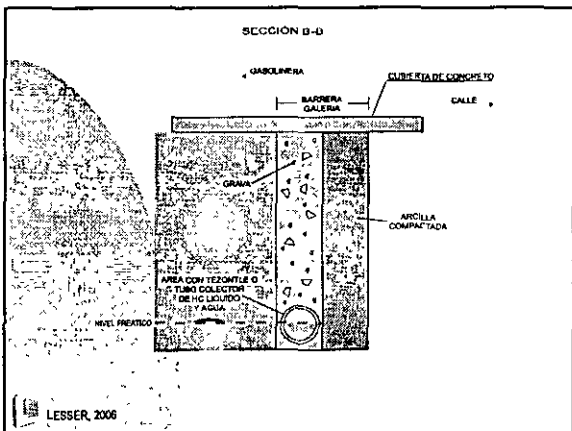
LESSER, 2006



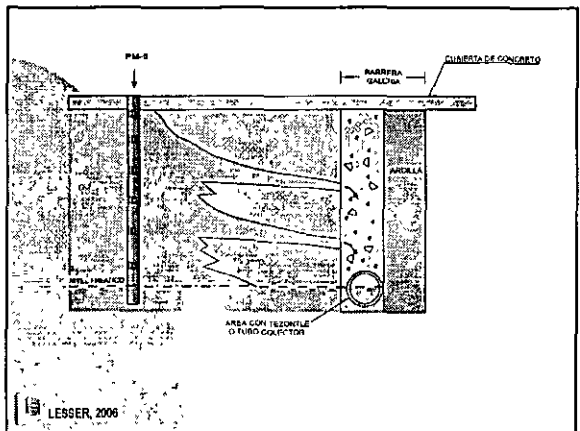
LESSER, 2006



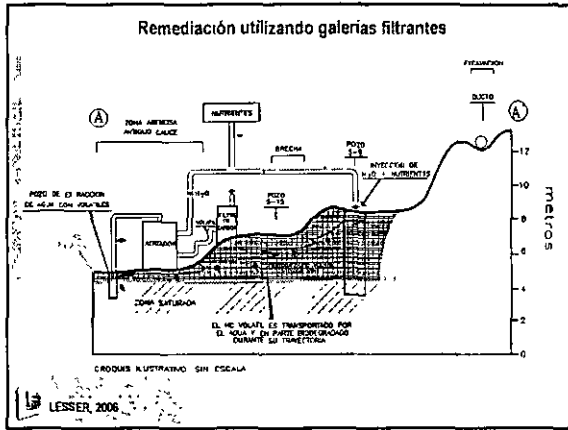
LESSER, 2006

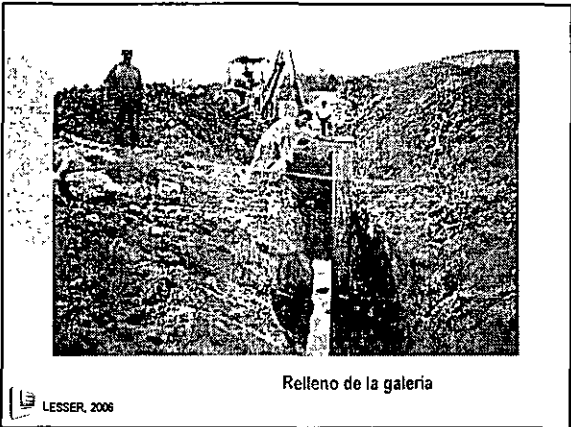


LESSER, 2006



LESSER, 2006





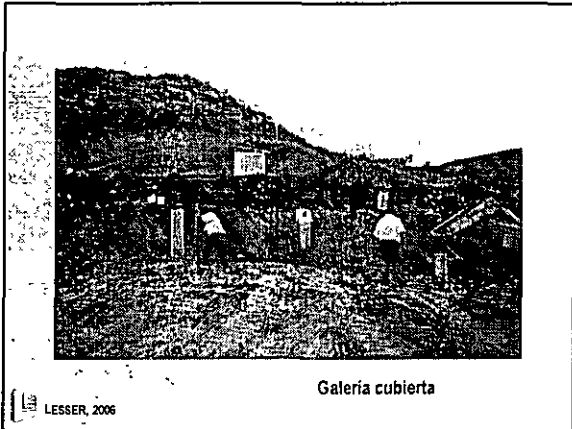
Relleno de la galería

LESSER, 2006



Tapado de la galería

LESSER, 2006



Galería cubierta

LESSER, 2006

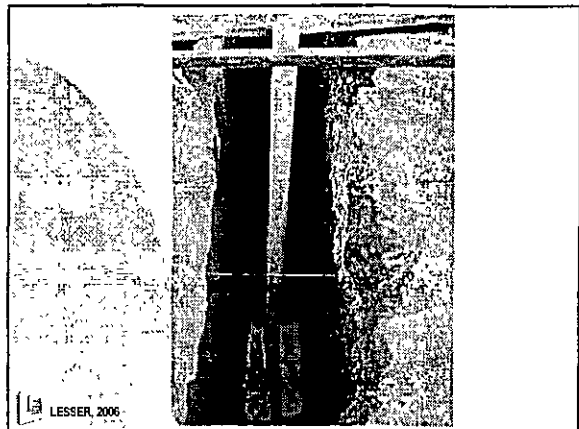


Tapa del pozo sobre la galería

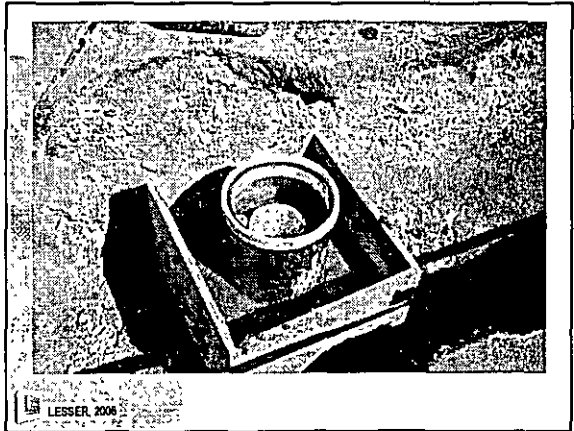
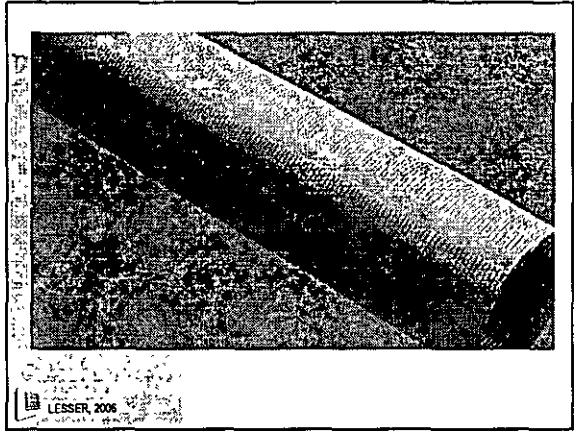
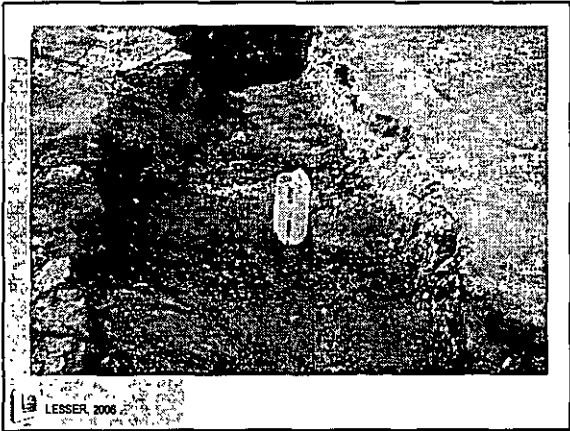
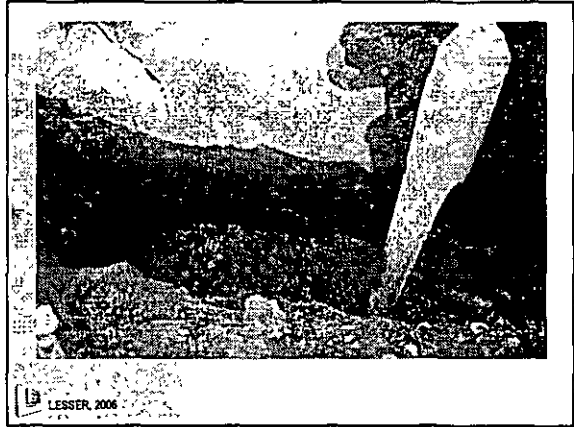
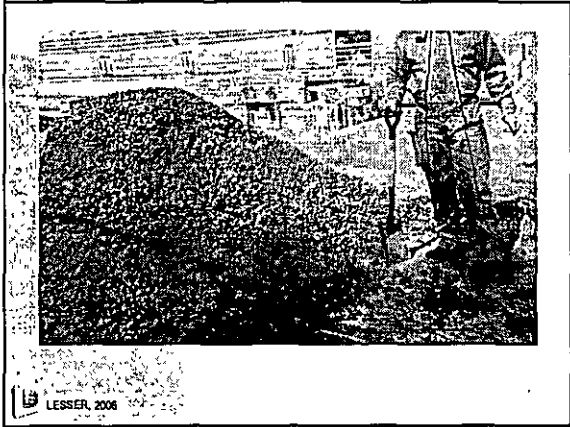
LESSER, 2006

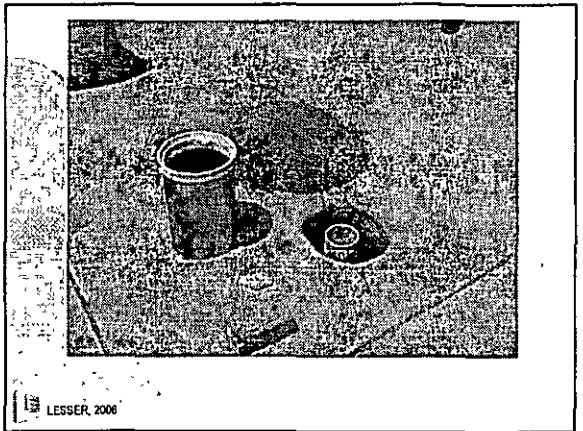
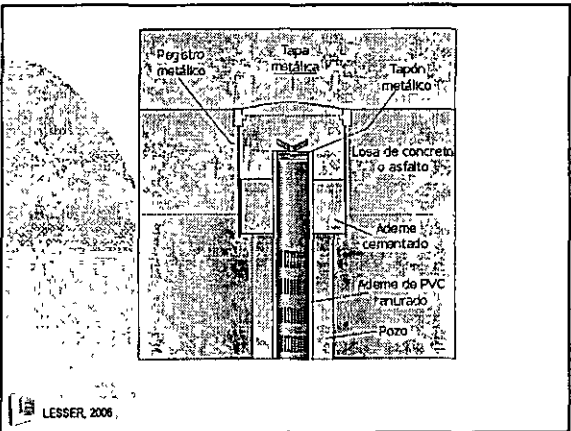
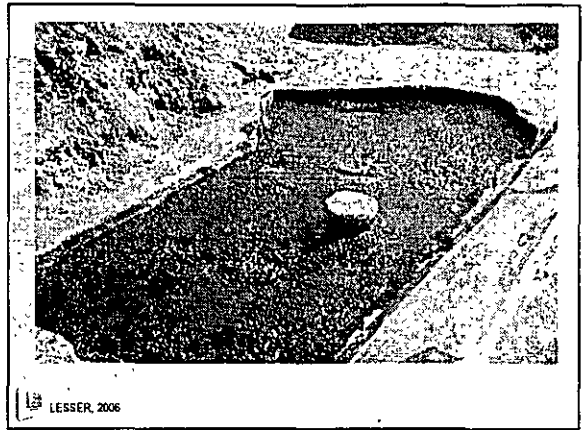
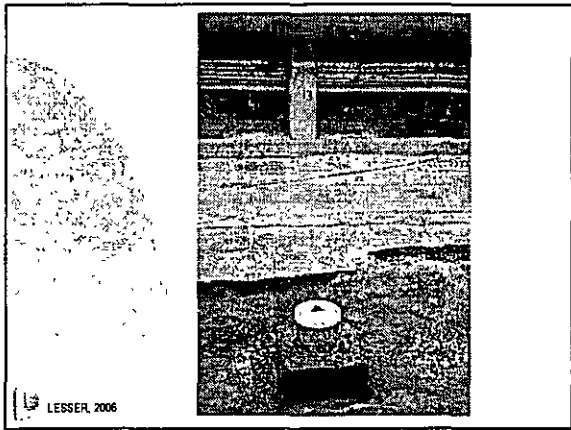


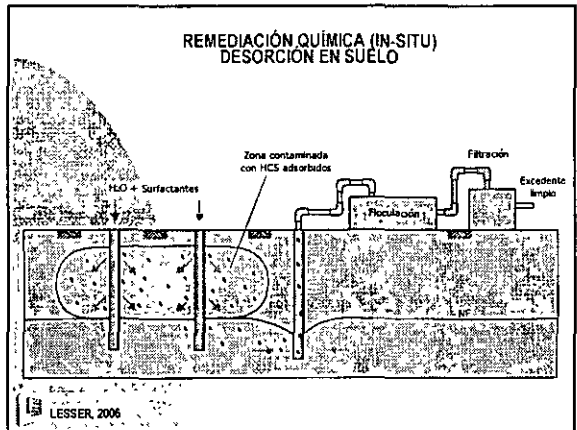
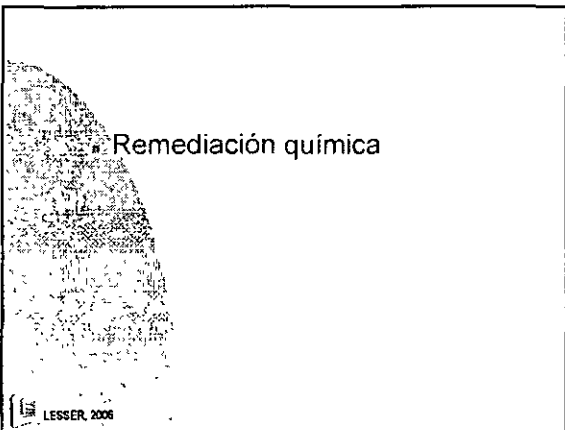
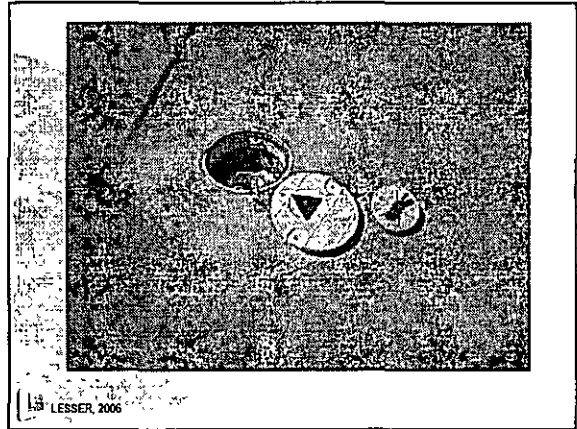
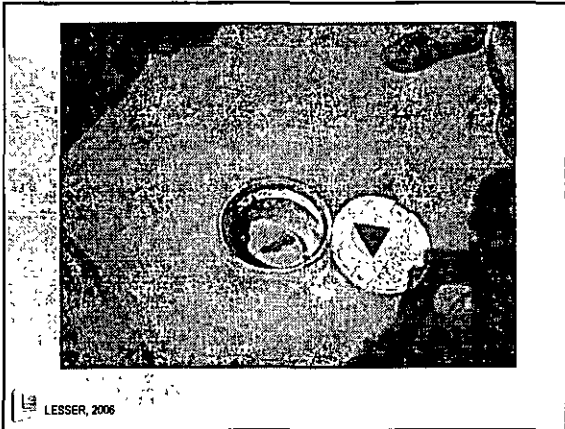
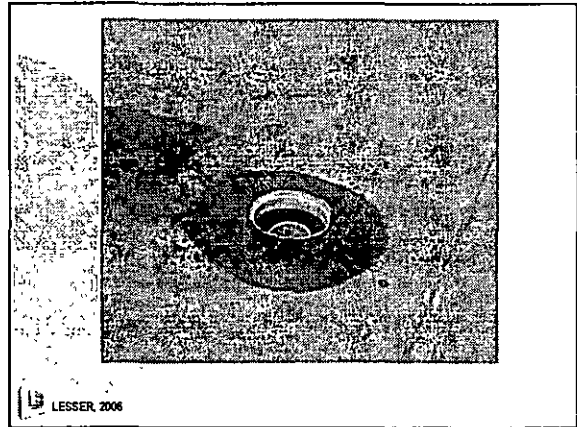
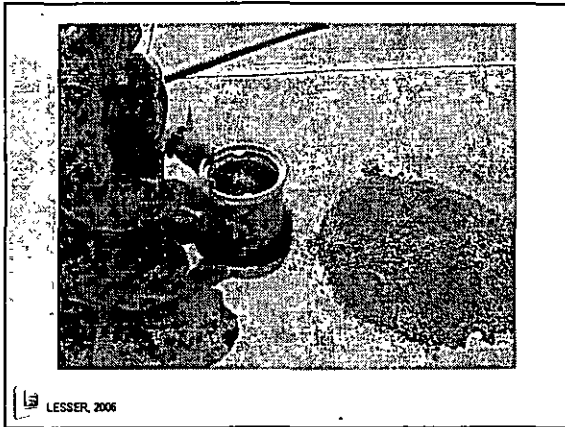
LESSER, 2006

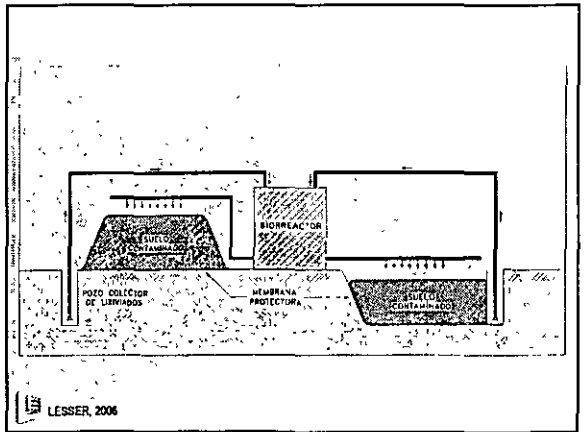
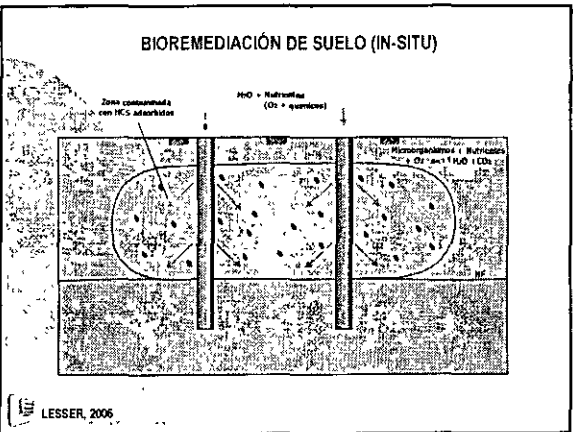
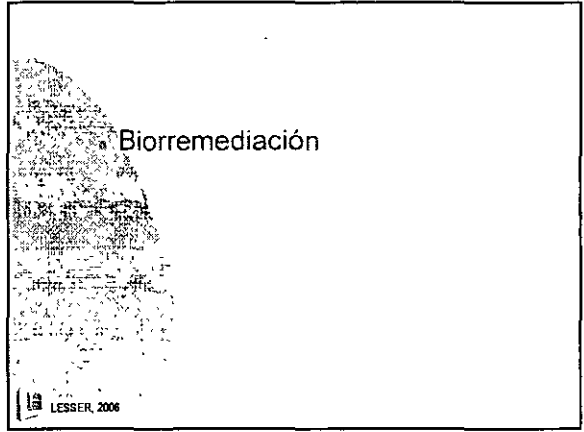
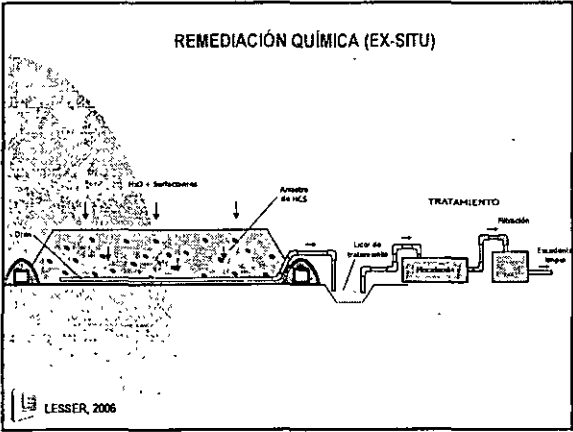
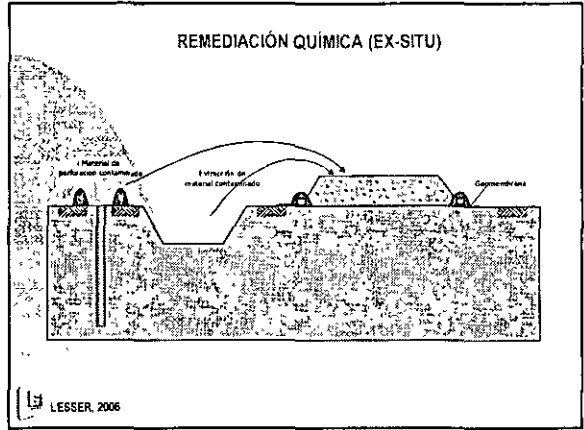


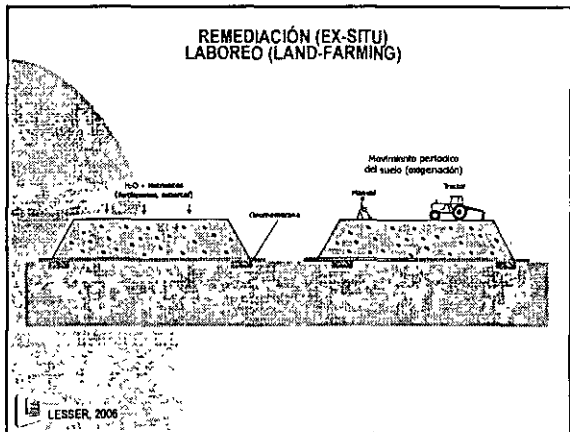
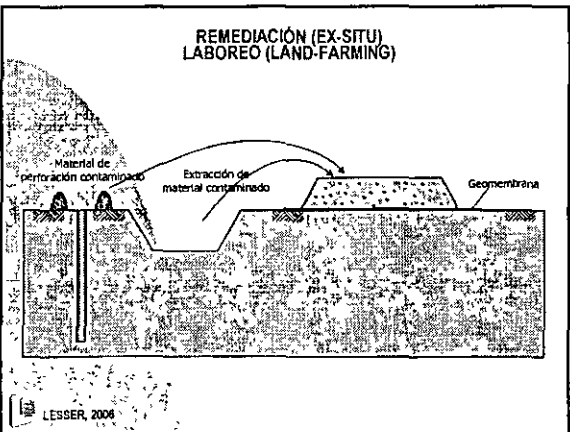
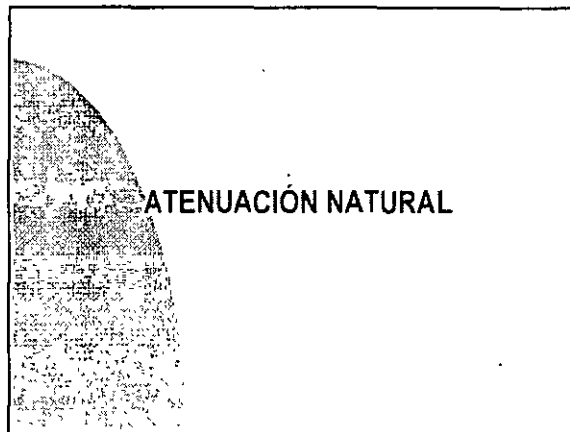
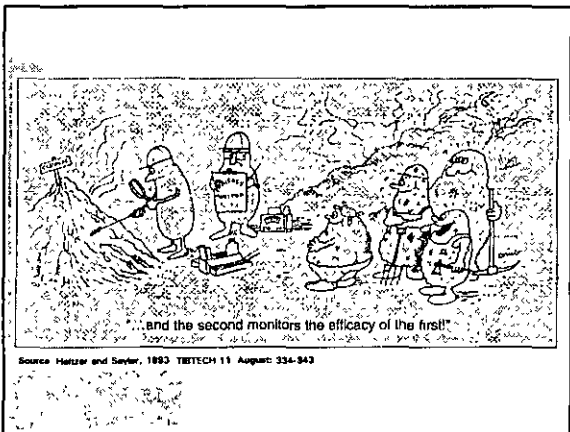
LESSER, 2006

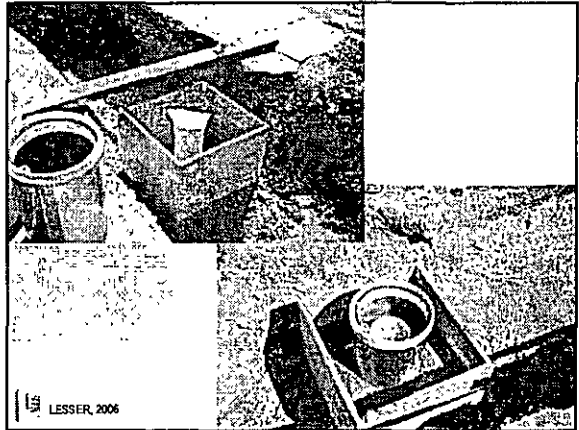
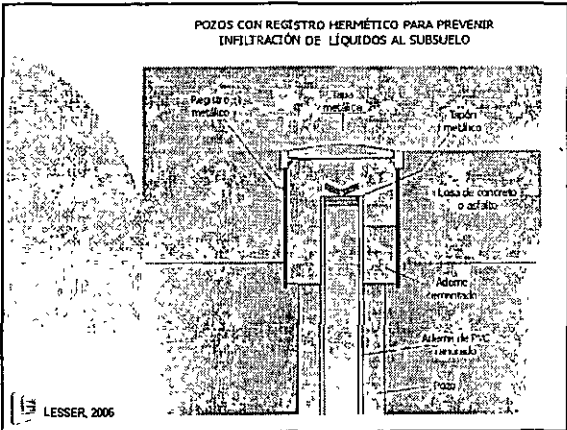
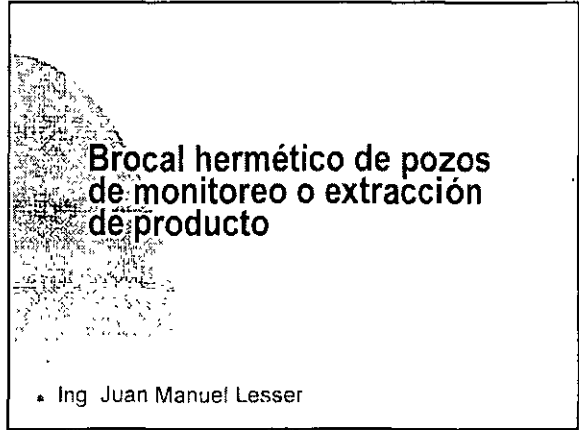
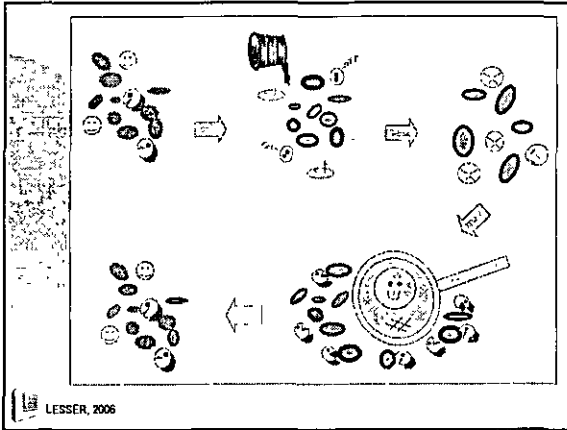
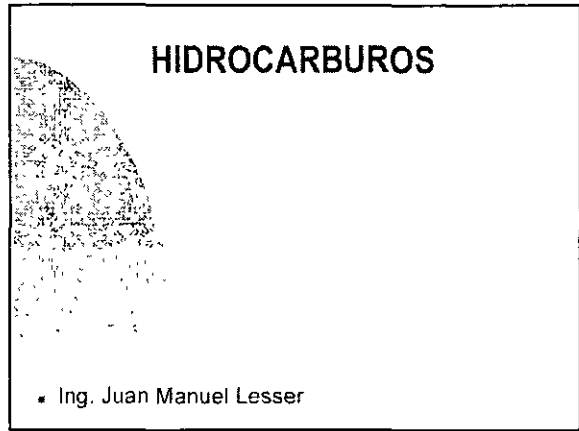
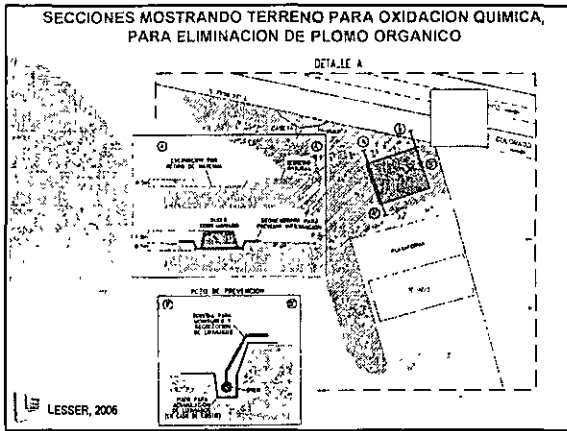


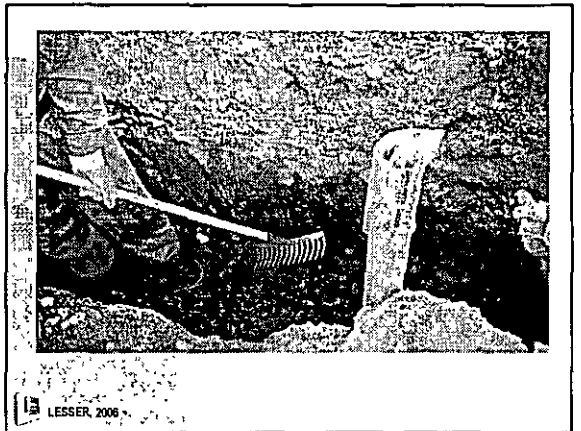
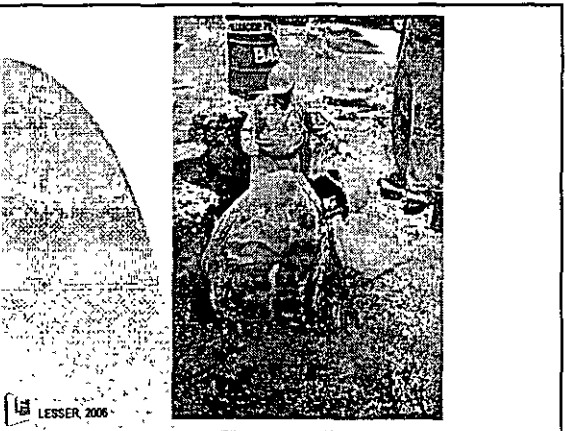
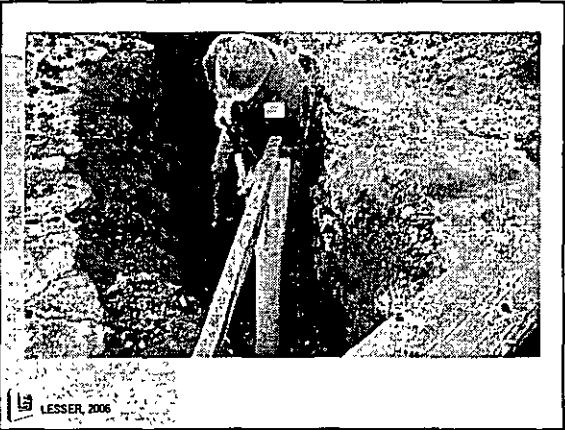
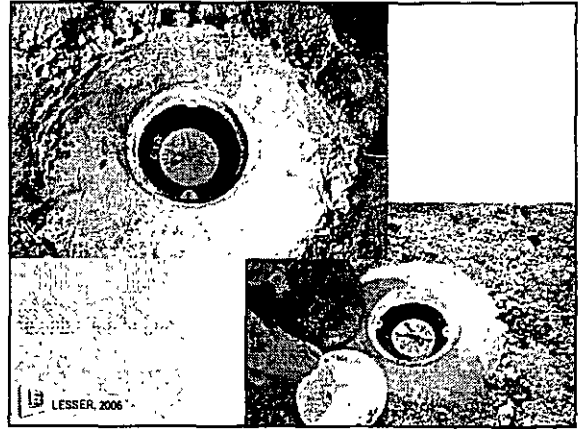
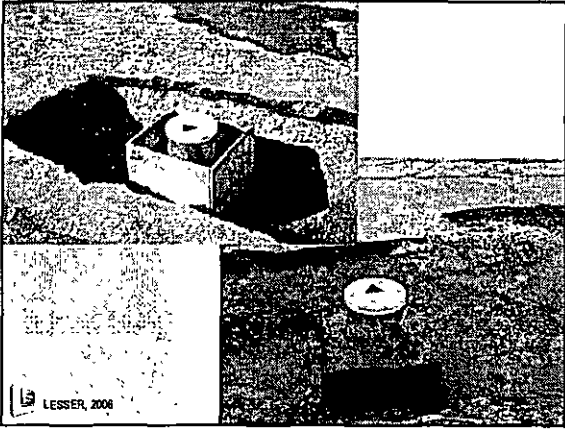


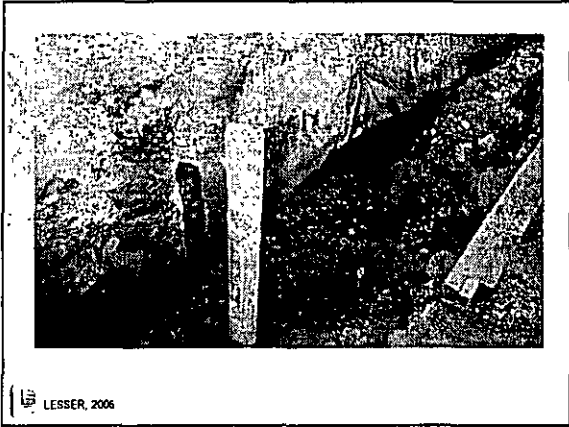












LESSER, 2006



LESSER, 2006

Tapa del pozo sobre la galeria

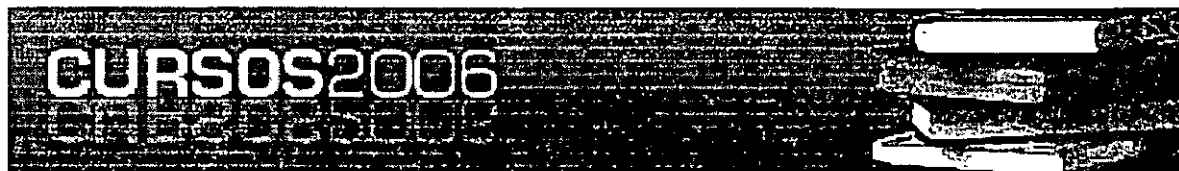


LESSER, 2006

Tapa del pozo sobre la galeria



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



CURSOS ABIERTOS

**RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS**

CA 157

TEMA

**LIMPIEZA DE ACUÍFEROS CONTAMINADOS
POR HIDROCARBUROS**

**EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

LIMPIEZA DE ACUIFEROS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS

POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V.
RIO GUADALQUIVIR No. 3
QUERETARO, QRO. 76020
MEXICO

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

INTRODUCCION

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.

METODOS DE SANEAMIENTO

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

EXTRACCION DE HC LIQUIDO Y VOLATIL

Una vez delimitada la zona invadida por HC y cuantificada su concentración, se procede a extraerlo. El producto 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 el 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.

BIODEGRADACION INSITU

Un método para el saneamiento de zonas afectadas por hidrocarburos es la biodegradación (Riser-Roberts, 1992; Calabrese, 1989; Hincbee, et al., 1992). Consiste en utilizar las bacterias que existen en todo suelo y que se alimentan de HC y oxígeno, formando bióxido de carbono y agua (Chapelle, 1993). 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 monitorearse 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 muestra un equipo *Westinghouse* para el tratamiento de hidrocarburos y agua subterránea extraídos del subsuelo. En él se observa un tanque separador de agua-hidrocarburos, un tanque para el almacenamiento del producto 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 “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. 4 se muestra la perforación de pozos direccionales para el saneamiento del subsuelo bajo infraestructuras tales 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 burbujea y separa al 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.

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, 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 se divide en dos partes. La primera considera la extracción del HC (líquido y volátil), lo cual disminuye el grado de contaminación y de riesgo; puede realizarse a través de pozos. La segunda parte puede denominarse "limpieza total" del suelo y acuífero, la cual incluye técnicas sofisticadas de alto costo y largo tiempo de ejecución.

REFERENCIAS

- CHAPELLE, F. 1993. Ground Water Microbiology and Geochemistry. John Wiley and Sons. Inc.
- FETTER, W. C., 1993. Contaminant Hydrology. Macmillan Publishing Company.
- HINCHEE, R. E. et al., 1991. 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 Groundwater, 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.

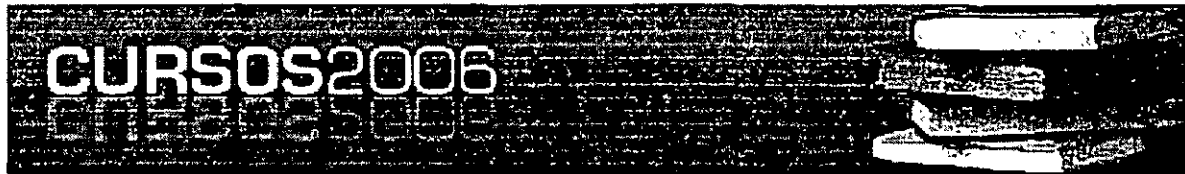
NYER, E.K. 1993. Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers.

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.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA

TABLAS

EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

**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 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

**CONCENTRACIÓN DE MTBE EN EL AGUA
FREÁTICA DE LOS POZOS DE MONITOREO
DE ESTACIONES DE SERVICIO CONSTRUIDOS
EN EL AÑO 2002**

Estación de Servicio	Pozo de Monitoreo	MTBE en el agua mg/l
0011	PM-2002-1	6.39
0011	PM-2002-2	0.04
2509	PM-2002-1	4.39
2509	PM-2002-2	13.79
4647	PM-2002-1	ND
0114	PM-2002-1	0.19
0114	PM-2002-2	1.39
0101	PM-2002-1	15.92
0101	PM-2002-2	25.93
0009	PM-2002-1	ND
0012	PM-2002-1	3.57
0041	PM-2002-1	ND
0160	PM-2002-1	ND
2728	PM-2002-1	0.99

POZO	MTBE mg/l
190	ND
254	ND
265	ND
193	ND
PS-13	ND
13	ND
71	ND
85	ND
129	ND
153	ND
II	ND

LÍMITES PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS EN AGUA EN MÉXICO

	HIDROCARBUROS MONOAROMÁTICOS mg/	HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS mg/l
Ley Federal de Derechos en Materia de Agua; CNA, 1999		
recarga	benceno 0.010 tolueno 0.700 etilbenceno 0.300	acenafteno 0.020
Criterios Ecológicos de Calidad del Agua; DOF, 1989		
fuente de abastecimiento de agua potable	benceno 0.010 tolueno 14.300 etilbenceno 1.400	acenafteno 0.020 fluoranteno 0.040
NOM-127-SSA1-1994 (2000)		
uso y consumo humano	benceno 0.010 tolueno 0.700 etilbenceno 0.300 xilenos 0.500	-

LÍMITES PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA
EN LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA

ESTADO	CONTAMINANTE	PARÁMETRO INDICADOR	LÍMITE PERMISIBLE (NIVEL DE LIMPIEZA)		MÉTODO ANALÍTICO	
			SUELO (mg/kg)	AGUA SUBTERRÁNEA (mg/l)	SUELO	AGUA SUBTERRÁNEA
Alabama	gasolina	benceno		0.005		EPA 602.624
		tolueno		1		EPA 602.624
		etilbenceno		0.700		EPA 602.624
		xilenos		10		EPA 602.624
	gasolina diesel aceite gastado	HTP	100		EPA 9071 EPA 418.1	
Arizona	gasolina	HTP		0.001		EPA 418.1
		benceno	0.13	0.005	EPA 8020	EPA 502.2
		tolueno	200	1	EPA 8020	EPA 502.2
		etilbenceno	68	0.700	EPA 8020	EPA 502.2
		xilenos	44	10	EPA 8020	EPA 502.2
Arkansas	gasolina diesel aceite gastado	HTP	100-1000		EPA 418.1 EPA 8015M	
		BTEX	0-400		EPA 8020	
California	gasolina	benceno	0.3-1		EPA 8020	
		tolueno	0.3-50		EPA 8020	
		etilbenceno	1-50		EPA 8020	
		xilenos	1-50		EPA 8020	
Delaware	gasolina diesel	HTP	100		EPA 418.1M EPA 9071 EPA 8015M	
		BTEX	10		EPA 3010+8020	
Florida	gasolina	benceno		0.001		EPA 602
		BTEX		0.050		EPA 602
	diesel	naftalenos		0.100		EPA 610
Georgia	gasolina	benceno		0.005 - 0.071		EPA 8020
		tolueno		1 - 200		EPA 8020
		etilbenceno		0.700 - 28.718		EPA 8020
		xilenos		10		EPA 8020
		BTEX	20-100		EPA 8020	
	gasolina diesel aceite gastado	HTP	100-500		California M	
	diesel	benzopireno		0.00003 - 0.0002		EPA 550 EPA 8270
		antraceno		110		EPA 8270
		criseno		0.0003		EPA 8270
		fluorantreno		0.370		EPA 8270
		fluoreno		14		EPA 8270
		pireno		11		EPA 8270

LÍMITES PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA
EN LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA

ESTADO	CONTAMINANTE	PARÁMETRO INDICADOR	LÍMITE PERMISIBLE (NIVEL DE LIMPIEZA)		MÉTODO ANALÍTICO	
			SUELO (mg/kg)	AGUA SUBTERRÁNEA (mg/l)	SUELO	AGUA SUBTERRÁNEA
Idaho	gasolina	benceno		0.005		EPA 8020
		tolueno		1		EPA 8020
		etilbenceno		0.700		EPA 8020
		xilenos		10		EPA 8020
			HTP	40-200		EPA 8015
		diesel	HTP	100-2000		EPA 8015
	aceite gastado	HTP	100		EPA 418.1	
Kansas	gasolina	benceno	1.4	0.005	EPA 8020	EPA 502.2
		tolueno		1		EPA 502.2
		etilbenceno		0.680		EPA 502.2
		xilenos		0.440		EPA 502.2
	gasolina diesel aceite gastado	HTP	100			
	diesel	naftaleno		0.143		
Kentucky	gasolina	BTEX (c/u)	1	0.005	EPA 8240	EPA 8240
Louisiana	gasolina	BTEX	100		EPA 8020	
Michigan	gasolina	benceno	24	0.001	EPA 8020	EPA 8020
		tolueno	16,000	0.790	EPA 8020	EPA 8020
		etilbenceno	1500	0.074	EPA 8020	EPA 8020
		xilenos	5600	0.280	EPA 8020	EPA 8020
Missouri	gasolina	HTP	50-500	0.005 - 0.010	EPA 418.1M	EPA 418.1
Montana	gasolina diesel	HTP	100			
Nebraska	gasolina diesel	benceno	0.005-50	0.005	EPA 8021	EPA 8021
		BTEX	1-10,000		EPA 8021	
Nevada	gasolina diesel	HTP	100		EPA 8015	
New Jersey	gasolina	benceno	3-13	0.0002	EPA SW 846	EPA SW 846
		tolueno	1000	1	EPA SW 846	EPA SW 846
		etilbenceno	1000	0.700	EPA SW 846	EPA SW 846
		xilenos	110-1000	0.040	EPA SW 846	EPA SW 846
		antraceno	10,000	2	EPA SW 846	EPA SW 846
		naftaleno	230-4200		EPA SW 846	EPA SW 846

HTP: hidrocarburos totales del petróleo, BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos; M: método modificado.

Publicado en: S. Saval, 1995. Remediación y Restauración. En *PEMEX Ambiente y Energía, Los retos del futuro*, México, UNAM-Petróleos Mexicanos, 151-189.

Fuente original: Oliver T., Kostechi P. y Calabrese E. *State Summary of Soil and Groundwater Cleanup Standards for Hydrocarbons*, Association for the Environmental Health of Soils for EPA Office of Underground Storage Tanks, USA, 1993.

**CRITERIOS INTERINOS DE REMEDIACIÓN PARA AGUA SUBTERRÁNEA EN THE NETHERLANDS
(1983)**

SUBSTANCIA (mg/l)	INTERVALO PERMISIBLE
MONOAROMÁTICOS	
Benceno	0.001 – 0.005
Etilbenceno	0.020 – 0.060
Tolueno	0.015 – 0.050
Xilenos	0.020 – 0.060
BTEX totales	0.030 – 0.100
POLIAROMÁTICOS	
Antraceno	0.002 – 0.010
Naftaleno	0.007 – 0.030
Fenantreno	0.002 – 0.010
Fluoranteno	0.001 – 0.005
Criseno	0.0005 – 0.002
Benzo(a)antraceno	0.0005 – 0.002
Benzo(a)pireno	0.0002 – 0.001
Benzo(k)fluoranteno	0.0005 – 0.002
Benzo(g,h,i)perileno	0.001 – 0.005
Indeno(1,2,3,cd)pireno	0.0005 – 0.002
HPAs totales	0.010 – 0.040

RESUMEN DE LIMITES PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS MONOAROMÁTICOS Y POLIAROMÁTICOS EN AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS ESTADOS UNIDOS

ESTADO	BTEX	BENCENO	TOLUENO	ETILBENCENO	XILENOS
Alabama					
Arizona	-	0.005	1	0.700	10
Idaho					
Florida	0.050	0.001	-	-	-
Georgia	-	0.005 – 0.071	1 – 200	0.700 - 28.718	10
Kansas	-	0.005	1	0.680	0.440
Kentucky	0.050 (c/u)	-	-	-	-
Michigan	-	0.001	0.790	0.074	0.280
Nebraska	-	0.005			
New Jersey	-	0.0002	1	0.700	0.040
INTERVALO	0.050	0.001 – 0.071	0.790 - 200	0.074 – 28.718	0.040 – 10

Antraceno	Georgia	110.00 mg/l
	New Jersey	2.00 mg/l
Benzopireno	Georgia	0.00003 – 0.0002 mg/l
Criseno	Georgia	0.0003 mg/l
Fluoranteno	Georgia	0.370 mg/l
Fluoreno	Georgia	14.00 mg/l
Naftaleno	Florida	0.100 mg/l
	Kansas	0.143 mg/l
Pireno	Georgia	11.00 mg/l

CRITERIOS INTERINOS DE REMEDIACIÓN PARA AGUA EN CANADÁ

HIDROCARBUROS	WINNIPEG, MANITOBA (1991)		OTTAWA, ONTARIO (1991)		BRITISH, COLUMBIA (1995)		QUEBEC (1988)	
	PROTECCIÓN VIDA ACUÁTICA	AGUA POTABLE	PROTECCIÓN VIDA ACUÁTICA	AGUA POTABLE	PROTECCIÓN VIDA ACUÁTICA	AGUA POTABLE	AGUA SUBTERRÁNEA (intervalo según el uso)	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
MONOAROMÁTICOS								
Benceno	0.300	0.005	0.300	0.005	0.300	0.005	0.001	0.005
Tolueno	0.700	0.0024	0.700	-	0.700	0.0024	0.050	0.150
Etilbenceno	0.300	0.024	0.300	-	0.300	0.024	0.050	0.150
Xilenos	-	0.300	-	-	-	0.300	0.020	0.060
POLIAROMÁTICOS								
Naftaleno	-	-	-	-	0.001	-	0.010	0.030
Acenafteno	-	-	-	-	0.006	0.00001	0.020	0.030
Acenaftileno	-	-	-	-	-	-	0.010	0.020
Fluoreno	-	-	-	-	0.012	-	0.002	0.010
Antraceno	-	-	-	-	0.0001	-	0.007	0.020
Fenantreno	-	-	-	-	0.0003	-	0.001	0.005
Fluoranteno	-	-	-	-	0.0002	-	0.002	0.010
Pireno	-	-	-	-	0.00002	-	0.007	0.030
Criseno	-	-	-	-	-	-	0.001	0.005
Benzo(a)pireno	-	0.00001	-	0.00001	0.00001	0.0001	0.0002	0.001
Benzo(b)fluoranteno	-	-	-	-	0.00001	0.0001	0.0002	0.001
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	0.00001	0.0001	0.0005	0.002
Benzo(k)fluoranteno	-	-	-	-	0.00001	0.0001	0.0002	0.001
Indeno(1,2,3,c,d)pireno	-	-	-	-	0.00001	-	0.001	0.005
Dibenzo(a,h)antraceno	-	-	-	-	0.00001	0.0001	0.0002	0.001

EFECTOS DE ALGUNOS HIDROCARBUROS EN LA SALUD HUMANA

CONTAMINANTE	LÍMITE EN AGUA POTABLE NOM-127-SSA (mg/l)	LÍMITE EN AGUA DE USO PÚBLICO URBANO CNA ¹ (mg/l)	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA CECCA, 1989 mg/l	LÍMITE EN AGUA POTABLE USEPA (mg/l)	EFECTOS EN LA SALUD HUMANA	
					EFFECTO ^{2,3}	DAÑOS
ACENAFTENO	-	0.020	0.020	-	N	Irritante a las mucosas y piel. Daño al hígado
FENANTRENO	-	-	-	-	N	Irritante de la piel y vías respiratorias
FLUORENO	-	-	-	-	N	Irritante de la piel y vías respiratorias. Reducción de células rojas y hemoglobina
NAFTALENO	-	-	-	0.02	N	Fatiga confusión, náusea y vómito. Alergia en la piel y puede dañar el hígado y el riñón
ANTRACENO	-	-	-	-	N	Irritante en la piel. Su dosis de referencia se fijó por efecto no observado.
FLUORANTENO	-	-	0.040	-	N	Necropatía, incremento del peso del hígado, alteraciones hematológica y efectos clínicos
BENZO(B)FLUORANTENO	-	-	-	-	C	Irrita piel y ojos. Produce tumores en pulmón ensayado en ratones
BENZO(K)FLUORANTENO	-	-	-	-	C	Se ha demostrado su carcinogenicidad en animales
BENZO(A)PIRENO	-	-	-	0.0002	C	Daño en glóbulos rojos de la sangre hasta anemia y depresor del sistema inmunológico. Efectos negativos en el desarrollo y reproducción.
BENZO(A)ANTRACENO	-	-	-	-	C	Desarrollo de tumores
DIBENZO(A)ANTRACENO	-	-	-	-	C	
BENCENO	-	0.010	0.010	0.005	C	Daño al sistema nervioso central y efectos en el sistema hematológico e inmunológico
TOLUENO	-	0.700	14.300	1.000	N	Efecto narcótico, daño al hígado, riñón.
ETILBENCENO	-	0.300	1.400	0.700	N	Impacto en el sistema nervioso, hígado y riñón
XILENOS	-	-	-	10.000	N	Efecto al sistema nervioso central e hígado
METILTERBUTILETER	-	-	-	-	N	Límite establecido por sabor y olor, no por toxicidad

¹ Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, 1999

² USEPA, 2001. Region III Risk-based Concentrations

³ Efecto: N = no cancerígeno; C = cancerígeno

CALIDAD REQUERIDA PARA USO O APROVECHAMIENTO DEL AGUA

PARÁMETROS INORGÁNICOS	FUENTE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCOLA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
ALCALINIDAD (Como CaCO ₃)	400.0				(I)	(I)
ALUMINIO	0.02		5.0	5.0	0.05	0.2
ANTIMONIO	0.1		0.1		0.09	
ARSÉNICO	0.05		0.1	0.2	0.2 (Como As)	0.04 (Como As)
ASBESTOS (FIBRAS/l)	3000					
BARIO	1.0				0.01	0.5
BERILIO	0.00007		(III)	0.1	0.001	
BORO	1.0		0.7(v)	5.0		0.009
CADMIO	0.01		0.01	0.02	(VI)	0.0009
CIANURO (Como CN')	0.02	0.02	0.02		0.005	0.001
CLORO RESIDUAL					0.011	0.0075
CLORUROS (Como Cl-)	250.0		147.5		250.0	
COBRE	1.0		0.20	0.5	(VII)	0.003
CROMO HEXAVALENTE	0.05		1.0	1.0	0.01	0.05
FIERRO	0.3		5.0		1.0	0.05
FLUORUROS (Como F-)	1.5		1.0	2.0	1.0	0.5
FOSFATOS (Como PO ₄)	0.1				(IX)	0.002
FOSFORO ELEMENTAL					0.0001	0.0001
MANGANESO	0.1					
MERCURIO (Hg)	0.001			0.003	0.00001	0.00002
NIQUEL	0.01		0.2	1.0	(X)	0.008
NITRATOS (NO ₃) (Como N)	5.0			90.0		0.04
NITRITOS (NO ₂) (Como N)	0.05			10.0		0.002
NITRÓGENO AMONIACAL (Como N)					0.06	0.01
OXÍGENO DISUELTO (XI)	4.0				5.0	5.0
PLATA	0.05				(XIV)	0.002
PLOMO	0.05		5.0	0.1	(XV)	0.006
SELENIO (Como selenato)	0.01		0.02	0.05	0.008	0.4
SULFATOS (SO ₄)	500.0		130.0		0.005	
SULFUROS (Como H ₂ S)	0.2				0.002	0.002
TALIO	0.01				0.01	0.02
ZINC	5.0		2.0	50.0	(XVII)	0.09

CALIDAD REQUERIDA PARA USO O APROVECHAMIENTO DEL AGUA

PARÁMETROS ORGÁNICOS	FUENTE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCOLA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
ACENAFTENO	0.02				0.02	0.01
ÁCIDO 2,4 DICLOROFENOXIACÉTICO	0.1					
ACRILONITRILLO	0.0006				0.07	
ACROLEINA	0.3		0.1		0.0007	0.0005
ALDRIN	0.00003	0.00005	0.02		0.003	0.001
BENCENO	0.01				0.05	0.005
BENCIDINA	0.000001				0.02	
BIFENILOS POLICLORADOS	0.0000008				0.00001	0.00003
BHC (IV)					0.001	0.000003
BHC (LINDANO)	0.003				0.002	0.0002
BIS (2-CLOROETIL) ÉTER	0.00003				2.38	
BIS (2-CLOROISOPROPIL) ÉTER	0.03				2.38	
BIS (2-ETILHEXIL) FTALATO	32.0				0.0094	0.02944
4-BROMOFENIL-FENIL-ÉTER					0.01	
BROMOFORMO	0.002					
BROMURO DE METILO	0.002					
CARBONO ORGÁNICO						
- EXTRACTABLE EN ALCOHOL	1.5					
- EXTRACTABLE EN CLOROFORMO	3.0					
CLORDANO	0.003	0.00002	0.003		0.002	0.00009
(MEZCLA TÉCNICA DE METABOLITOS)						
CLORO BENCENO	0.02				0.0025	0.0016
2 CLORO ETIL VINIL ÉTER					0.5	
2 CLOROFENOL	0.03				0.04	0.1
CLOROFORMO	0.03				0.3	
CLORONAFTALENOS					0.02	0.00007
CLORURO DE METILENO	0.002					
CLORURO DE METILO	0.002					
CLORURO DE VINILO	0.02					
DDD = diclorofenildicloroetano	0.0000002				0.000006	0.00004
DDE = 1,1-di (clorofenil) -2, 2dicloroetileno			0.04		0.01	0.0001
DDT = 1,1 -di (clorofenil) -2,2,2, -tricloroetano	0.001	0.000005			0.001	0.0001
DICLOROBENCENOS	0.4				0.01	0.02
1,2 DICLOROETANO	0.005				1.2	1.1
1,1 DICLOROETILENO	0.0003				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	0.0000007	0 000003	0.02		0.002	0.0007
DIETILFTALATO	350 0				0.0094	0 02944
1,2 DIFENILHIDRACINA	0.0004				0.003	

CALIDAD REQUERIDA PARA USO - APROVECHAMIENTO DEL AGUA

PARÁMETROS ORGÁNICOS	FUENTE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCOLA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
2,4 DIMETIL FENOL	0.4				0.02	
DIMETIL FTALATO	313.0				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
ENDOSULFANO (alfa y beta)	0.07				0.0002	0.00003
ENDRIN	0.001	0.000002			0.00002	0.00004
ETILBENCENO	1.4					0.5
FENOL	0.3	0.001			0.1	0.06
FLUORANTENO	0.04				0.04	0.0004
GASES DISUELTOS					(XVIII)	(XVIII)
HALOMETANOS	0.002				0.1	
HEPTACLORO	0.0001	0.000002	0.02		0.0005	0.0005
HEXACLOROBENCENO	0.00001				0.0025	0.0016
HEXACLOROBUTADIENO	0.004				0.0009	0.0003
HEXACLOROCICLOPENTADIENO	0.001				0.00007	0.00007
HEXACLOROETANO	0.02				0.01	0.009
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLINUCLEARES	0.00003					0.1
ISOFORONA	5.2				1.2	0.1
METOXICLORO	0.03					
NAFTALENO					0.02	0.02
NITROBENCENO	20.0				0.3	0.07
2 NITROFENOL Y 4 NITROFENOL	0.07				0.002	0.05
N-NITROSODIFENILAMINA	0.05				0.0585	33.0
N-NITROSODIMETILAMINA	0.00001				0.0585	33.0
N-NITROSODI-N JPROPILAMINA					0.0585	33.0
PARATION	0.00003				0.00004	0.00004
PENTAFLOROFENOL	0.03				0.0005	0.0005
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	0.5				0.1	0.1
2,3,7,8 TETRAFLORODIBENZO-P-DIOXINA	0.0000000001				0.00000001	0.00000001
1,1,2,2 TETRAFLOROETANO	0.002				0.09	0.09
TETRAFLOROETILENO	0.008				0.05	0.1
TETRACOLORURO DE CARBONO	0.004				0.3	0.5
TOLUENO	14.3				0.2	0.06
TOXAFENO	0.000007	0.00003	0.005		0.0000002	0.0000002
1,1,1 TRICLOROETANO	18.4				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	

CALIDAD REQUERIDA PARA USO O APROVECHAMIENTO DEL AGUA

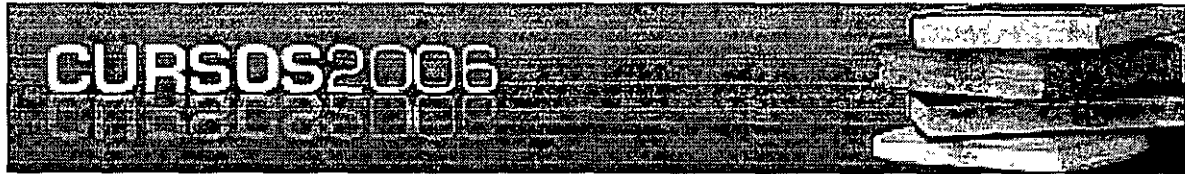
PARÁMETROS FÍSICOS	FUENTE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCOLA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
ASPECTOS ESTÉTICOS	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)
COLOR (Unidades de escala Pt-Co)	75.0				(VIII)	(VIII)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (umhos/cm)			1.0			
GRASAS Y ACEITES	AUSENTE					
MATERIA FLOTANTE	(II;2)	(II;2)	(II;2)	(II;2)	(II;2)	(II;2)
OLOR	AUSENTE					
POENCIAL HIDRÓGENO (pH) (xii)	5-9		4.5 - 9.0		(XIII)	(XIII)
SABOR	CARACTERISTICO					
SÓLIDOS DISUELTOS	500.0		500.0 (XVI)	1000.0		
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	500.0		50.0		(VIII)	(VIII)
SÓLIDOS TOTALES	1000.0					
TEMPERATURA °C	CONDIC.NATUR + 2.5				CONDIC.NATUR.+ 1.5	CONDIC.NATUR.+ 1.5
TURBIEDAD (Unidades escala de silice)	CONDIC. NATURALES				(VIII)	(VIII)

PARÁMETRO MICROBIOLÓGICO	FUENTE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCOLA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
COLIFORMES FECALES (NMP / 100 ML)	1000.0 (XIX)	200.0	1000.0		200.0	200.0

PARÁMETROS RADIOLÓGICOS	FUENTE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCOLA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
RADIOACTIVIDAD:						
- ALFA TOTAL (Bq / l)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
- BETA TOTAL (Bq / l)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS
CA 157

TEMA

EL SUELO DESDE EL PUNTO DE VISTA
EDAFOLÓGICO (PEDOLÓGICO)

**EXPOSITOR: DRA. SILKE CRAM HEYDRICK
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

El suelo desde el punto de vista edafológico (pedológico)

Silke Cram
Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos del Ambiente
Instituto de Geografía
UNAM

S. Cram
LAFQA, IG, UNAM

PEDOLOGÍA – es la ciencia del suelo que se ocupa de estudiar el origen del suelo; examina y clasifica los suelos en sus modificaciones dentro de su ambiente natural (Buckmann, 1977)

EDAFOLOGÍA – es la ciencia que se ocupa de analizar la influencia de los suelos sobre los organismos vivientes; particularmente plantas, incluyendo el uso del suelo por el hombre para el crecimiento de las plantas. (SSSA 1996)

SUELO

- i)** material mineral y/o orgánico no consolidado sobre la superficie de la tierra que sirve como un medio natural para el crecimiento de las plantas
- ii)** material mineral y orgánico no consolidado que ha sido sujeto a y muestra efectos de factores y procesos formadores. Un suelo difiere del material del cual se ha formado en muchas propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (SSSA 1996).
- iii)** Se refiere a todo material no consolidado que normalmente se encuentra sobre la superficie terrestre, incluyendo, pero no se limita solamente a estos materiales, limos, arcillas, arenas, grava y pequeñas rocas. (Lee, 1992 Environ. Engineering Dictionary)

tiempo (clima, material parental, relieve, organismos)

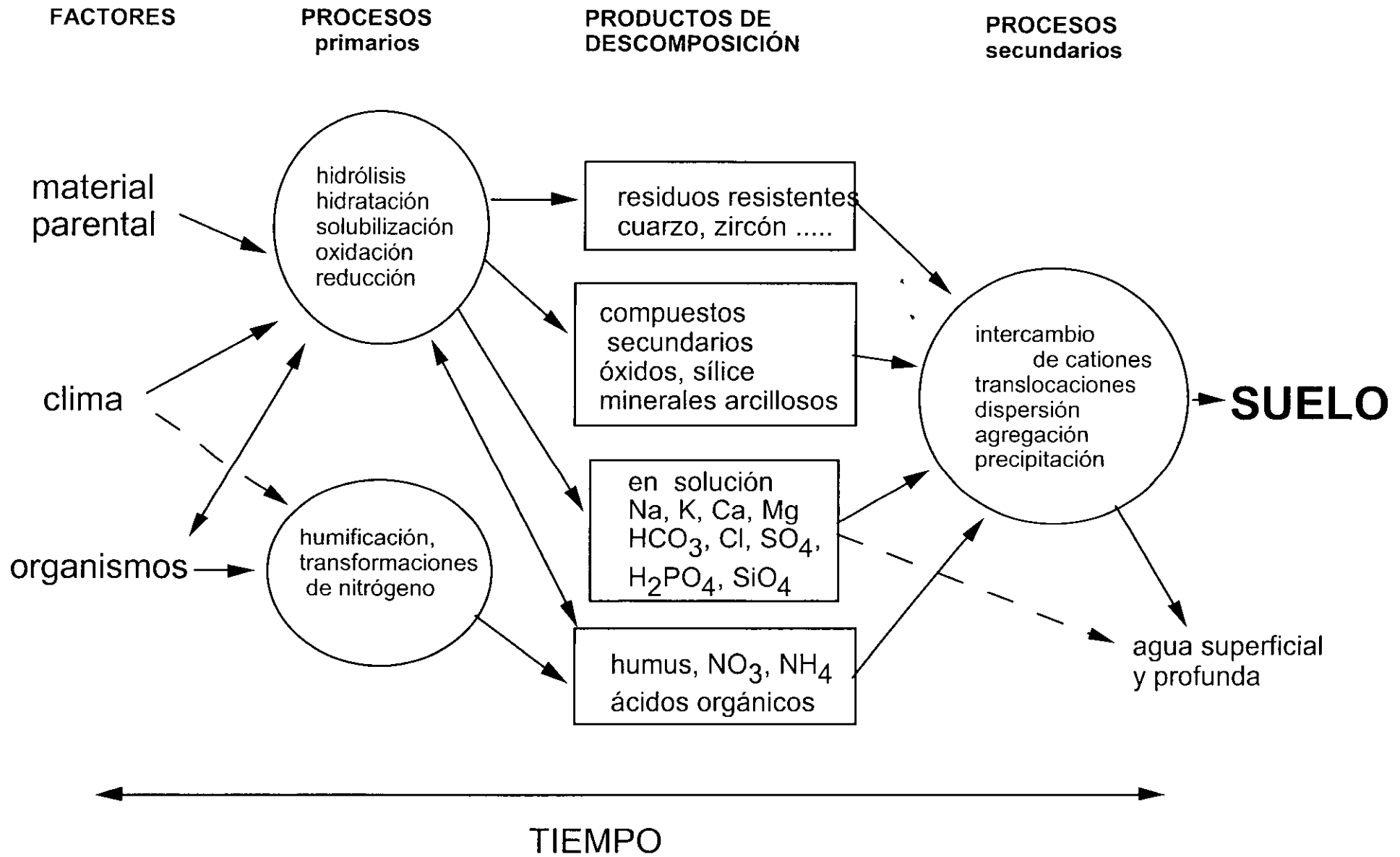
t°C
pp

↓
textura
composición
mineralógica
química

↓
geoformas
pendiente
exposición

↓
animales
plantas

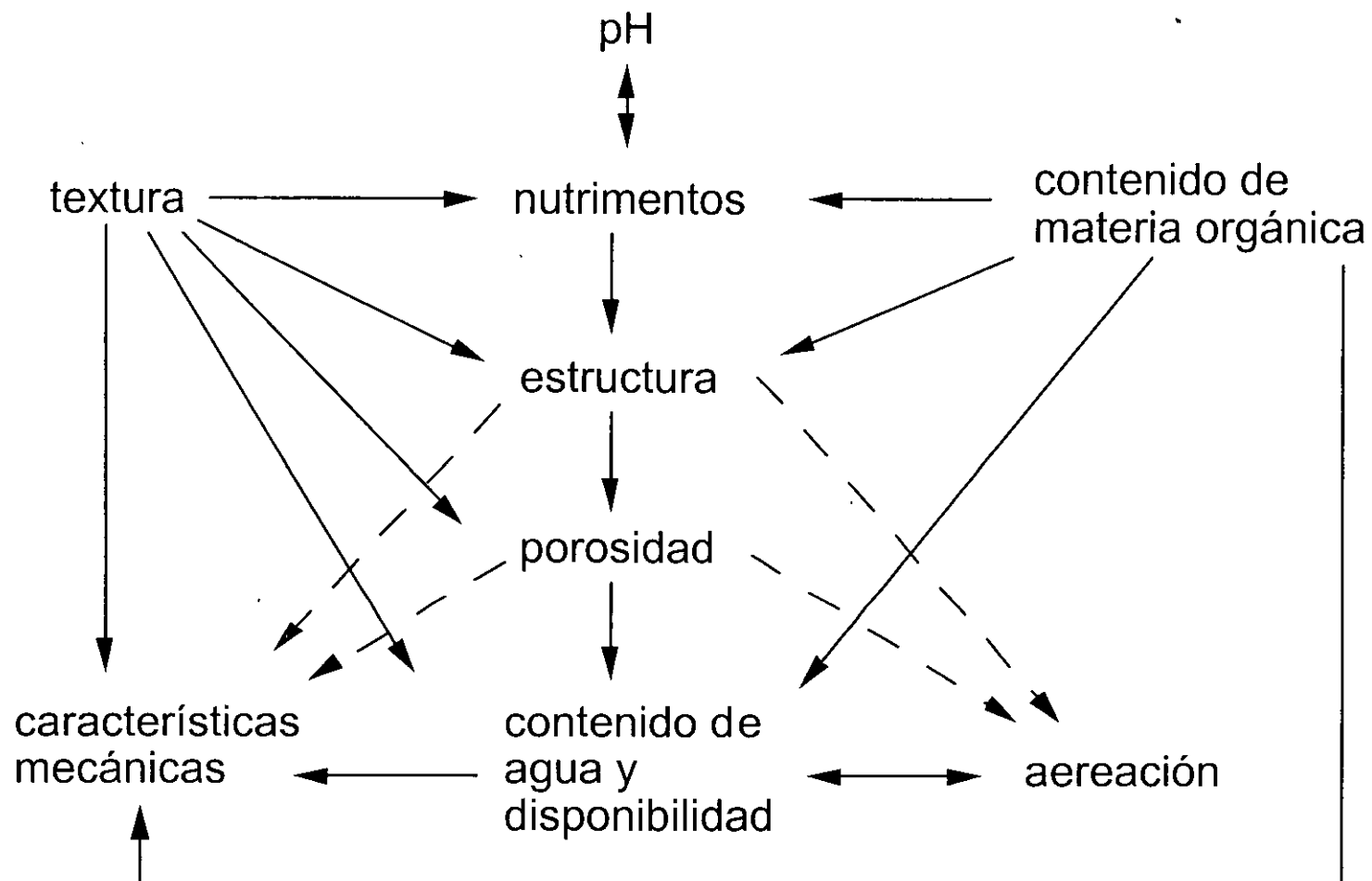
hombre



COMPONENTES DEL SUELO

		tamaño (mm)	superficie específica
minerales 45 %	arena	2 - 0.02	< 0.1 m ² g ⁻¹
	limo	0.02 - 0.002	0.1 - 1
	arcilla	< 0,002	5 - 500
materia orgánica 5%			800 - 1000
agua	25 %		
aire	25%		

microorganismos: lombrices, insectos, bacterias, hongos, algas, nemátodos etc.



FUNCIONES DEL SUELO

- Producción de biomasa
- Reactor: filtro, amortiguador, transformador (regulador de la calidad del agua y del aire)
- Hábitat de organismos y reserva genética
- Medio físico para sostener estructura socioeconómica, habitación, desarrollo industrial, sistemas de transporte, recreación, disposición de residuos
- Fuente de materiales como arcilla, arena, grava, minerales etc.
- Parte de nuestra herencia cultural que contiene tesoros arqueológicos y paleontológicos importantes para preservar la historia de la tierra y la humanidad

SALUD DEL SUELO – es la continua capacidad del suelo de funcionar como un sistema vital viviente dentro de un ecosistema y sostener la productividad biológica, mantener la calidad del aire y del agua, mantener la salud de las plantas y del ser humano (Pankhurst et al, 1997).

CALIDAD DEL SUELO – es la capacidad de un tipo específico de suelo de funcionar dentro de ecosistemas naturales o “artificiales (manejados por el hombre) y sustentar la productividad animal y vegetal, mejorar la calidad del aire y del agua y sostener la salud y el hábitat del ser humano (Seybold, 1999).

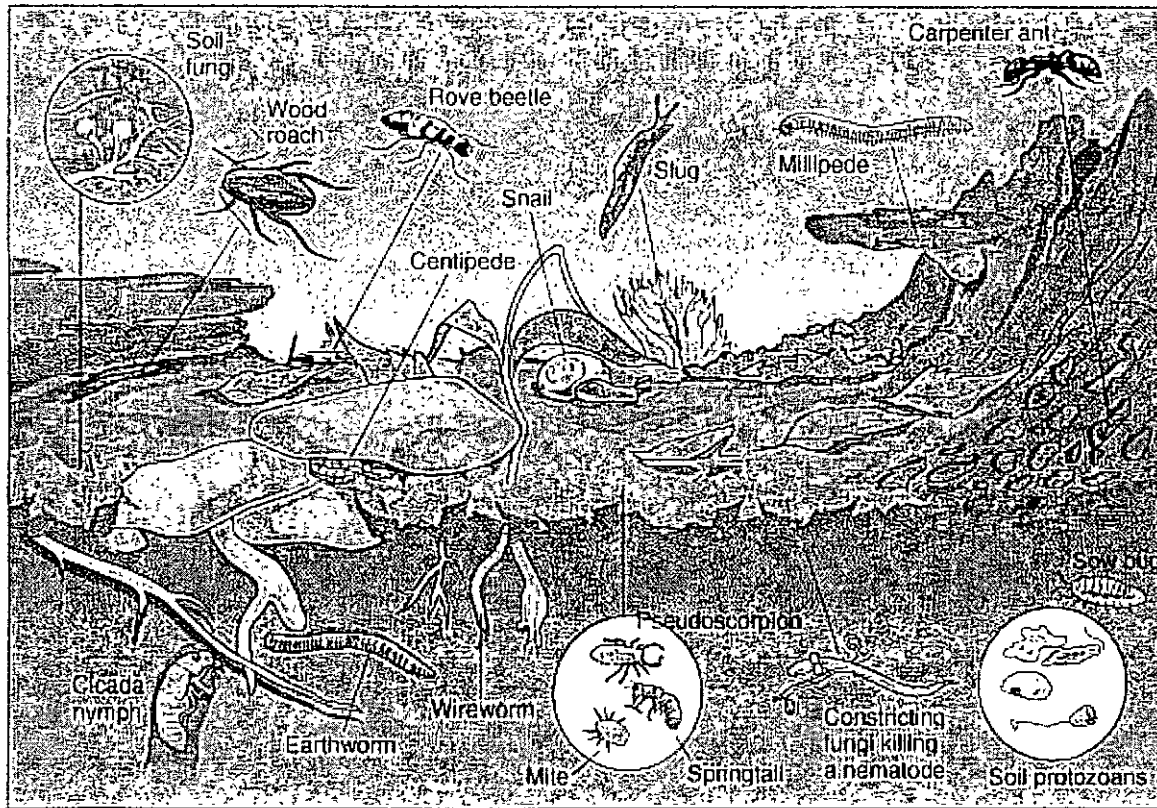
Calidad del suelo en agronomía – la aptitud del suelo de sustentar el crecimiento de los cultivos sin sufrir una degradación o afectar el ambiente.

La capacidad (del suelo) de funcionar

Degradación – es la pérdida de productividad o utilidad actual o potencial

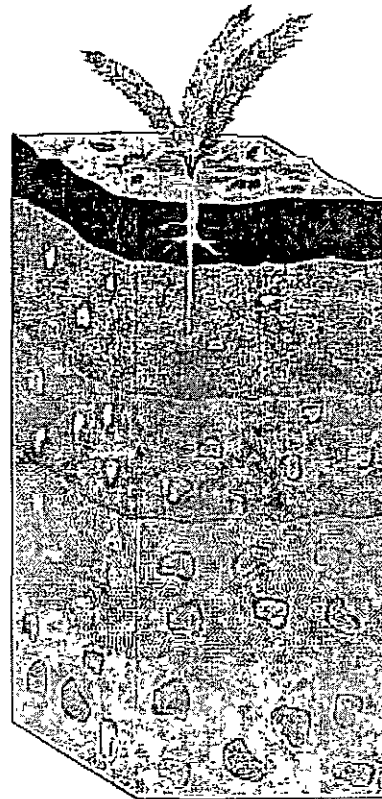
- Implica una reducción de la capacidad del suelo de producir bienes económicos y de llevar a cabo sus funciones de regulación en el ambiente
- Involucra cambios adversos en sus propiedades que limitan o reducen la habilidad del suelo de cumplir con sus funciones.

Organismos del suelo



Nebel, 1993. Environmental Science

Perfil del suelo



O Horizon: Lenses
surface litter, decomposing
plant matter

A Horizon: Topsoil
(good humus and leached
mineral soil)

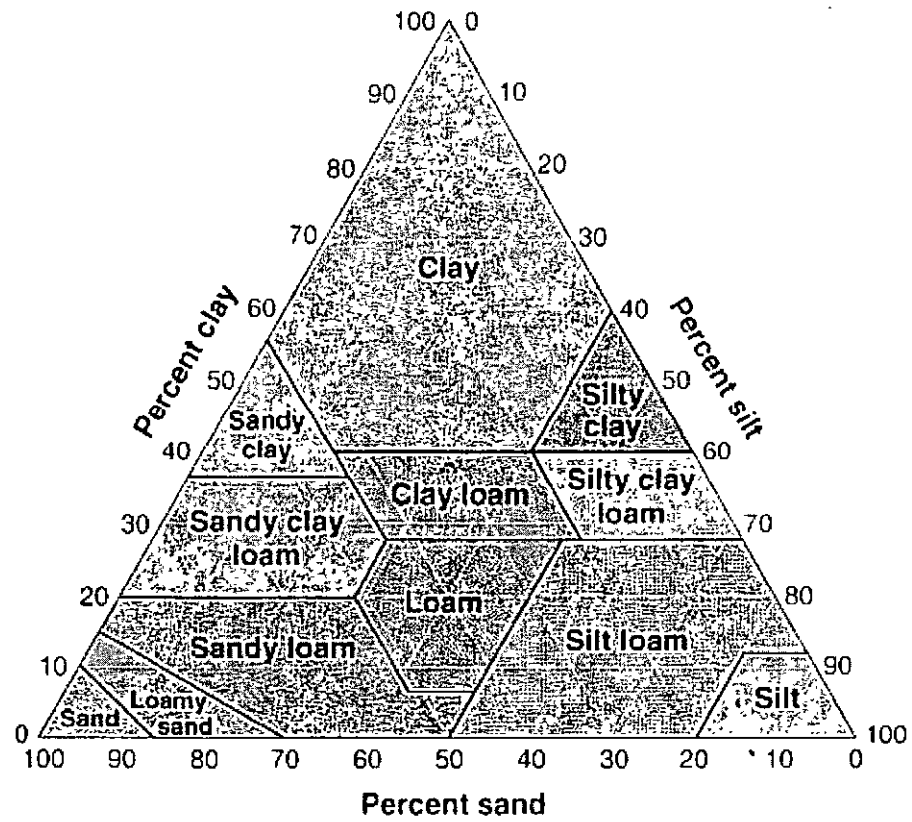
E Horizon: Zone of
leaching (less humus, minerals
resistant to leaching)

B Horizon: Subsoil
accumulation of leached
minerals (iron and
aluminum oxides)

C Horizon: Weathered
parent material, (partly
broken-down minerals)

Nebel 1993, Environmental Science

Triángulo de texturas



Nebel 1993, Environmental Science

TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS

Objetivo

¿Cuanto?
¿En dónde?

✚ Niveles de fondo
✚ Distribución de contaminantes
✚ Variabilidad de las características del suelo
✚ Monitoreo

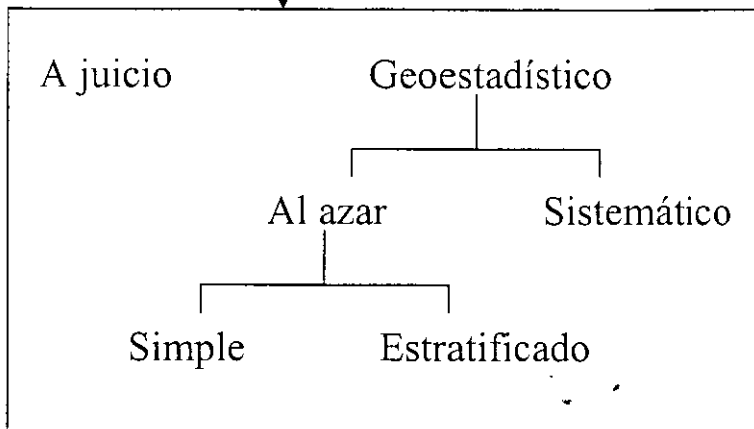


Población
Variables a medir
Escala

Planeación estrategia o modelo de aproximación:

1. Definición del problema y objetivos del estudio
2. Definición de la población (cartografía)
3. Esquema de muestreo.
 - Número y ubicación de muestras
 - Variables a medir
 - Muestra soporte y herramientas de muestreo
 - Profundidad de muestreo
 - Cantidad de muestra
 - Criterios para eventualidades previsibles
 - Documentación (datos mínimos que deben registrarse)
 - Identificación de la muestra
 - Preservación y transporte de muestras

¿ DÓNDE CUANDO COMO ?



Geoestadística: todos los métodos estadísticos de análisis de datos correlacionados en tiempo y/o espacio.

A juicio o dirigido:

- La selección de los puntos de muestreo se realiza de acuerdo a la experiencia.
- No se pueden aplicar aproximaciones estadísticas a los resultados.
- Subjetiva, sesgada, errores sistemáticos.
- Sin datos adicionales no se puede extrapolar.
- Aproximación inicial (muestreo primario).

Muestra aleatoria simple:

- Los puntos de muestreo de toda la población, se eligen de tal forma de que cualquier combinación de n unidades, tenga la misma oportunidad de ser seleccionada (tabla de números aleatorios).
- Se utiliza en poblaciones homogéneas (poblaciones pequeñas)

Muestra aleatoria estratificada

- La población se subdivide en estratos (grupos, fases) más homogéneos y en cada estrato se lleva a cabo un muestreo aleatorio simple.
- La elección de estratos se lleva a cabo con información previa

clima
 geomorfología
 tipo de suelo
 vegetación/
 uso del suelo

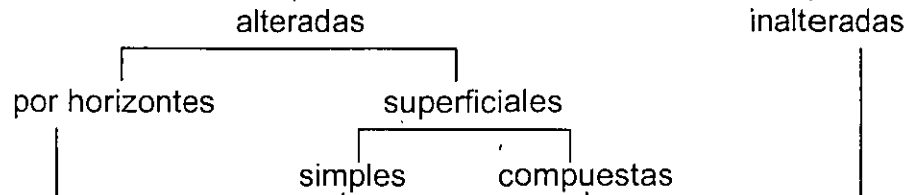
- Errores de muestreo menores

Muestreo sistemático

- El muestreo se lleva a cabo de forma sistemática
 p.e. - en intervalos de 5 metros (el primer punto se elige al azar, o desde un punto de emisión)
 - sólo en crestas, ladera, valle
- Los resultados van a depender de la distancia entre los puntos de muestreo
- Estudios de contaminación

IMPORTANTE: conocer la variabilidad para evitar sesgos

MUESTRAS



Definición	Capas u horizontes que se han diferenciado por procesos pedogenéticos a lo largo del perfil del suelo	Material de suelo de un punto de muestreo	Material de suelo de varios puntos de muestreo, que al mezclarlos se convierten en una sola muestra.	Son muestras de suelo que se toman sin alterar la disposición de las partículas y/o agregados del suelo.
Aplicación	Génesis, cartografía, descripción de perfiles, análisis mineralógicos y fisicoquímicos, comportamiento de contaminantes.	Determinación de la variabilidad existente en una superficie de suelo	Estudios de fertilidad, análisis de determinadas características del suelo a nivel regional.	En estudios de micromorfología, para determinar densidad, obtención de columnas para estudios experimentales
Toma de muestra	Se toma una muestra por horizontes, en una de las caras del perfil.	Muestreo de perfiles, en rejilla y transectos	Se recomienda tomar 16 núcleos o submuestras del mismo tamaño, que se homogeneizan en un recipiente para de allí tomar la cantidad de muestra necesaria para el análisis ⁽¹⁾ .	Generalmente se toman de las paredes del perfil distinguiendo por horizontes, teniendo cuidado de alterar lo menos posible la muestra.
Herramientas y accesorios	Palas y espátula, barrena manual de 1 metro de largo por 2 mm de ancho.	Barrena de 5 cm de diámetro y 30 cm de largo o herramientas seleccionadas de acuerdo al análisis.	Barrena de 5 cm de diámetro y 30 cm de largo	Cajas de kubiena, columnas, cilindros de PVC o acero inoxidable con bordes afilados, martillo

(1) Muestra compuesta: Con la mezcla se asume que en el análisis se obtiene una estimación válida de la superficie muestreada, que de otra forma se obtendría con la media de los análisis individuales de las muestras simples.

Criterios para la elección de las herramientas:

- a) Tamaño de muestra que se necesita para el análisis
- b) su capacidad para tomar muestras en tipos de suelos diferentes (arcillosos, arenosos, orgánicos etc)
- c) la profundidad máxima a la que se va a tomar la muestra
- d) la capacidad para tomar muestras de suelo bajo diferentes regímenes de humedad
- e) la accesibilidad al sitio de muestreo y
- f) los requerimientos de personal para su manejo

Profundidad de muestreo

Objetivo del muestreo	Profundidad de muestreo recomendada
Estudios de: - riesgo de contaminación de acuíferos - riesgo a la salud - afectación a microorganismos del suelo - fertilidad - lixiviado o lavado de contaminantes	- por horizontes - 0 – 2 cm y 0 – 10 cm - horizonte A - espacio radicular, aprox. 0 – 30 cm - por horizontes

Cantidad de muestra

Caracterización química (pH, CIC, Corg, Ca, Mg, Na, K, N, P)	500g
Caracterización física (textura, densidad)	500g
Contaminantes inorgánicos	150g
Hidrocarburos	250g
Muestras de retención	1000g

Reglas generales durante la toma de muestras

- a) Cuando se vayan a realizar determinaciones especiales de contaminantes, se debe elegir el material de la herramienta de tal forma que se eviten contaminaciones.

- b) Las muestras se deben tomar de tal forma que el material de suelo sea representativo de toda la extensión o intervalo de profundidad que se quiera muestrear.
- c) Si se utiliza una pala o herramienta parecida, se debe evitar contaminar la muestra con material de otros puntos de muestreo, superficies u horizontes.
- d) Hay que tener especial cuidado de que todo el material muestreado se deposite en el recipiente elegido.
- a) La herramienta de muestreo debe limpiarse antes de cada utilización, retirando todas las partículas adheridas.
- b) En general es prudente llevar a cabo el trabajo de campo entre dos personas, esto aumenta la seguridad y facilita la recolección de datos.
- c) En el caso de perfiles, la muestra debe tomarse de los frentes. Antes de la toma de muestra deben limpiarse las caras del perfil, p. ej. raspando con una pala. Las muestras deben tomarse siempre de abajo hacia arriba para evitar contaminación. La toma de muestra se realiza sacando la cantidad requerida en dirección horizontal.
- d) Si es posible deben documentarse los perfiles con fotografías a color o diapositivas. Las fotos deben tener indicado el número de fotografía y la identificación del perfil.

Preservación y transporte de muestras

- a) muestras que serán utilizadas para la caracterización física y química del suelo
- b) muestras inalteradas para la determinación de densidad, permeabilidad y contenido de humedad
- c) muestras para la determinación de contaminantes orgánicos
- d) muestras para la determinación de contaminantes inorgánicos

Etiqueta de muestra

Ejemplo:

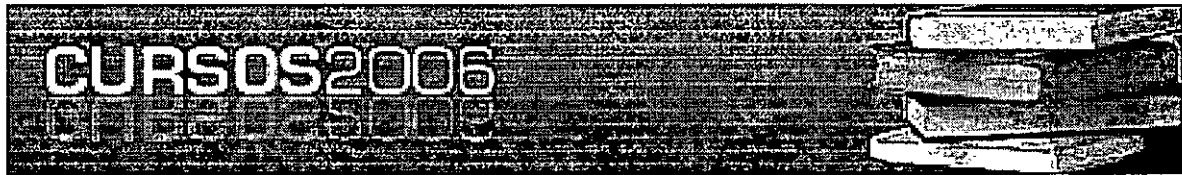
Contratante:
Proyecto:
Lugar de muestreo:
Número de muestra:
Fecha: MUESTRA
Hora:
Profundidad/horizonte:
Instrucciones especiales:
Responsable:

Contratante:	Pemex
Proyecto:	Proyecto Ambiental Región Sur
Lugar de muestreo:	DA, A. Serdán, Tabasco
Número de muestra:	99 - 184
Fecha:	22.09.99
Hora:	17 hrs
Profundidad/horizonte:	0-20 cm, Hf
Instrucciones especiales:	transportar a 4°C
Responsable:	Silke Cram

ERRORES DE MUESTREO	CAUSA
De heterogeneidad	Dado por la heterogeneidad en la composición. La varianza del error se reduce moliendo el material.
De agrupación	Dado por la forma en que distintas partículas se separán y distribuyen. El error depende del grado de heterogeneidad.
De fluctuación	Dado heterogeneidad en el espacio y en el tiempo (cambios estacionales).
De delimitación y extracción de la muestra soporte	Dado por la definición incorrecta del volumen de material que debe ser extraído (núcleos, horizontes, profundidad).



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES DE HIDROCARBUROS CA 157

TEMA

CONTAMINANTES ORGÁNICOS:
CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO
EN EL AMBIENTE

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

CONTAMINANTES ORGÁNICOS:

Características y comportamiento en el ambiente

Dra. Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM

IDENTIFICACIÓN DEL ESCENARIO AFECTADO

SUELO SUPERFICIAL

- TERRENO NATURAL
- LOSA DE CONCRETO O ASFALTO

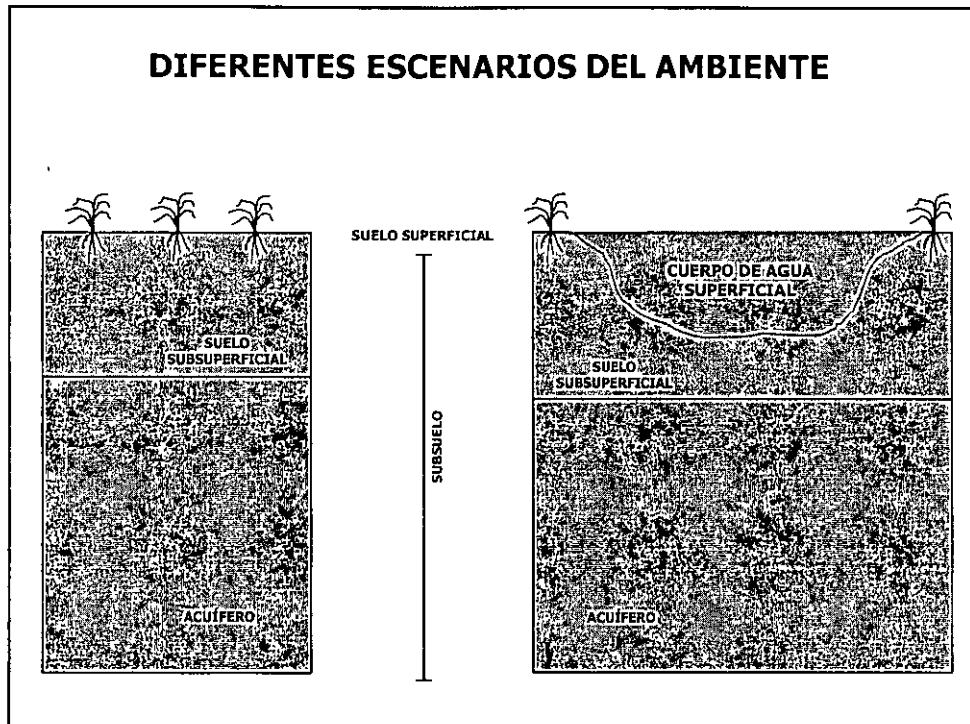
SUBSUELO

- ZONA VADOSA (no-saturada; suelo subsuperficial)
- ACUITARDO (acuífero no explotable)
- ACUÍFERO (agua de abastecimiento)

CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL

- PRESAS, LAGOS, RÍOS
- MANGLARES, PANTANOS
- ZONAS COSTERAS, MAR ABIERTO

DIFERENTES ESCENARIOS DEL AMBIENTE



HIDROCARBUROS CONTAMINANTES DE SUELOS Y ACUÍFEROS

petróleo crudo


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

desechos petroleros: lodos aceitosos, lodos y recortes de perforación, lastres

disolventes: tolueno, xilenos, arominas

Características físicas de los contaminantes líquidos que determinan el escenario afectado:

Densidad: determina su posición con respecto al agua

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$




Viscosidad: determina su migración en el subsuelo

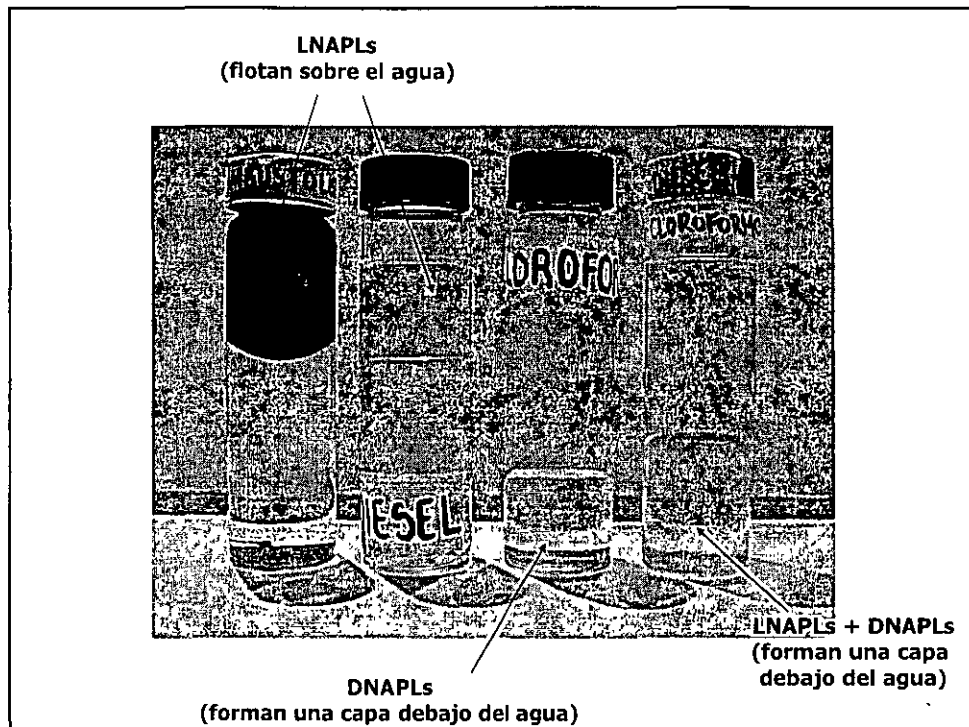
**CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS INSOLUBLES EN AGUA CON BASE EN SU DENSIDAD
(NAPLs: Non-Aqueous Phase Liquids)**

**LNAPLs: Más ligeros que el agua
flotan sobre el agua**

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

**DNAPLs: Más densos que el agua
forman una capa debajo del agua**

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



PRODUCTOS VISCOSOS
(FRACCIÓN PESADA):

CRUDO, COMBUSTÓLEO, ACEITES, DESECHOS PETROLEROS

PERMANECEN EN EL SUELO SUPERFICIAL

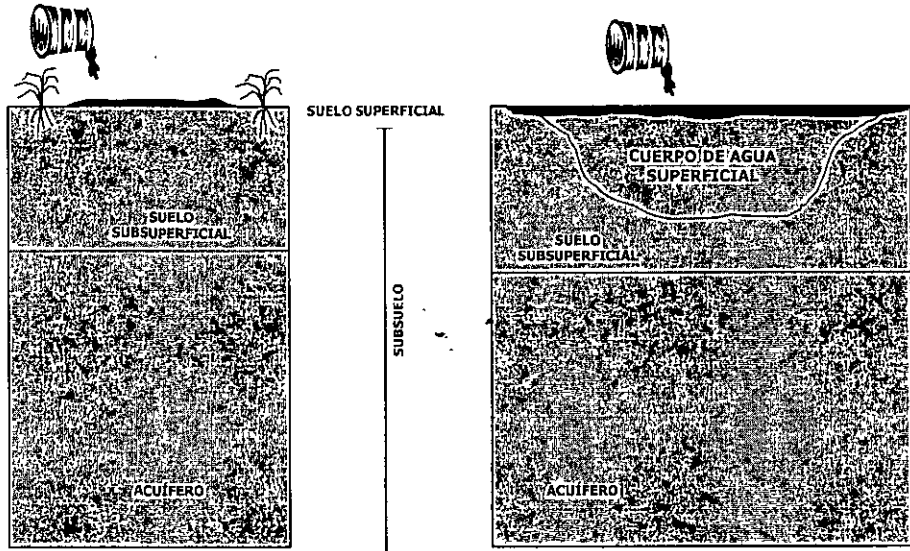
PRODUCTOS FLÚIDOS
(FRACCIONES LIGERA E INTERMEDIA)

**COMBUSTIBLES: GASOLINA, GASAVIÓN, TURBOSINA,
DIESEL, GASÓLEO**

DISOLVENTES: XILENOS, AROMINAS

MIGRAN CON FACILIDAD HACIA EL ACUÍFERO

**ESCENARIOS AFECTADOS POR DERRAME DE CRUDO, COMBUSTÓLEO,
ACEITES, DESECHOS PETROLEROS**



**EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN DE SUELO SUPERFICIAL
POR DERRAME DE PRODUCTOS PESADOS**



COMBUSTÓLEO

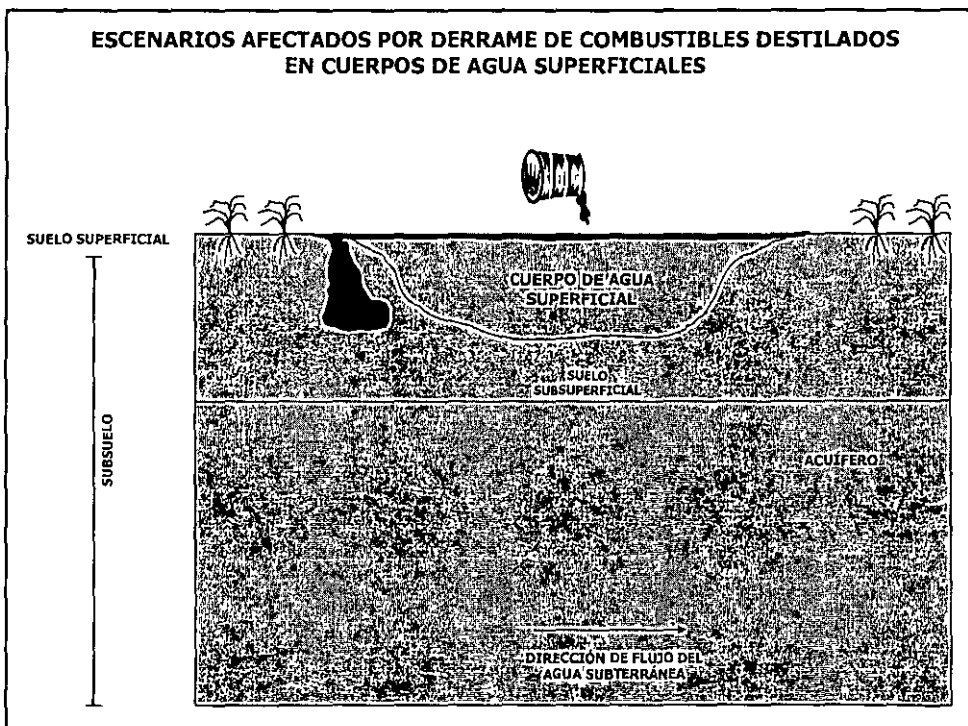
DESECHOS PETROLEROS



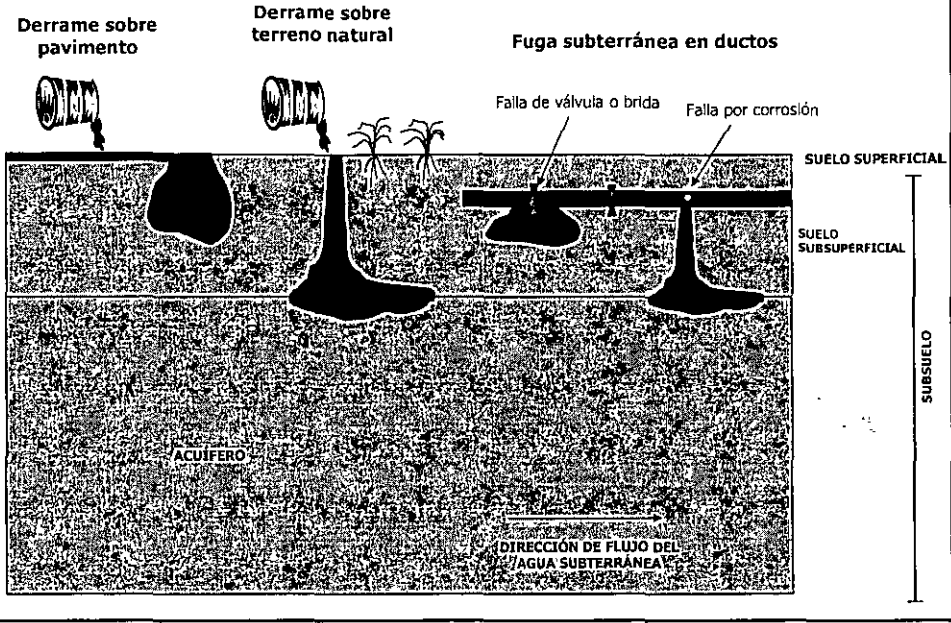
PRINCIPALES EFECTOS DE LOS HIDROCARBUROS COMO CONTAMINANTES DEL SUELO SUPERFICIAL

- pérdida de varias características físicas y químicas
 - adsorción a las partículas del suelo
- pérdida de la fertilidad (suelos de uso agrícola)
 - falta de oxigenación
- muerte de la microflora y microfauna nativas
 - pérdida de su vocación natural

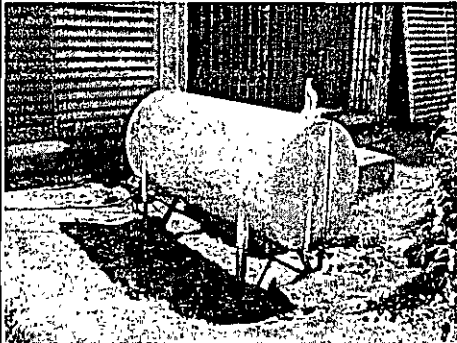
ESCENARIOS AFECTADOS POR DERRAME DE COMBUSTIBLES DESTILADOS EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES



ESCENARIOS AFECTADOS POR DERRAME DE COMBUSTIBLES DESTILADOS EN SUELO



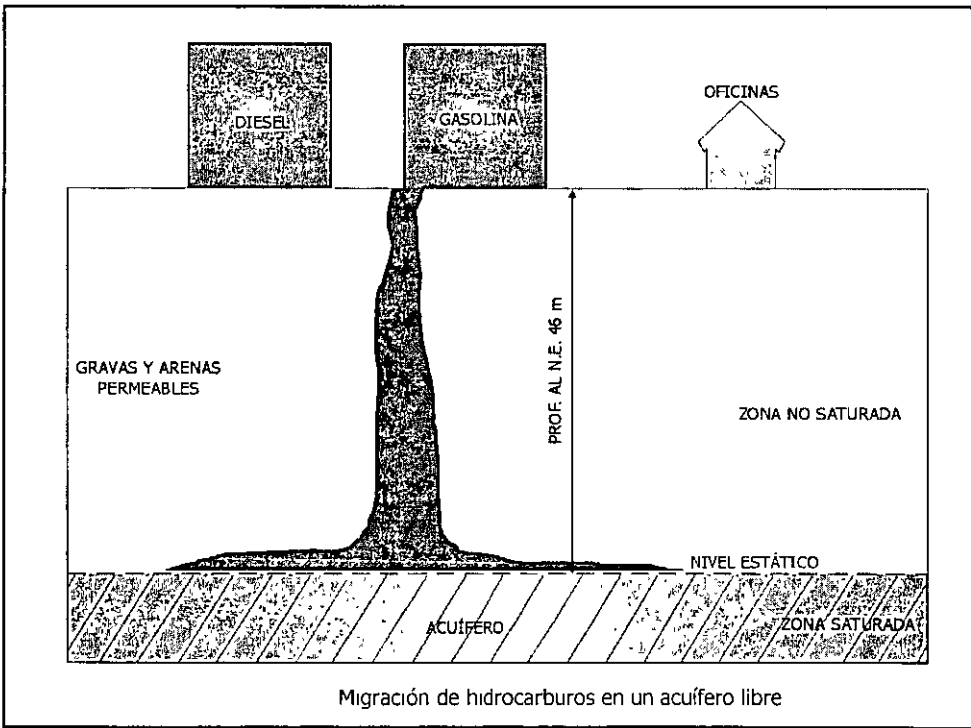
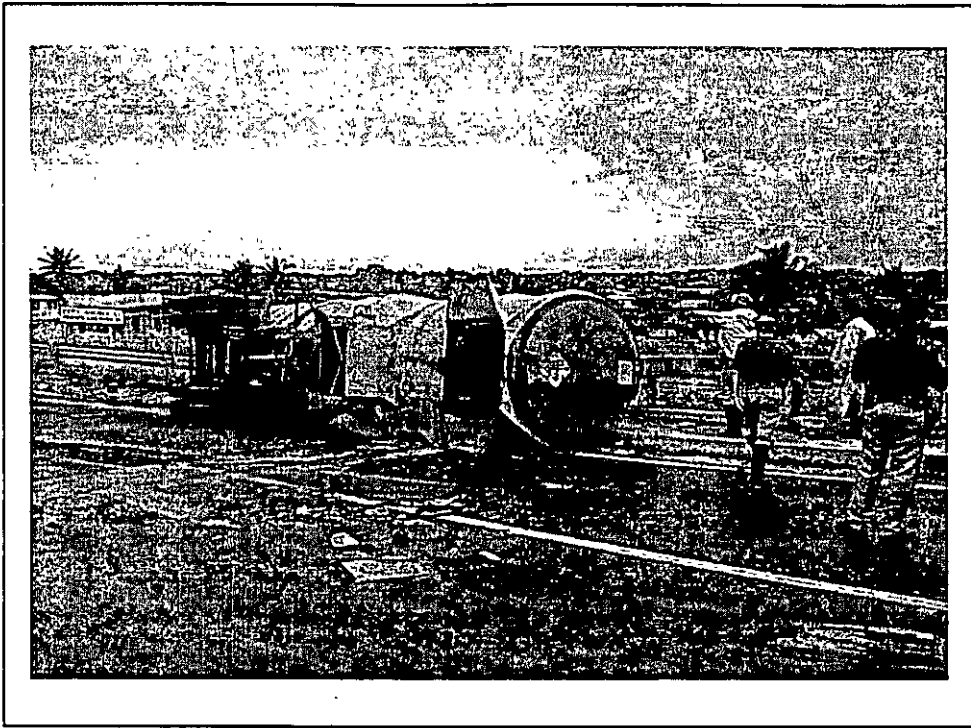
EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN DE SUELO Y SUBSUELO POR DERRAME DE PRODUCTOS FLÚIDOS

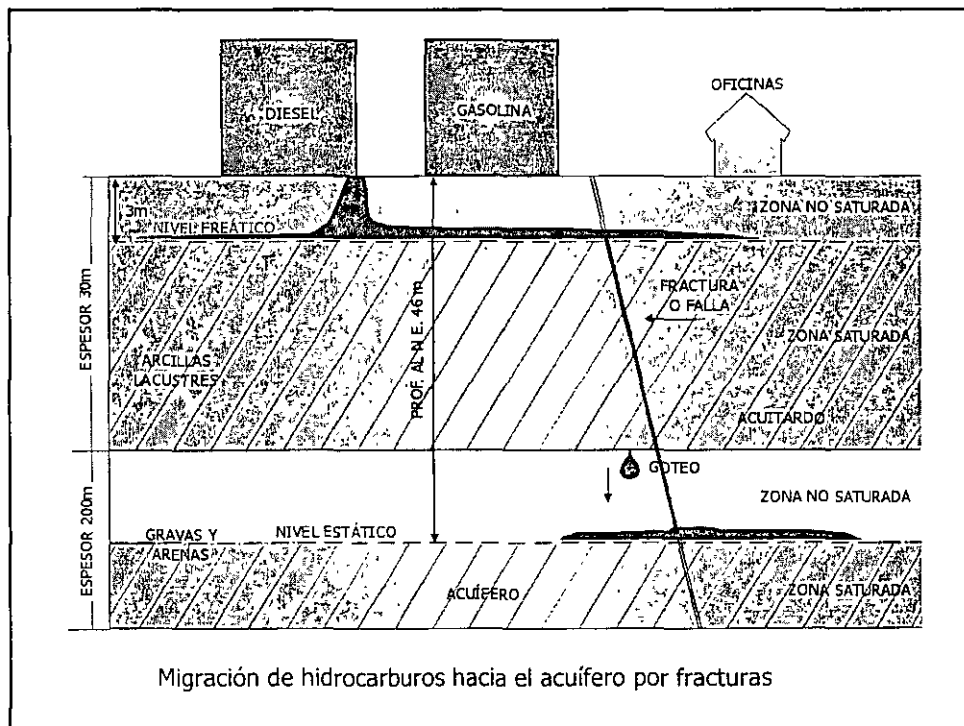
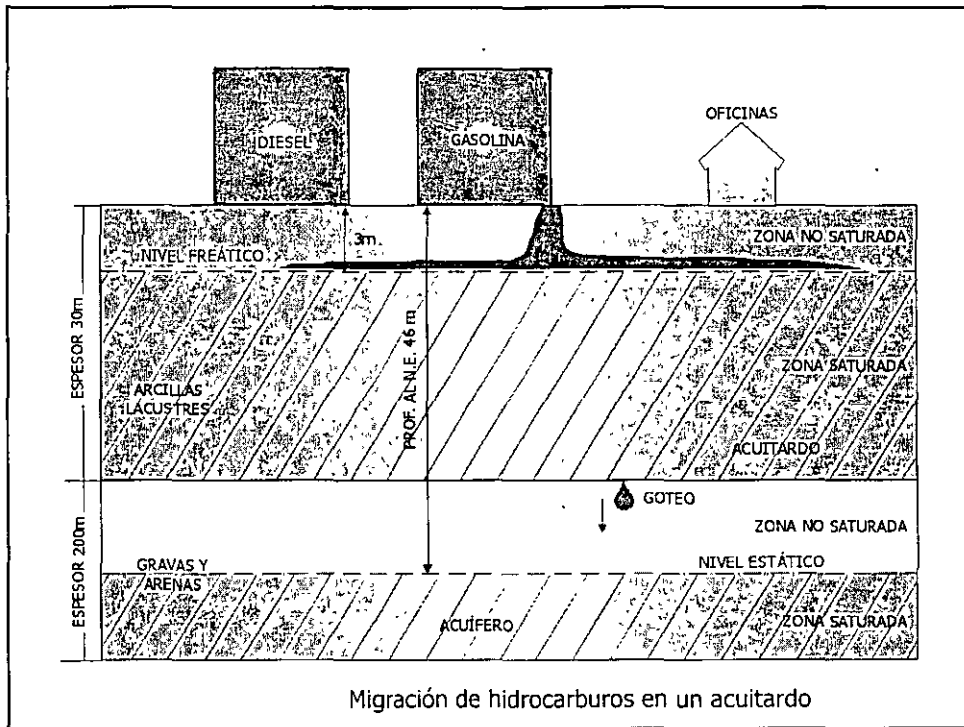


DIESEL EN SUELO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL



TURBOSINA EN EL SUBSUELO



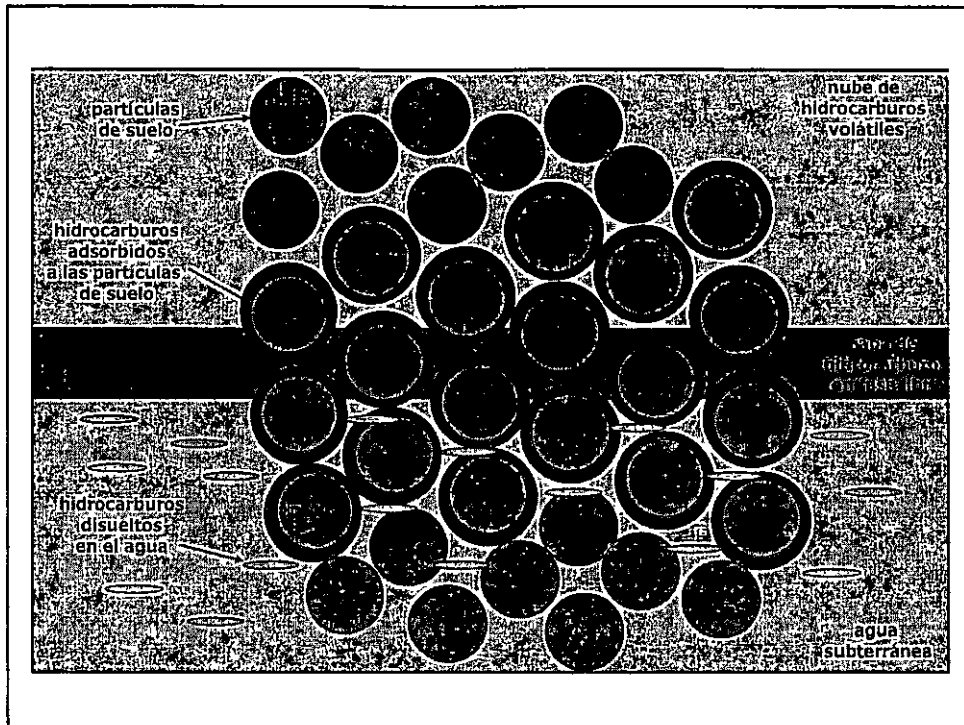




FALLAS

**FORMAS EN QUE SE PUEDEN ENCONTRAR LOS
HIDROCARBUROS AL ENTRAR
EN CONTACTO CON EL 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**
-



CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL GEOLÓGICO

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (carbono orgánico)
ARCILLAS > LIMOS > ARENAS

CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA
ARCILLAS > LIMOS > ARENAS

CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE HIDROCARBUROS
ARCILLAS > LIMOS > ARENAS

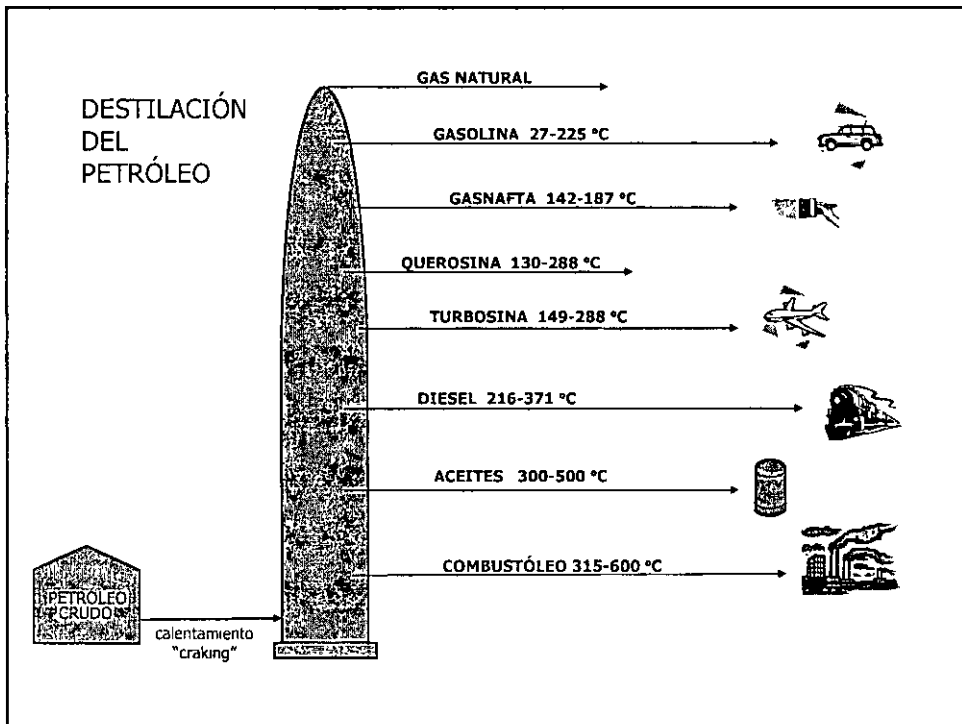
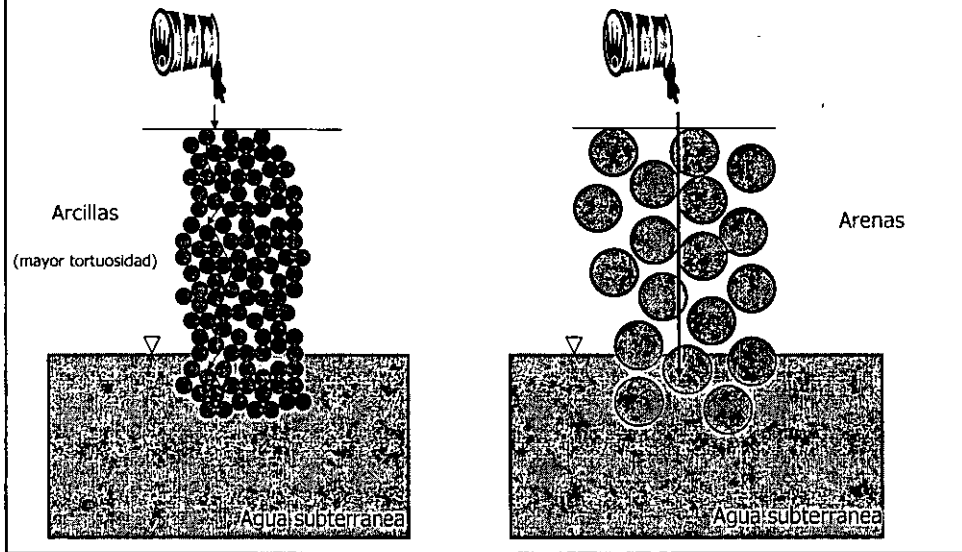
CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS

TIPO DE SUELO	CARBONO ORGÁNICO (%)
Arcilla	70 - 90
Limo	8 - 28
Arena	< 1 - 28

CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES MATERIALES GEOLÓGICOS

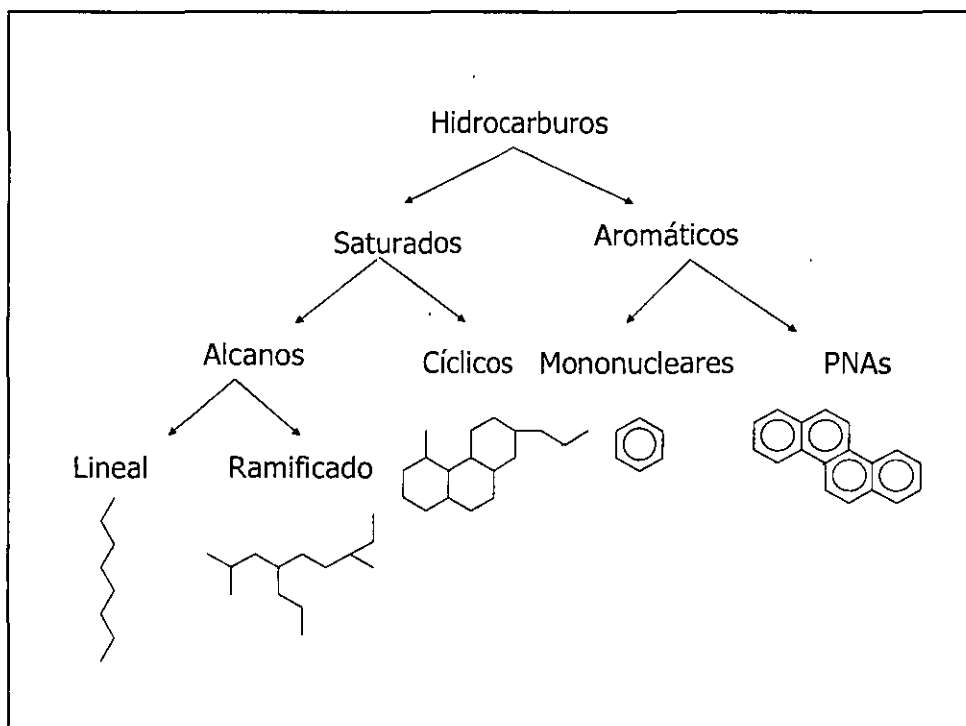
MATERIAL	TAMAÑO DE PARTÍCULA mm	POROSIDAD %	PERMEABILIDAD m/seg
Arcilla	< 0.002	45-55	10^{-10}
Limo	0.002 - 0.02	40-50	10^{-8}
Arena fina	0.02 - 0.2	30-35	10^{-6}
Arena media	0.2 - 2.0	35-40	10^{-4}
Grava	> 10	30-40	10^{-2}
Grava con arena	mezcla	20-35	10^{-3}
Caliza	roca	1-10	10^{-1}

INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO SOBRE EL TRANSPORTE Y DESTINO DE LOS HIDROCARBUROS EN EL SUBSUELO



ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTIBLES DESTILADOS

COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE DESTILACIÓN (°C)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA (centistoks)	DENSIDAD 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
QUEROSINA	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	315-600	-	0.960



ALGUNAS PROPIEDADES DE HIDROCARBUROS PUROS

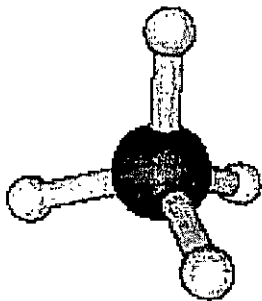
Nombre del hidrocarburo	Fórmula condensada	Punto de ebullición °C	Gravedad específica g/cm ³
Pentano	C ₅ H ₁₂	36.1	0.626
Hexano	C ₆ H ₁₄	68.9	0.660
Heptano	C ₇ H ₁₆	98.4	0.684
Octano	C ₈ H ₁₈	125.6	0.703
Nonano	C ₉ H ₂₀	150.8	0.718
Decano	C ₁₀ H ₂₂	174.1	0.730

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	0.769
Octadecano	C ₁₈ H ₃₈	316.1	0.777
Eicoseno	C ₂₀ H ₄₂	343.0	0.778
Triacotano	C ₃₀ H ₆₂	449.7	0.775
Tetracontano	C ₄₀ H ₈₂	–	–
Pentacontano	C ₅₀ H ₁₀₂	–	0.794

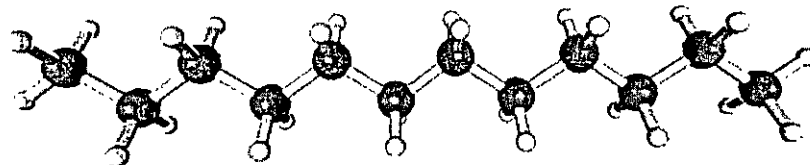
HOJA 2 DE 2



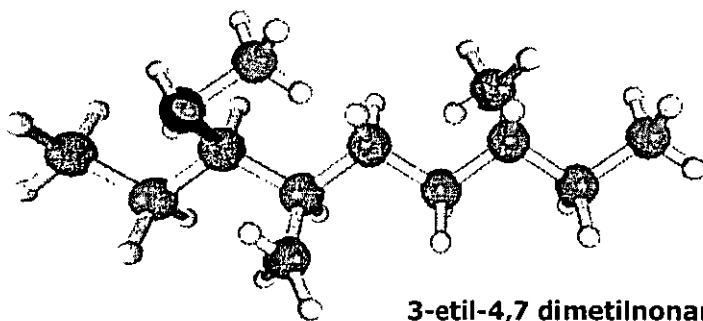
metano

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

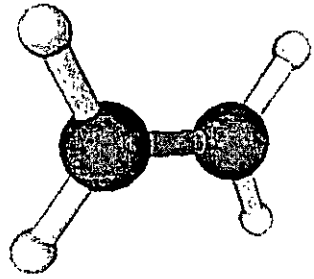
EJEMPLOS DE n-ALCANOS



dodecano

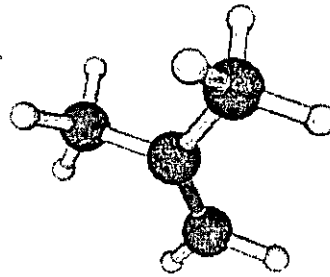


3-etil-4,7 dimetilnonano

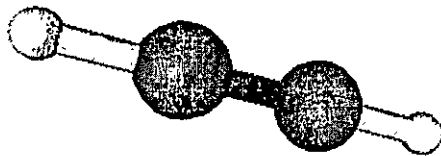


eteno

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

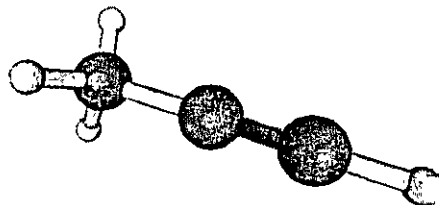


metil propeno

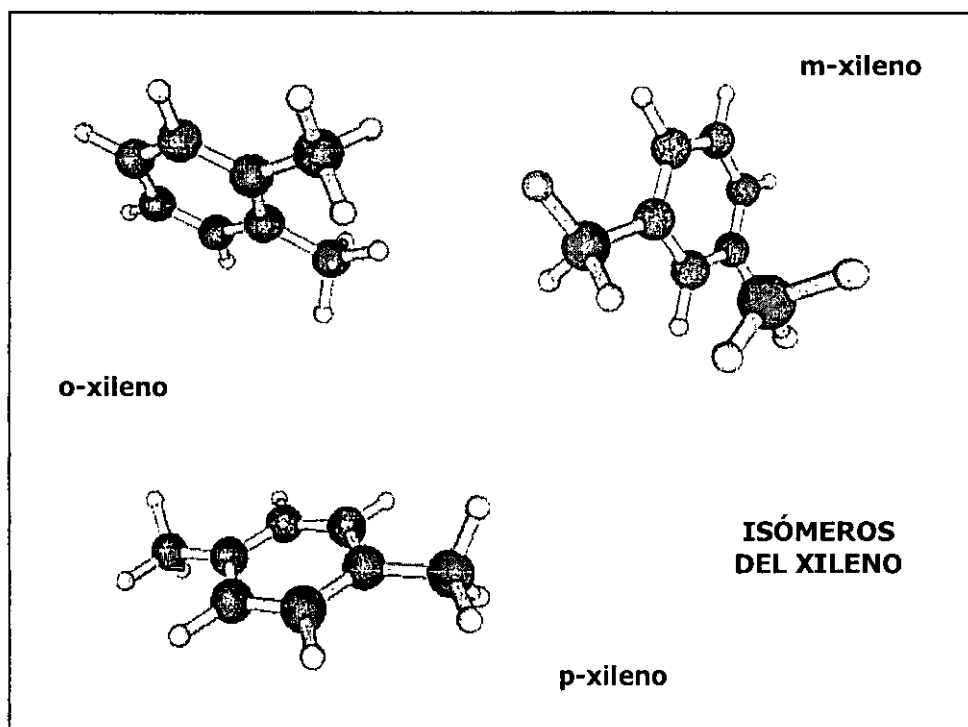
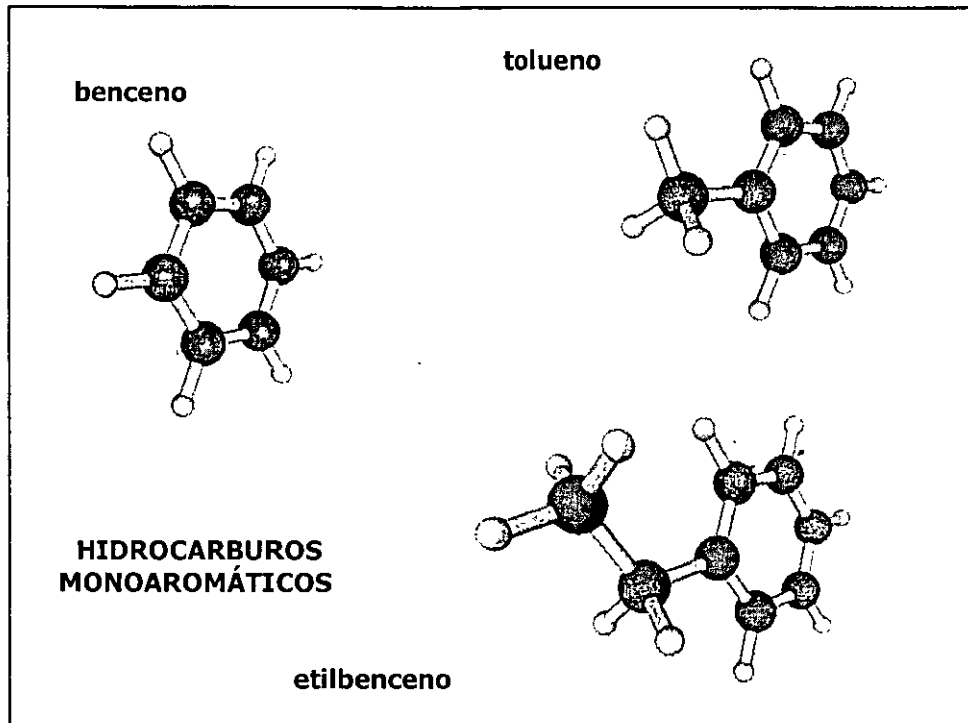


etino

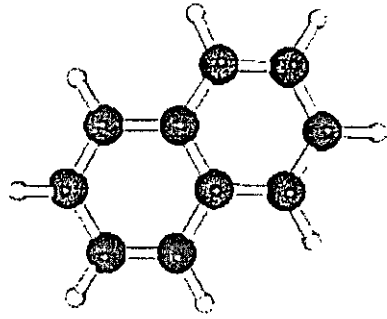
ESTRUCTURA TÍPICA DEL
CARBONO CON TRIPLE
ENLACE:
ALQUINOS



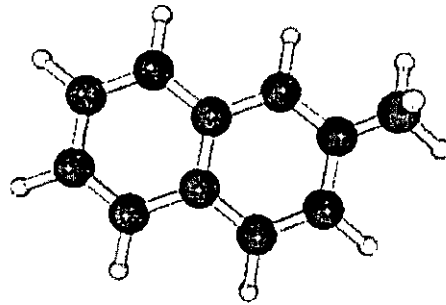
metil propino



**HIDROCARBUROS
POLIAROMÁTICOS**

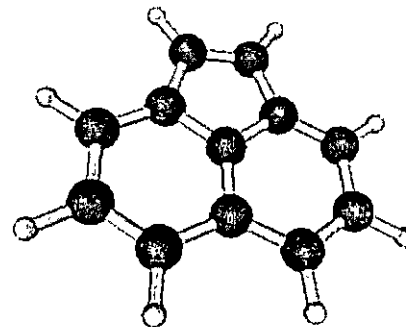
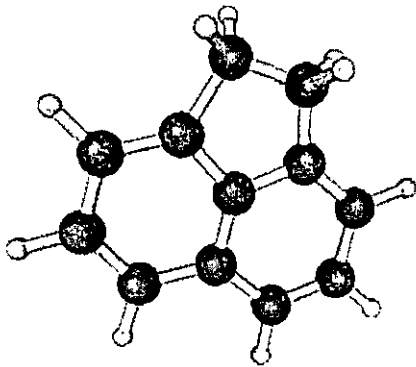


Naftaleno

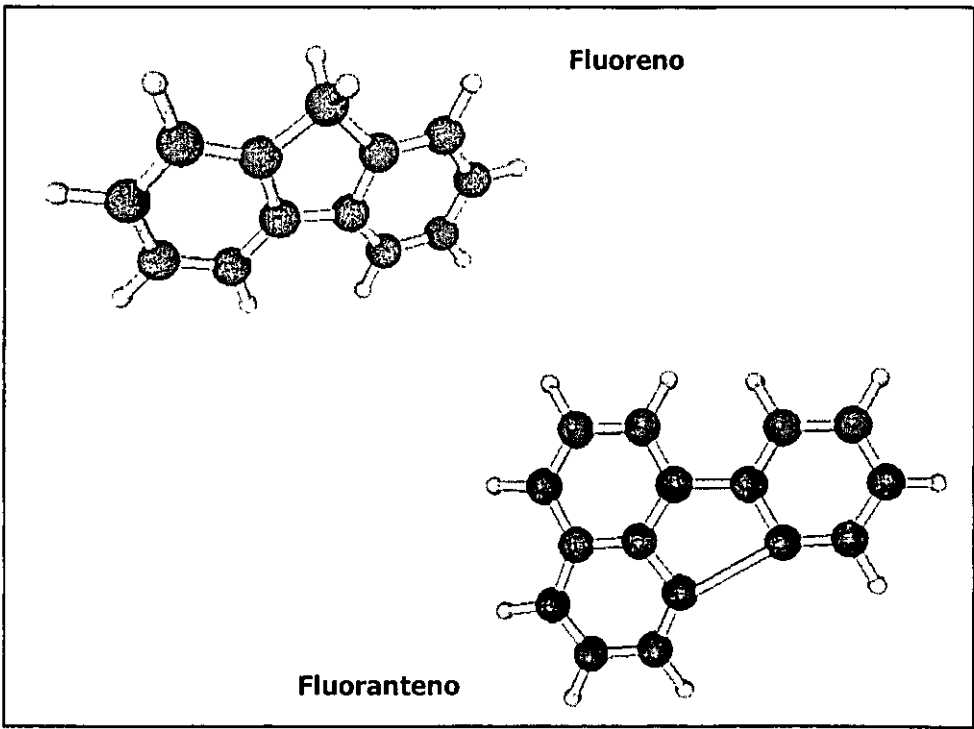
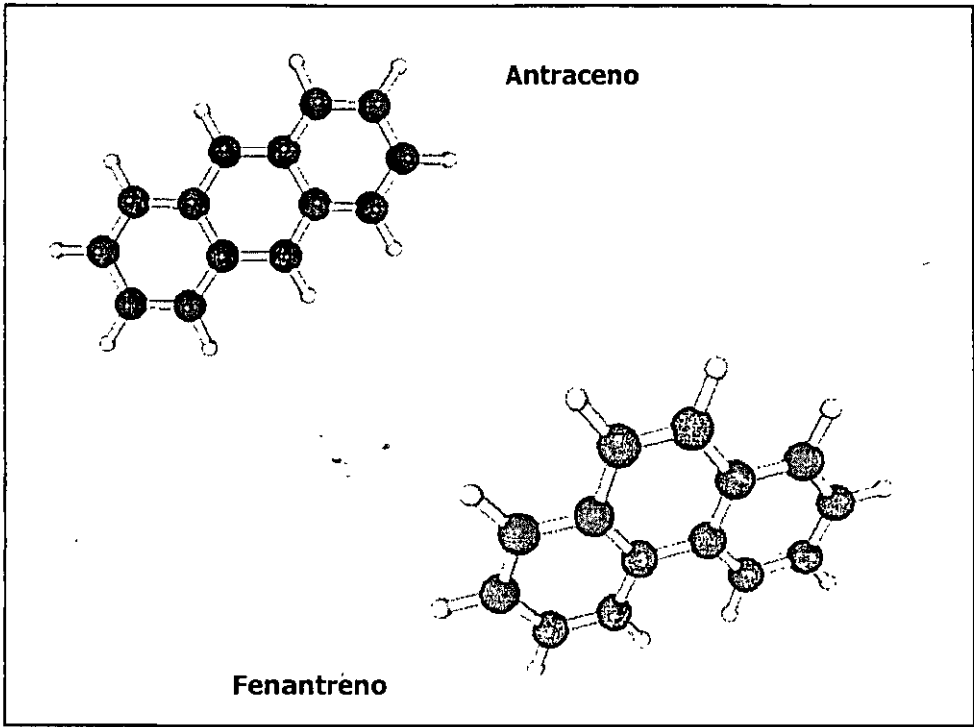


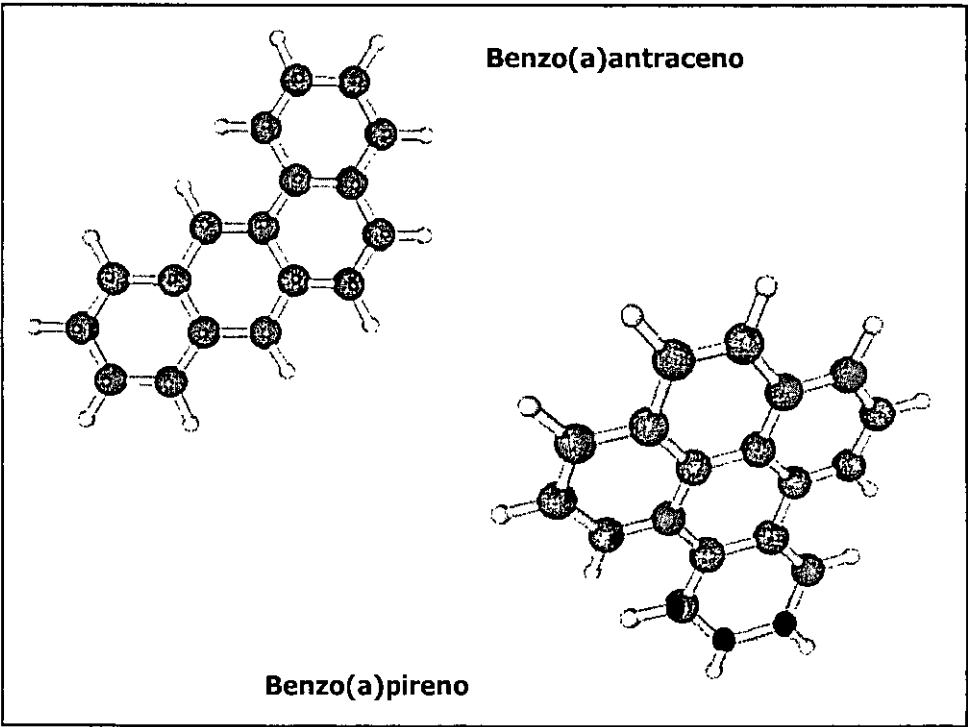
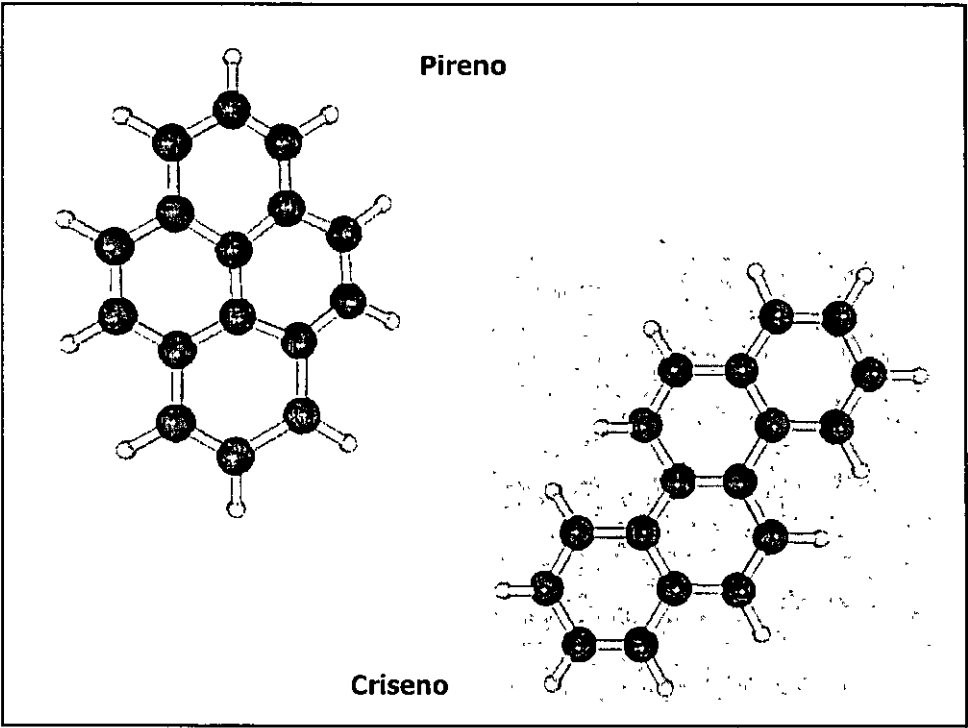
2-Metilnaftaleno

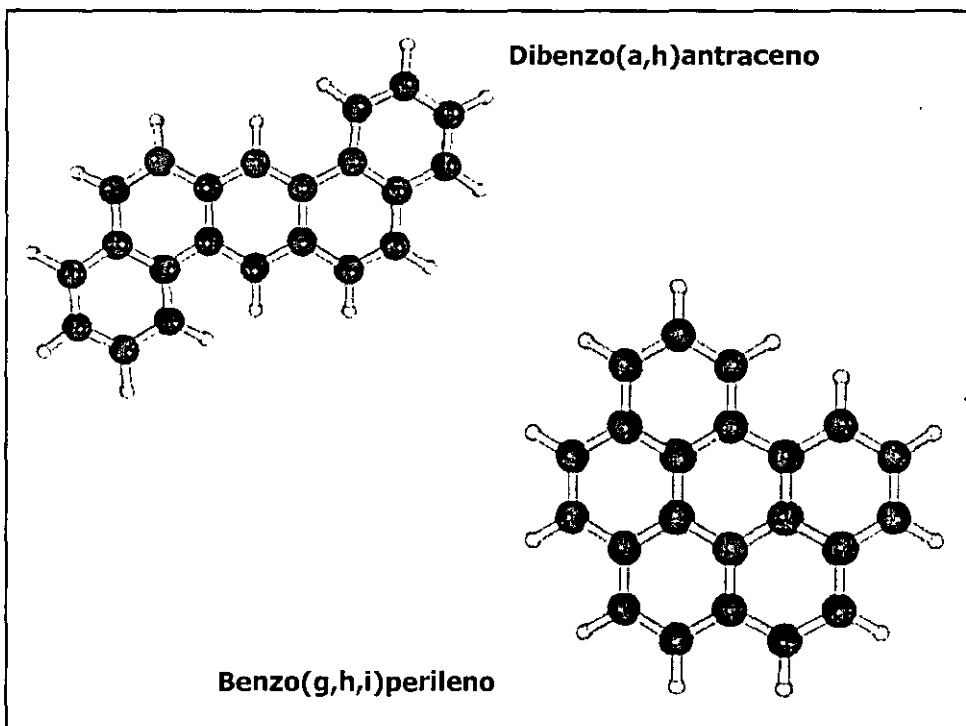
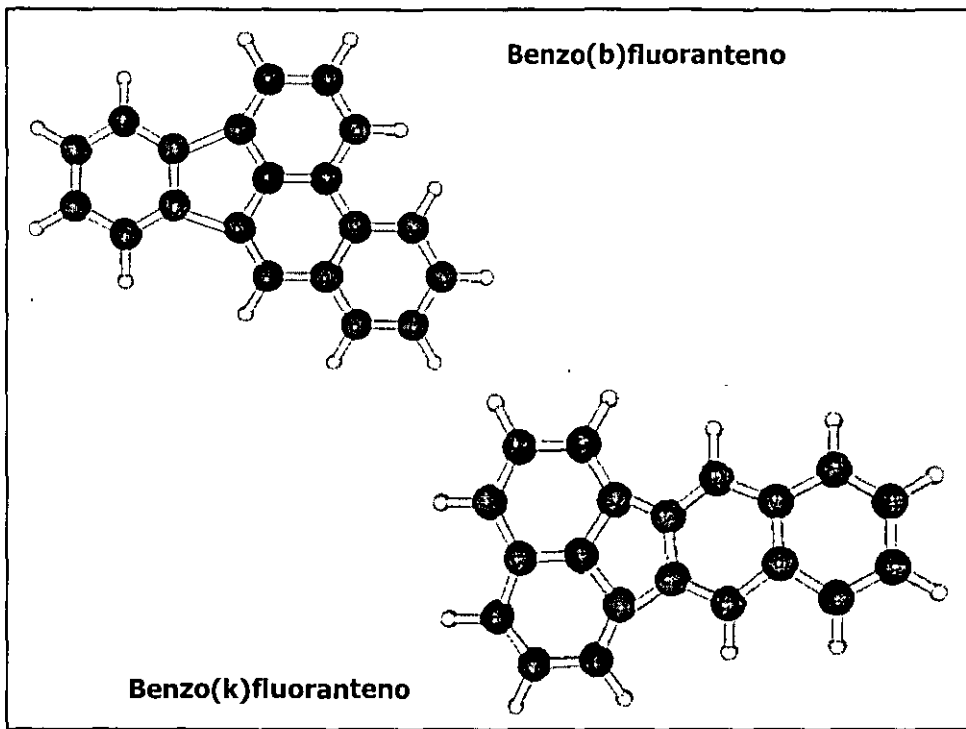
Acenafteno



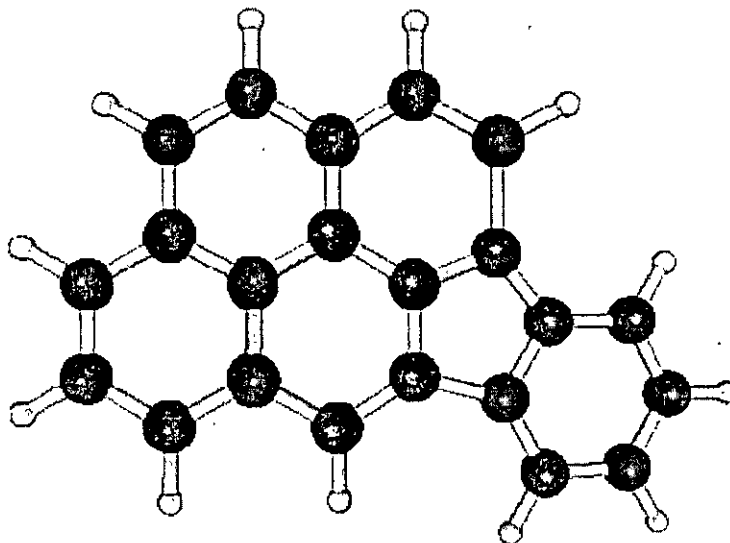
Acenaftileno







Indeno(1,2,3-c,d)pireno



PESOS MOLECULARES DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLINUCLEARES

COMPUESTO (mg/kg del producto)	FÓRMULA CONDENSADA	PESO MOLECULAR
NAFTALENO	C10 H8	128.2
2-METILNAFTALENO	C11 H10	142.2
ACENAFTENO	C12 H10	154.2
ACENAFTILENO	C12 H8	152.2
FLUORENO	C13 H10	166.2
FENANTRENO	C14 H10	178.2
ANTRACENO	C14 H10	178.2
FLUORANTENO	C16 H10	202.3
PIRENO	C16 H10	202.3
CRISENO	C18 H12	228.3
BENZO(A)ANTRACENO	C18 H12	228.3
BENZO(B)FLUORANTENO	C20 H12	252.3
BENZO(K)FLUORANTENO	C20 H12	252.3
BENZO(A)PIRENO	C20 H12	252.3
DIBENZO(A,H)ANTRACENO	C22 H14	278.4
BENZO(G,H,I)PERILENO	C22 H12	276.3
INDENO(1,2,3,CD)PIRENO	C22 H12	276.3

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
Totales	45.9	34.3	19.8

COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE BTEX EN GASOLINAS

HIDROCARBUROS en %	ESTUDIOS MÉXICO (1)	LITERATURA USA (2)
Benceno	2.96	0.12 – 3.50
Tolueno	8.49	2.73 – 21.80
Etilbenceno	1.56	0.36 – 2.86
o-Xileno	2.06	0.68 – 2.86
m+p-Xileno	5.24	2.54 – 5.45
Xilenos totales	7.30	3.22 – 8.31

- (1) Estudio realizado por S. Saval a partir de combustibles frescos, 2002
 (2) Reportado por Riser-Roberts, 1993

**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)	Densidad 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

DNAPLs CONTAMINANTES DE SUELOS Y ACUÍFEROS

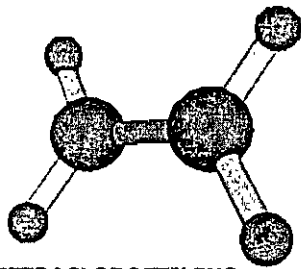
hidrocarburos clorados: percloroetileno, tricloroetileno, dicloroetileno, cloruro de vinilo

disolventes: cloroformo, tetracloruro de carbono, cloruro de metileno, pentaclorofenol

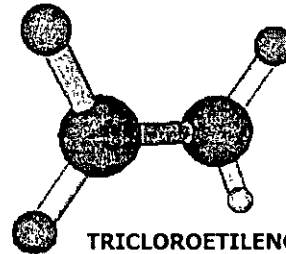
DISOLVENTES CLORADOS

Se utilizan como desgrasantes en la industria eléctrica, electrónica, metalmecánica algunos de ellos, disolventes para la extracción en análisis de muestras en laboratorios de pruebas.

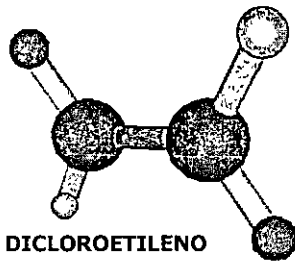
Son muy volátiles a temperatura ambiente



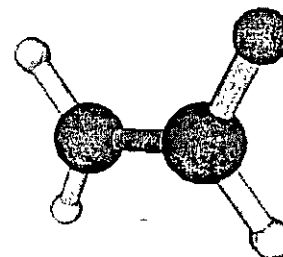
TETRACLOROETILENO



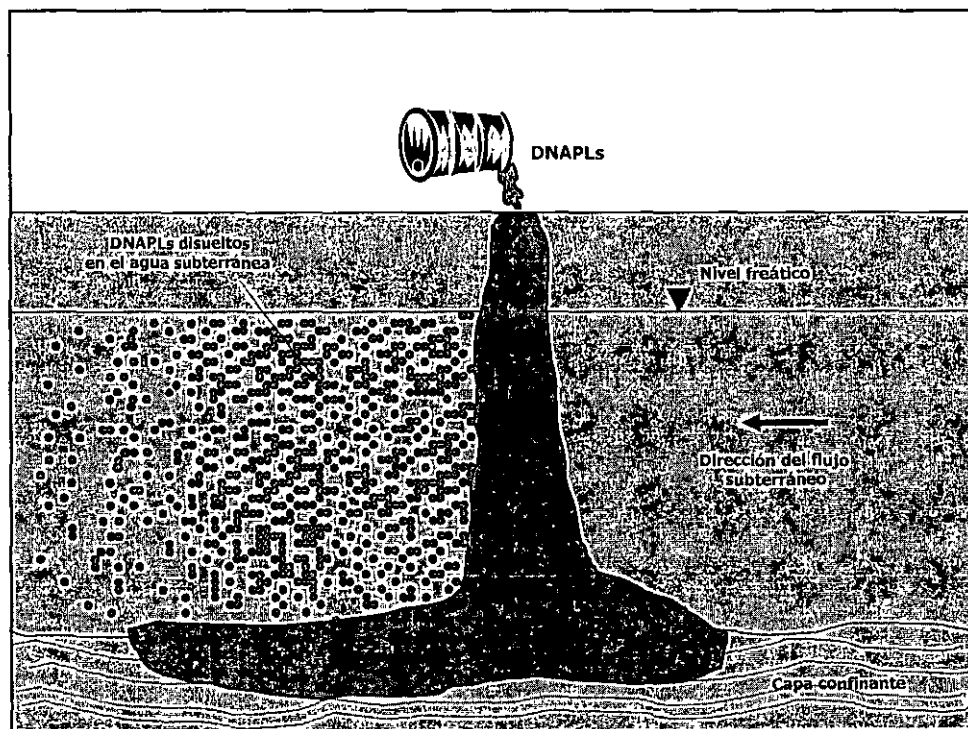
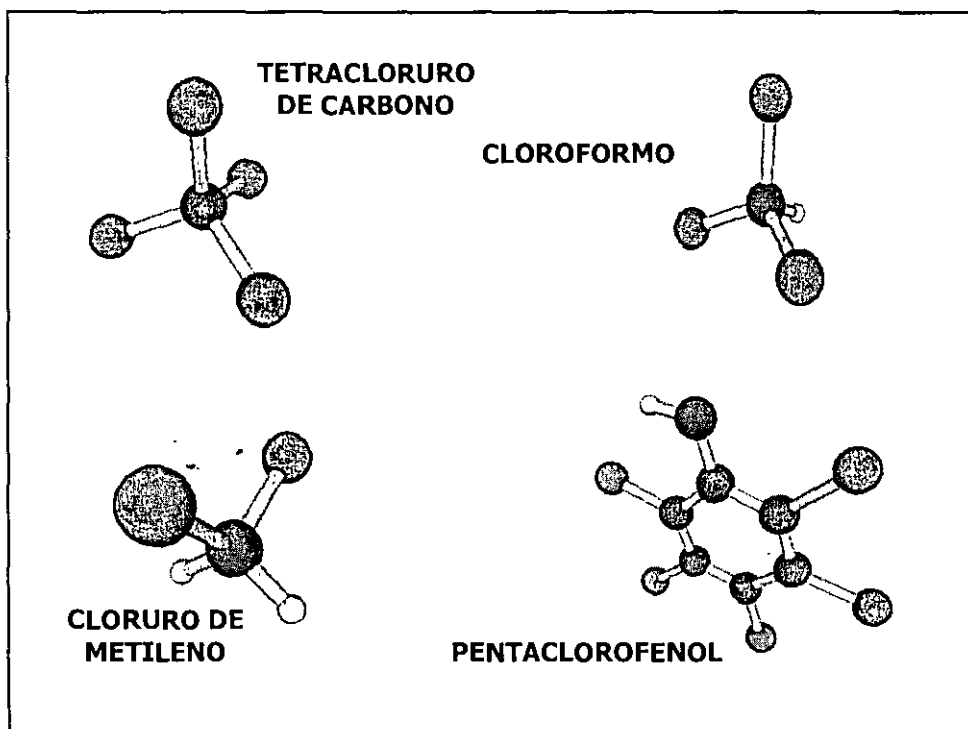
TRICLOROETILENO



DICLOROETILENO



CLORURO DE VINILO



**OTROS CONTAMINANTES ORGÁNICOS CLORADOS
CONTAMINANTES DE SUELOS**

- **BIFENILOS POLICLORADOS**
 - **PLAGUICIDAS**
 - **CLOROFENOLES**

BIFENILOS POLICLORADOS

Nombres comerciales más comunes:

Aroclor	Kaneclor	Askarel
Clorinol	Asbestol	Diaclor
Eucarel	Kanechlor	Inclor

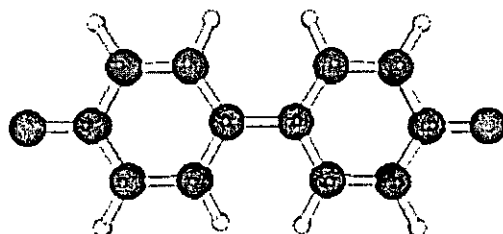
BIFENILOS POLICLORADOS

Grado de cloración del producto:

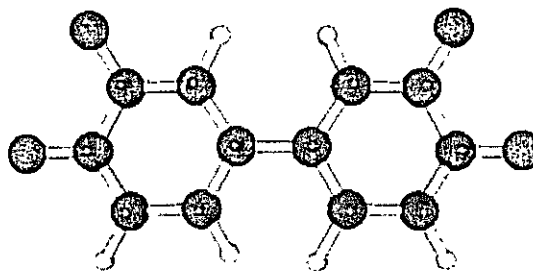
1242, 1248, 1254, 1260 y 1262

porcentaje en peso de átomos
de cloro en la molécula

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



4,4'-DICLOROBIFENILO



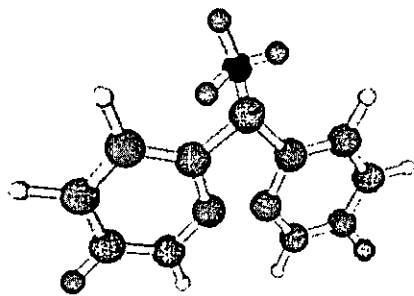
TETRACLOROBIFENILO

PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

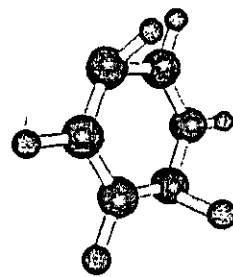
Origen: agricultura, desechos de fabricación

Polvos insolubles. Se utilizan surfactantes para facilitar su dispersión en la agricultura

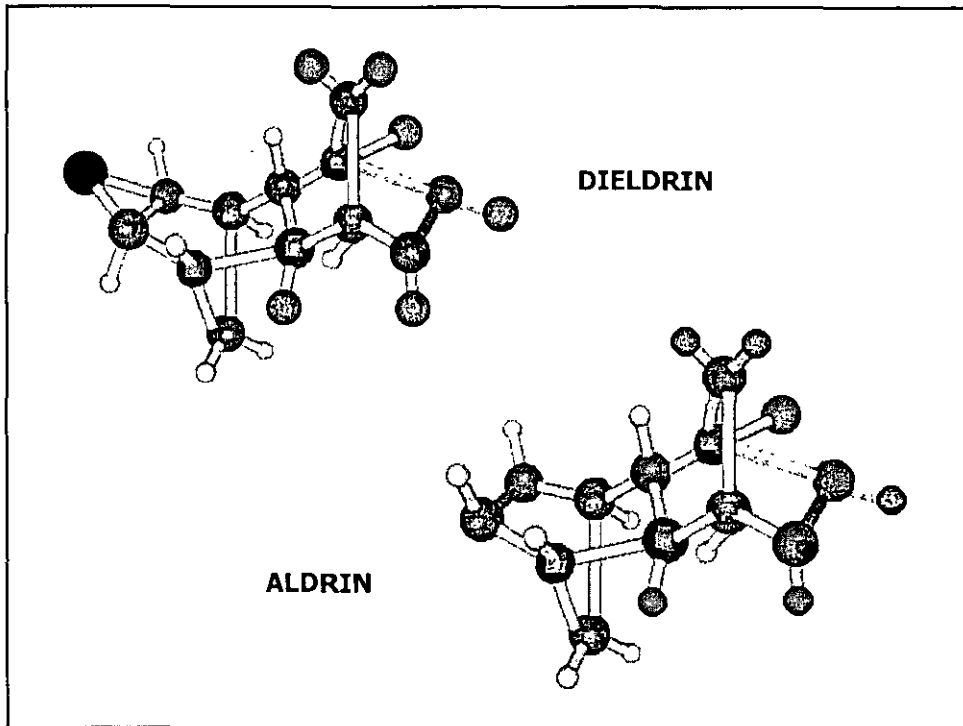
Efectos a la salud: la mayoría cancerígenos USEPA A



DDT



HEXACLOROBENCENO



**CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LOS
COMPUESTOS ORGÁNICOS**

SOLUBILIDAD

**CONSTANTE DE LA
LEY DE HENRY**

**COEFICIENTE DE
DISTRIBUCIÓN
OCTANOL/AGUA**

PRESIÓN DE VAPOR

**COEFICIENTE DE
SORCIÓN**

**COEFICIENTE DE
DISPERSIÓN**

**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

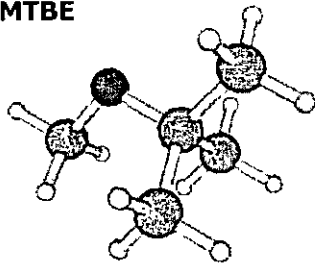
HOJA 2 DE 3

ADITIVOS DE LAS GASOLINAS

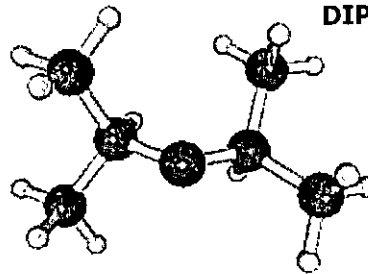
Nombre	Formula condensada	Solubilidad mg/L	Punto de ebullición (°C)	Densidad g/cm ³
Tetraetilo de plomo	C ₈ H ₂₀ Pb	0.21	200.0	1.659
Metilterbutiléter MTBE	C ₅ H ₁₂ O	50,000	55.2	0.741
Teramilmetiléter TAME	C ₆ H ₁₄ O	2,640	85.0	0.764
Etilterbutiléter ETBE	C ₆ H ₁₄ O	1.2	71.0	0.752
Diisopropiléter DIPE	C ₆ H ₁₄ O	8,800	68.5	0.724
Alcohol terbutílico TBA	C ₆ H ₁₄ O	-	82.2	0.786

HOJA 3 DE 3

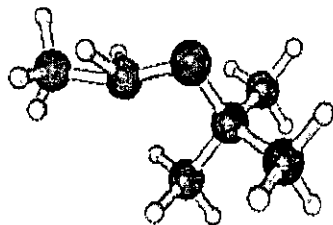
MTBE



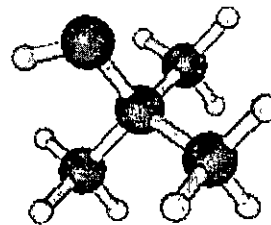
DIPE

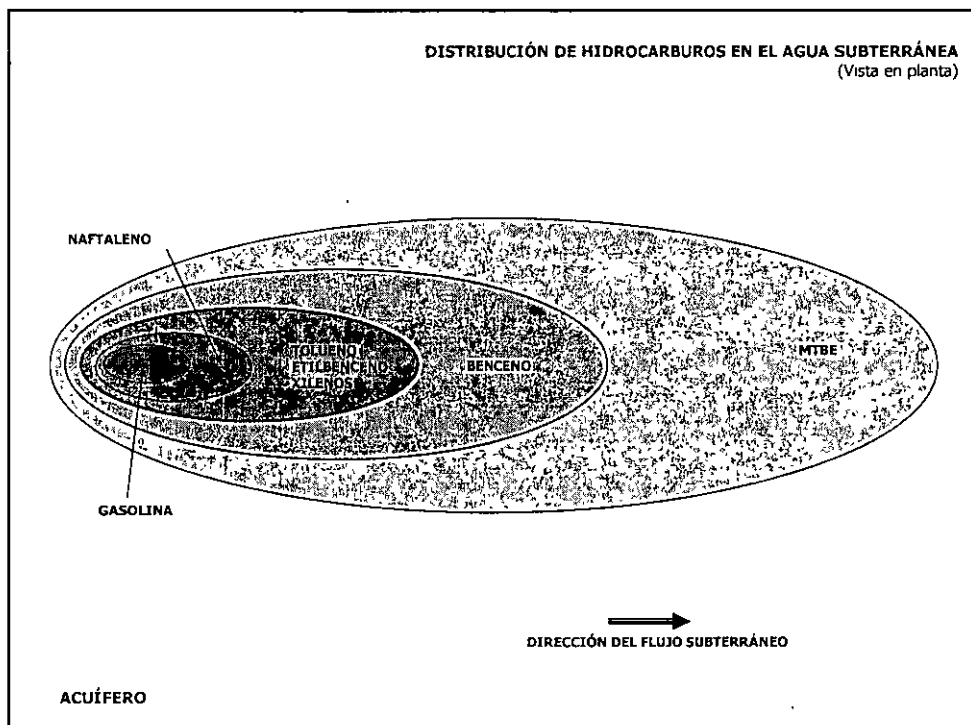
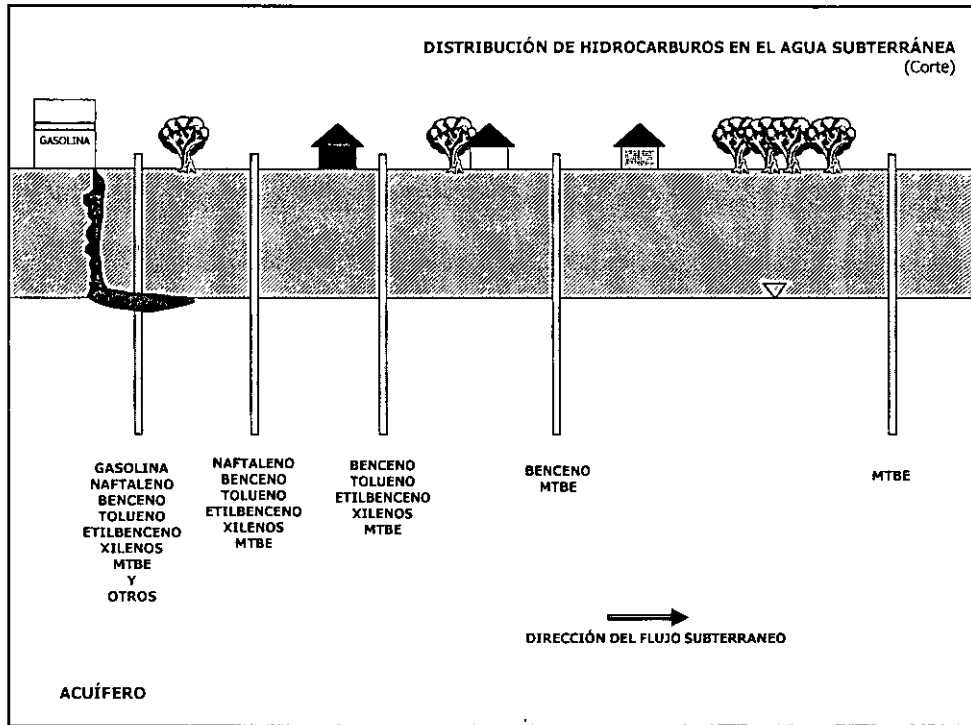


ETBE



TBA





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
Metiletilcetona	320,000.00
Tetracloroetileno	200.00

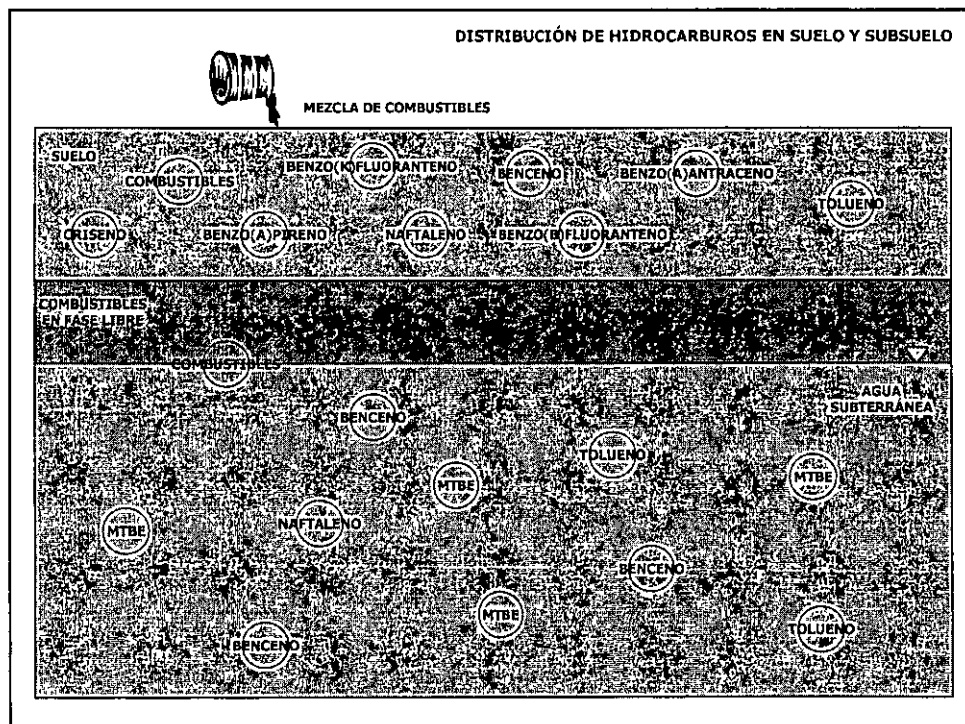
**COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN
OCTANOL/AGUA**

$$K_{O/W}$$

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

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

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

**COEFICIENTE DE SORCIÓN
(k_{oc})**

**PREFERENCIA DE UNA SUSTANCIA PARA
ADSORBERSE EN EL SUELO**

cifras altas = preferencia por el suelo

COMPUESTO	COEFICIENTE DE SORCIÓN cm³/g
benceno	59
tolueno	180
etilbenceno	360
xilenos	240
MTBE	12
naftaleno	2,000
fenantreno	23,000
benzo(a)pireno	1'000,000
benzo(b)fluoranteno	1'200,000
benzo(g,h,i)perileno	7'800,000

COMPUESTO	COEFICIENTE DE SORCIÓN cm³/g
Cloruro de metileno	12
Cloruro de vinilo	19
Clorobenceno	22
Fenol	29
Cloroformo	40
Tetracloroetileno	160
Tricloroetileno	170
Tetracloruro de carbono	170

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	0.228
tolueno	0.272
etilbenceno	0.323
p-xileno	0.290
MTBE	0.0204
naftaleno	0.0198
fenantreno	0.0016
benzo(a)pireno	0.0000463
benzo(b)fluoranteno	0.00455
benzo(g,h,i)perileno	0.0000109

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

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 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

COEFICIENTE DE DISPERSIÓN

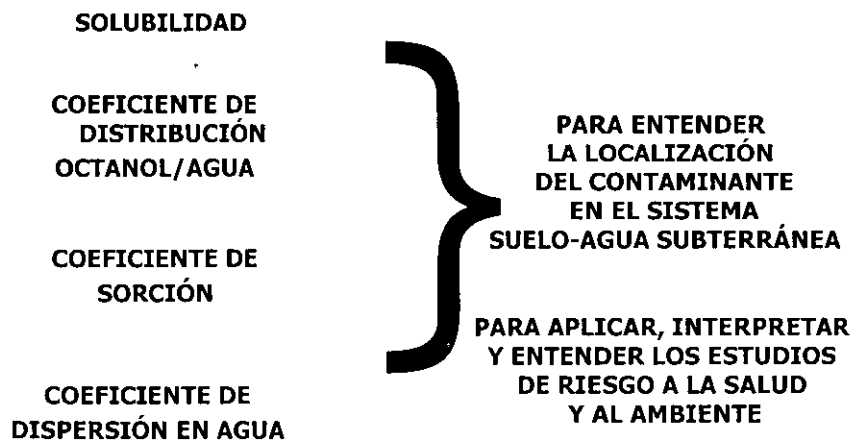
**FACILIDAD CON LA QUE UNA SUSTANCIA
PUEDE DISTRIBUIRSE EN EL AIRE
O EN EL AGUA**

**cifras altas corresponden a una
mayor movilidad**

COMPUESTO	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AGUA cm²/s	COEFICIENTE DE DISPERSIÓN EN AIRE cm²/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

UTILIDAD Y APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS



UTILIDAD Y APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

**PARA APLICAR E INTERPRETAR
LOS ESTUDIOS DE
GASOMETRÍA
(MEDICIÓN DE VOLÁTILES)**

**PARA APLICAR, INTERPRETAR
Y ENTENDER
LOS ESTUDIOS DE
RIESGO A LA SALUD
Y AL AMBIENTE**



**CONSTANTE DE LA
LEY DE HENRY**

PRESIÓN DE VAPOR

**COEFICIENTE DE
DISPERSIÓN EN AIRE**

EL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO

1 PRODUCTO LIBRE EN EL SUBSUELO



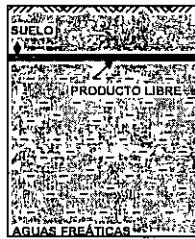
El producto libre flota sobre las aguas freáticas.

2 EN TEMPORADA DE ESTIAJE



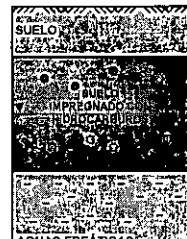
El espesor de producto libre aumenta por evaporación desde las capas superiores.

3 EN TEMPORADA DE LLUVIA



El espesor de producto libre disminuye al impregnarse en las capas superiores de suelo.

4 DESPUES DEL BOMBEO DE PRODUCTO LIBRE



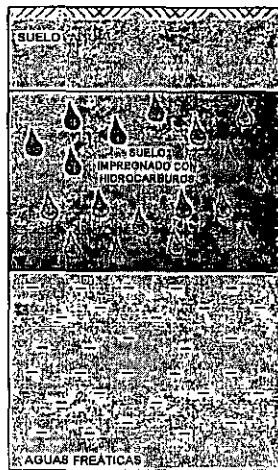
En el suelo se conforma una capa impregnada con hidrocarburos cuyo nivel de profundidad es función de los niveles que alcanza el nivel freático.

▼ Nivel freático

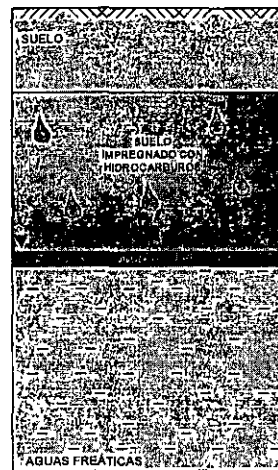
◆ Nivel de producto libre

Para ir a la hoja 2

EL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO



DESORCIÓN DE LOS HIDROCARBUROS IMPREGNADOS EN EL SUELO



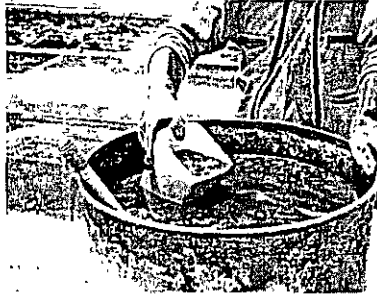
NUEVAMENTE APARICIÓN DE PRODUCTO LIBRE

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.

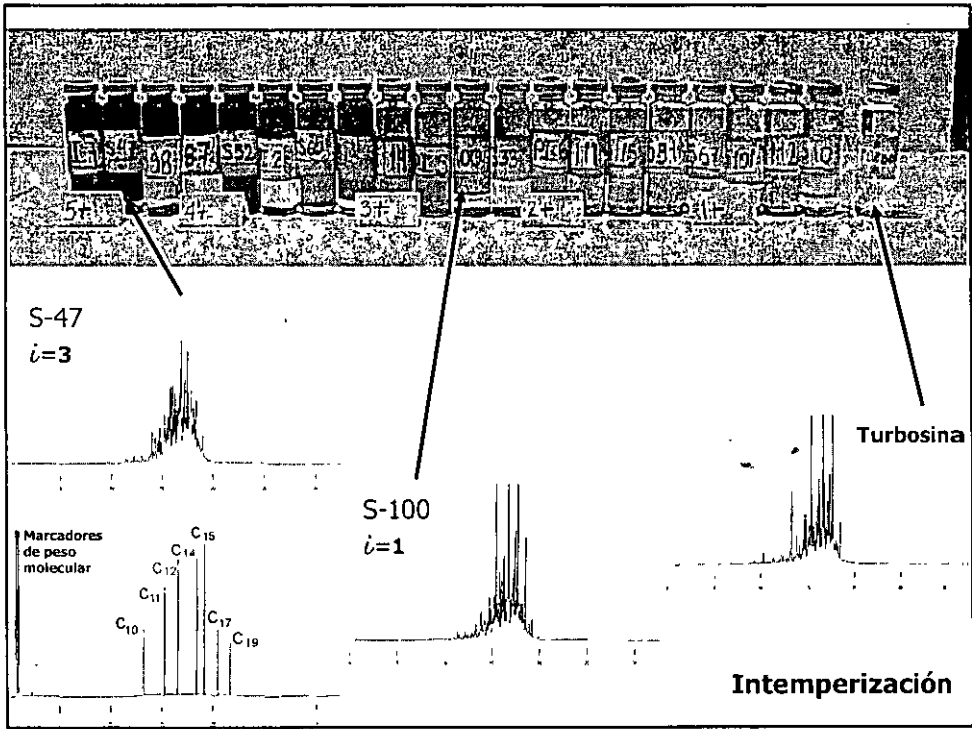
- √ pérdida de componentes volátiles (BTEX)
- √ endurecimiento del material en el suelo, en forma de "costras" o "piedras"
- √ cambio de coloración del producto libre
- √ aumento en la viscosidad de producto libre
- √ formación de compuestos complejos por reacciones químicas y fotoquímicas

Intemperización



Intemperización

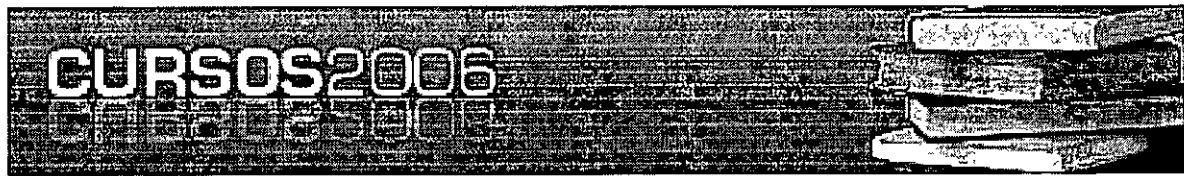




ssavalb@ingen.unam.mx



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS
CA 157

TEMA

BIORREMEDIACIÓN

EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

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**

CARACTERÍSTICAS DE LAS TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN

- √ **económicas: más baratas que otras tecnologías**
- √ **efectivas: los contaminantes son realmente transformados y muchos de ellos son mineralizados**
- √ **versátiles: el proceso se adapta a las condiciones del sitio según sus requerimientos**
- √ **seguras: amables con el ambiente**

En biorremediación pueden ocurrir reacciones de:

- √ **Biodegradación**
- √ **Biotransformación**
- √ **Bioacumulación**

BIODEGRADACIÓN

CONTAMINANTES + MICROORGANISMOS + NUTRIENTES

condiciones favorables
(pH, oxígeno, humedad)



BIÓXIDO DE CARBONO

MINERALIZACIÓN

BIOTRANSFORMACIÓN

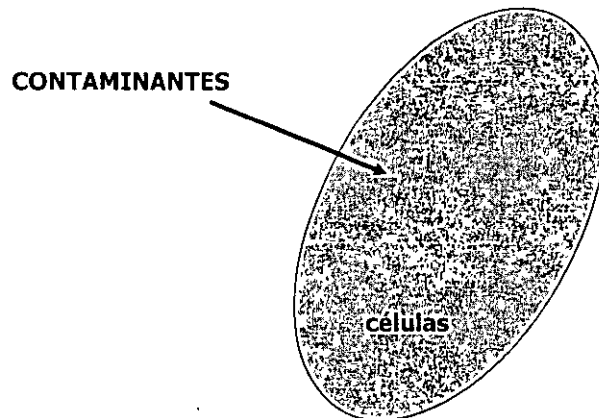
CONTAMINANTES + MICROORGANISMOS + NUTRIENTES

condiciones favorables
(pH, oxígeno, humedad)



COMPUESTOS QUÍMICAMENTE DIFERENTES

BIOACUMULACIÓN



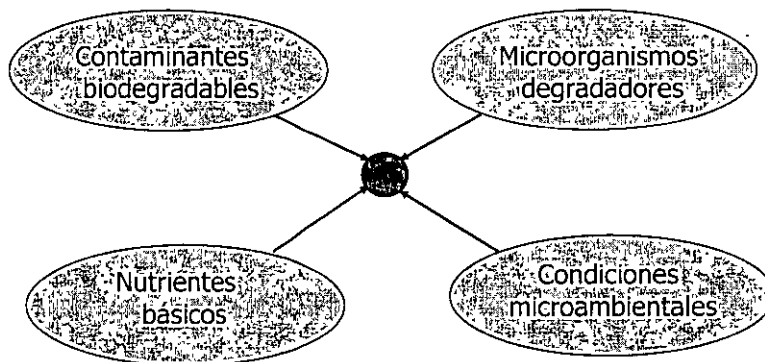
LA BIORREMEDIACIÓN FUNCIONA PARA
COMPUESTOS ORGÁNICOS
BIODEGRADABLES O BIOTRANSFORMABLES
PRESENTES EN SUELOS Y CUERPOS DE AGUA

NO FUNCIONA PARA
COMPUESTOS RECALCITRANTES
porque son no-biodegradables

CARACTERÍSTICAS MICROBIANAS DEL SUELO

- **Baja población microbiana cuantificable en el laboratorio (10^6 a 10^7 bacterias heterótrofas/g de suelo)**
 - **Microorganismos adheridos a la matriz del suelo**
 - **Microorganismos adaptados a una gran variedad de compuestos principalmente de tipo orgánico que satisfacen sus requerimientos nutricionales**
 - **Microorganismos adaptables a condiciones microambientales extremas**
-

Para que ocurra la biorremediación se requiere



MICROORGANISMOS INVOLUCRADOS
EN LA BIODEGRADACIÓN O BIOTRANSFORMACIÓN
DE CONTAMINANTES AMBIENTALES

- **BACTERIAS**
 - HONGOS
 - LEVADURAS
- **ACTINOMICETOS**
 - ALGAS

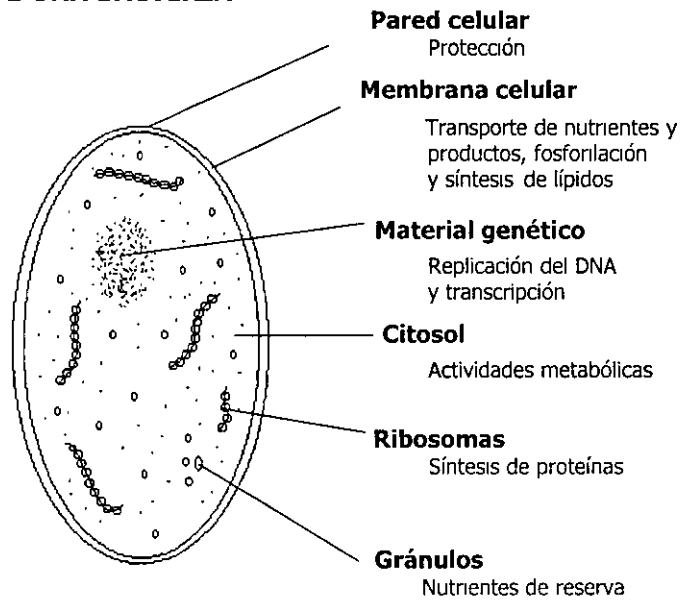
ATRIBUTOS DE LAS BACTERIAS

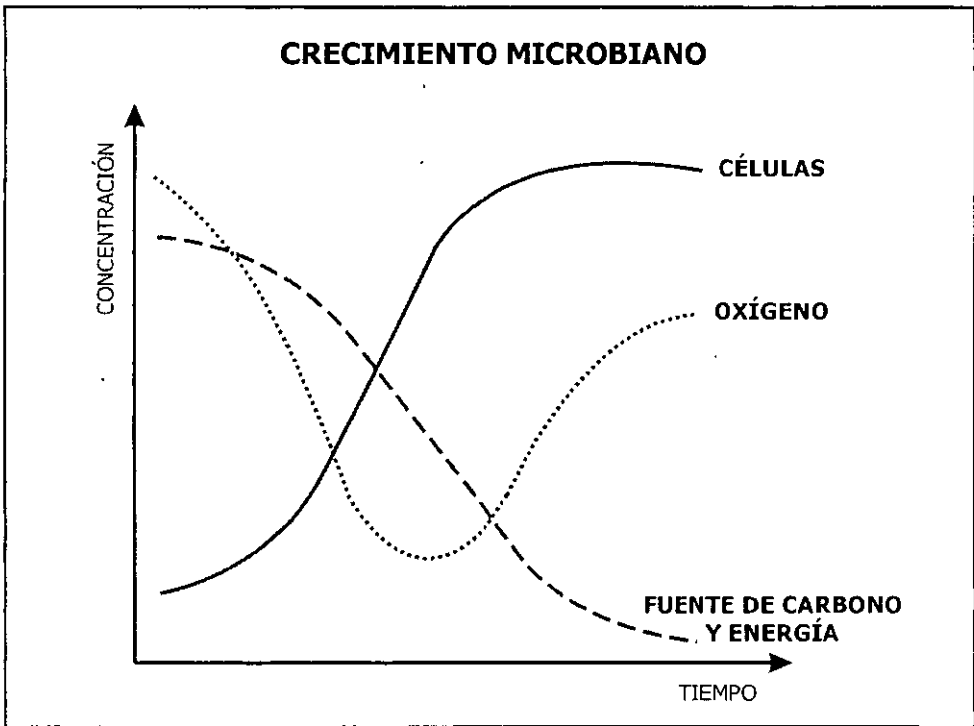
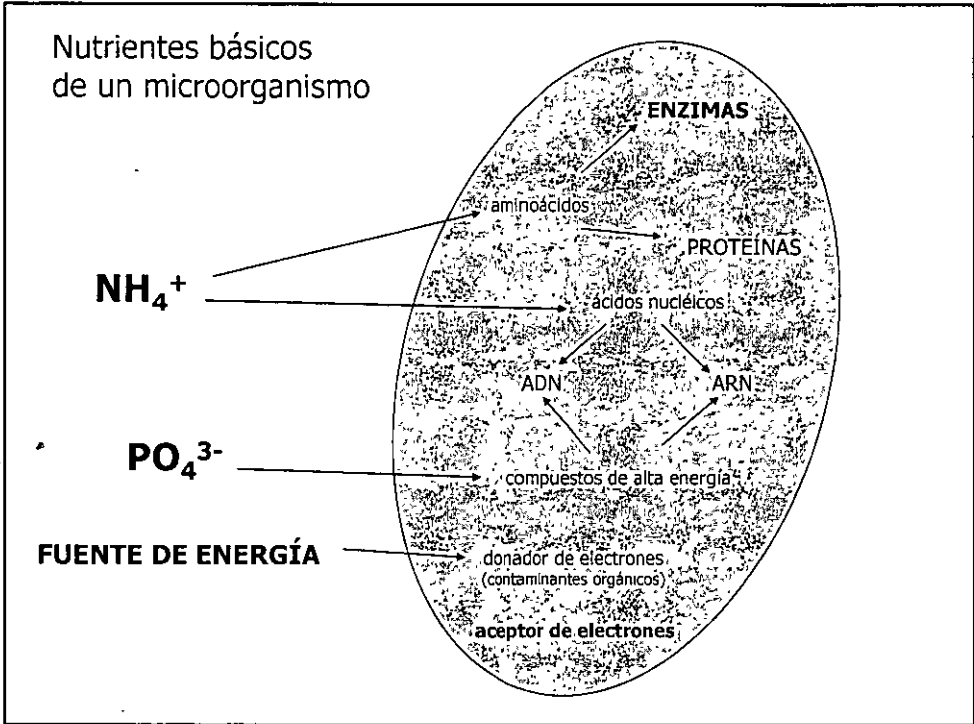
- **fueron los primeros organismos pobladores del planeta**
 - **tienen una velocidad de crecimiento mayor que la de otros microorganismos**
 - **tienen la más amplia versatilidad bioquímica**
 - alta frecuencia de mutación
 - transferencia de material genético (mediante plásmidos, transposones)
-

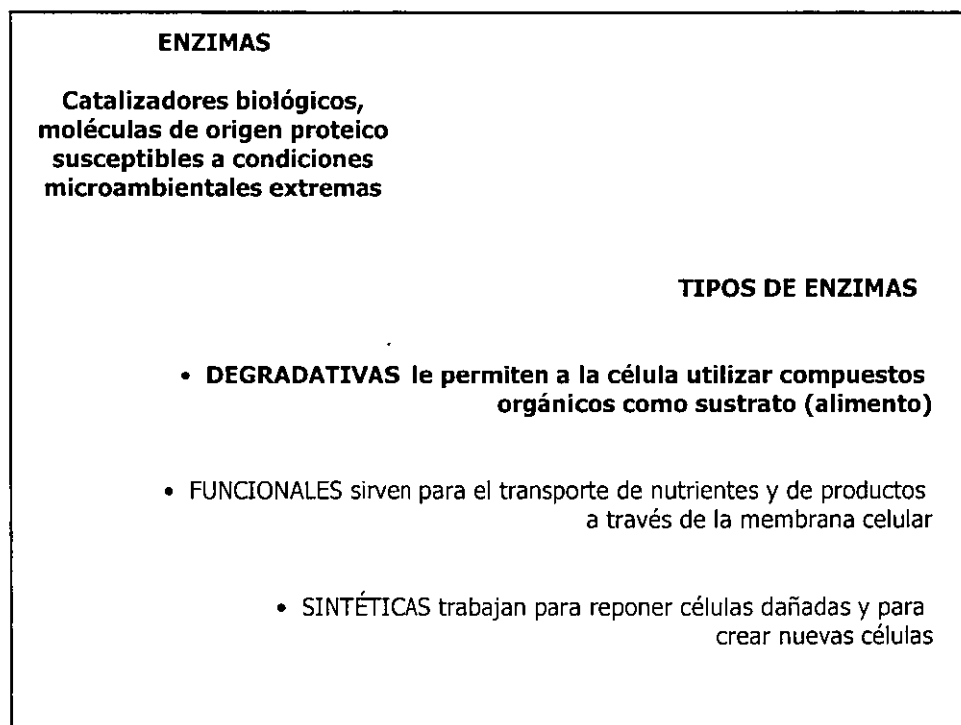
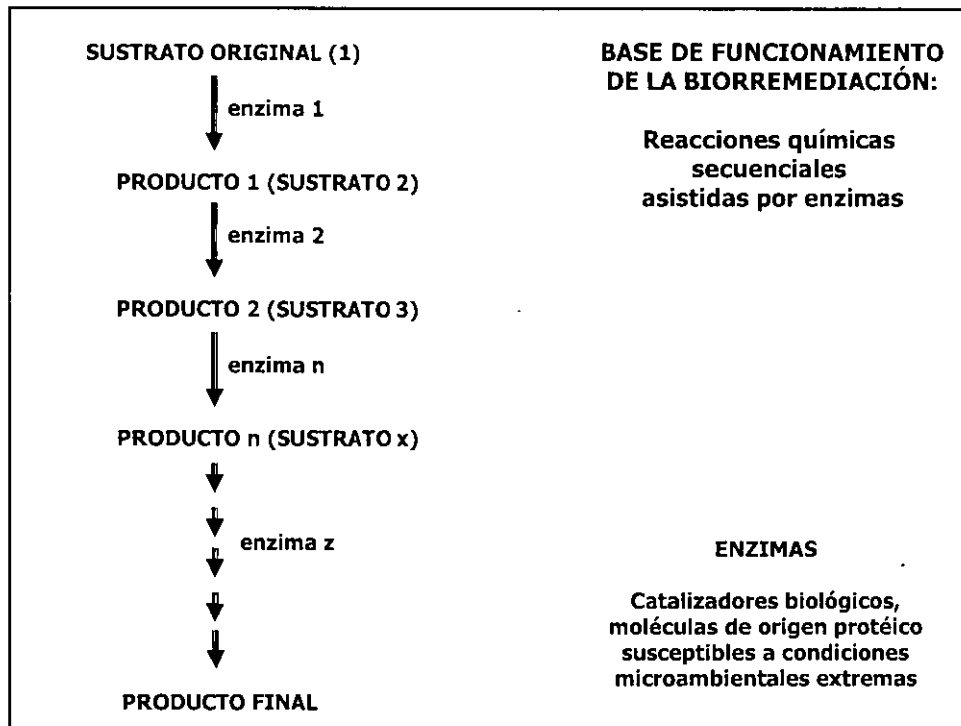
INTERVALOS DE pH PARA EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS

	mínimo	óptimo	máximo
bacterias	3	7	10
levaduras	2	5	8
hongos	1	5	8

ESTRUCTURA DE UNA BACTERIA







EFACTORES DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN EL SUELO

√ pH

√ temperatura

√ presencia de inhibidores

√ contenido de agua disponible

√ disponibilidad de aceptores finales de electrones

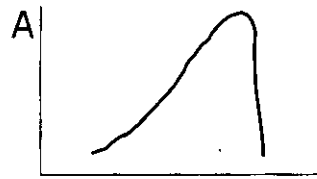
√ biodegradabilidad de los contaminantes

√ biodisponibilidad de los contaminantes

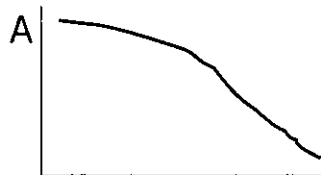
RESPUESTA SOBRE LA ACTIVIDAD MICROBIANA (microbiana ~ enzimática ~ metabólica)



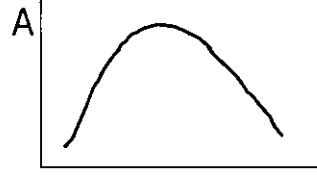
pH



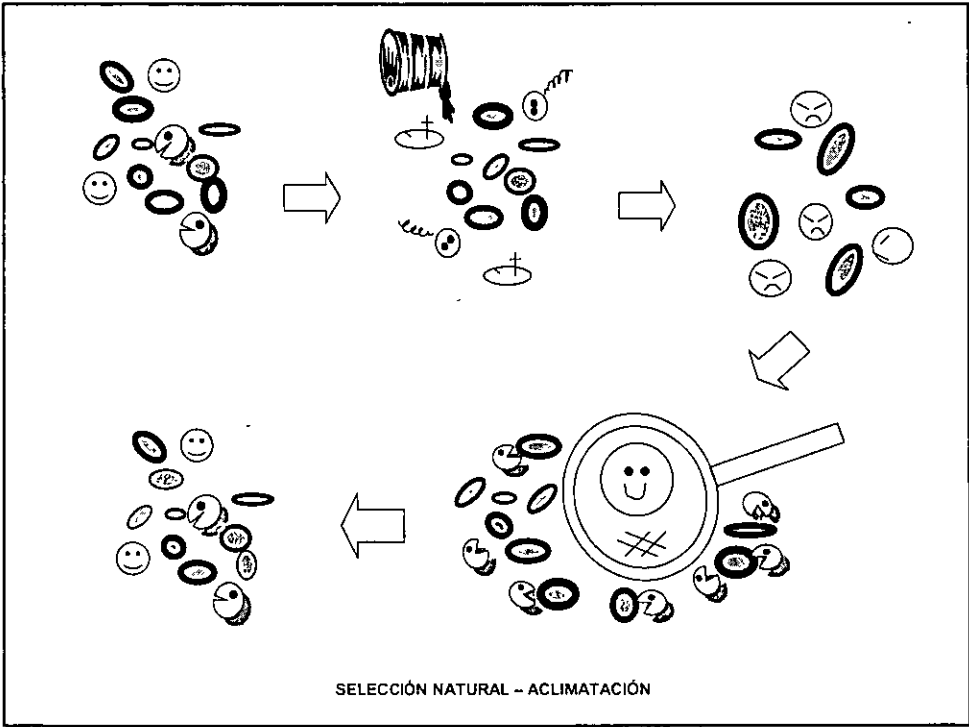
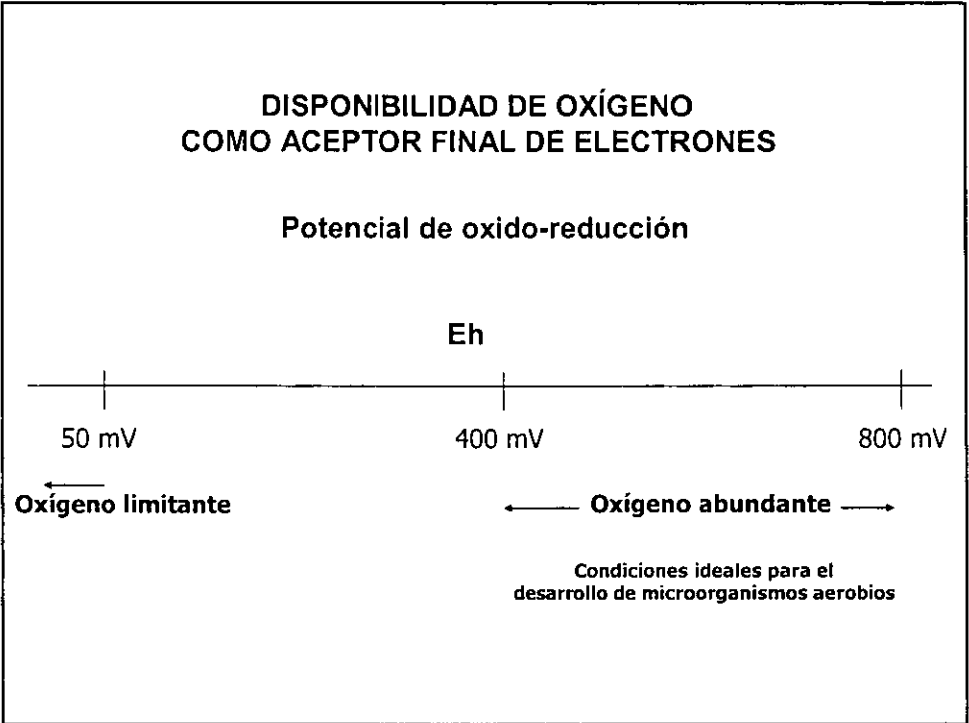
Temperatura

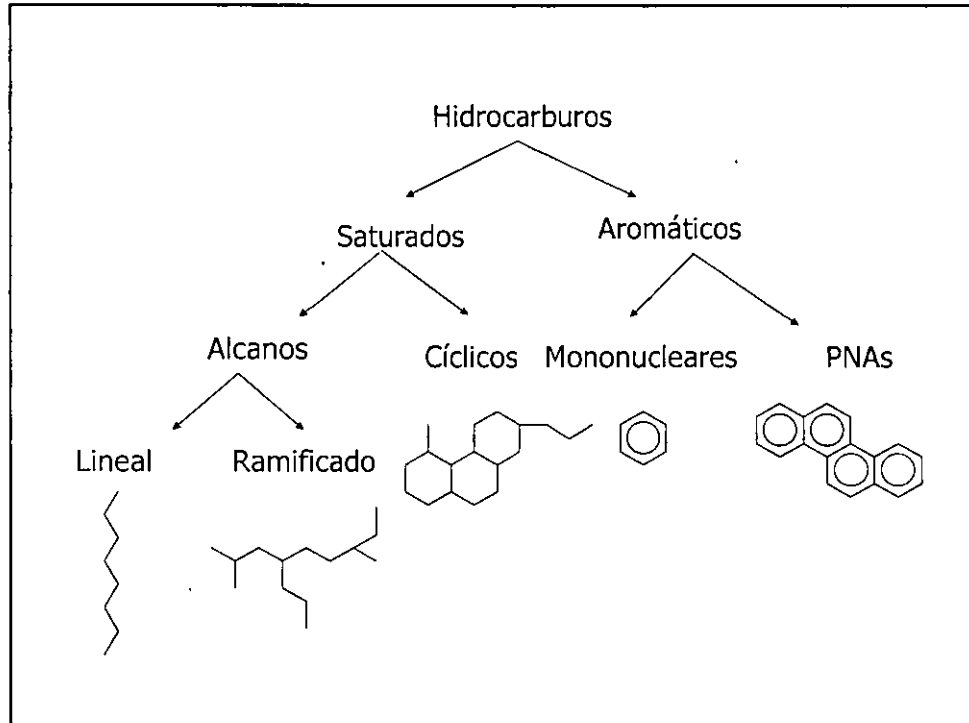


Inhibidores



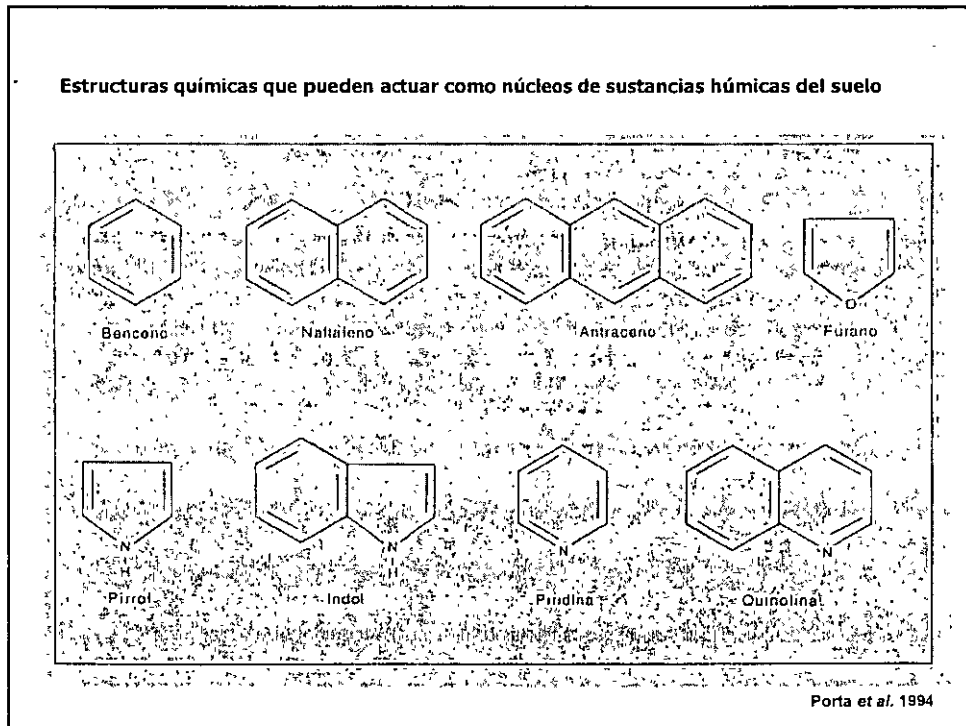
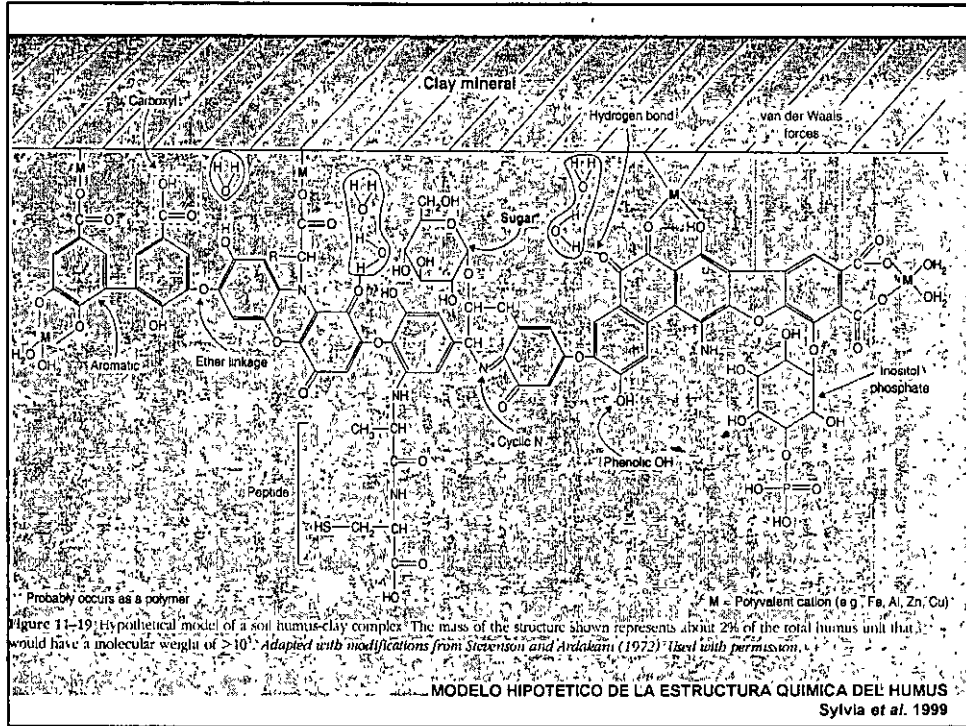
Agua disponible





Estructuras químicas similares a los hidrocarburos existen en la naturaleza, algunos forman parte del propio suelo otros son componentes de especies vegetales.

Por ello, muchos se pueden degradar incluso sin la acción del hombre.

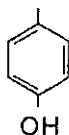


Los principales grupos radicales externos son:

Carboxílico

- COOH

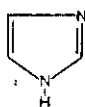
Fenólico



Alcohólico

-OH

Imidazol



Sulfhídrico

- SH

Carbonilo

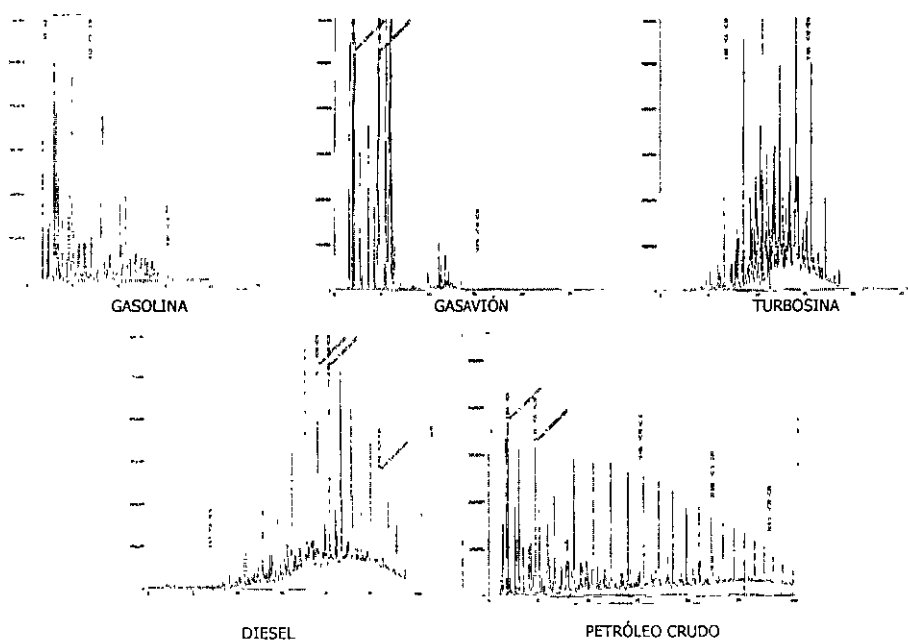


Amino

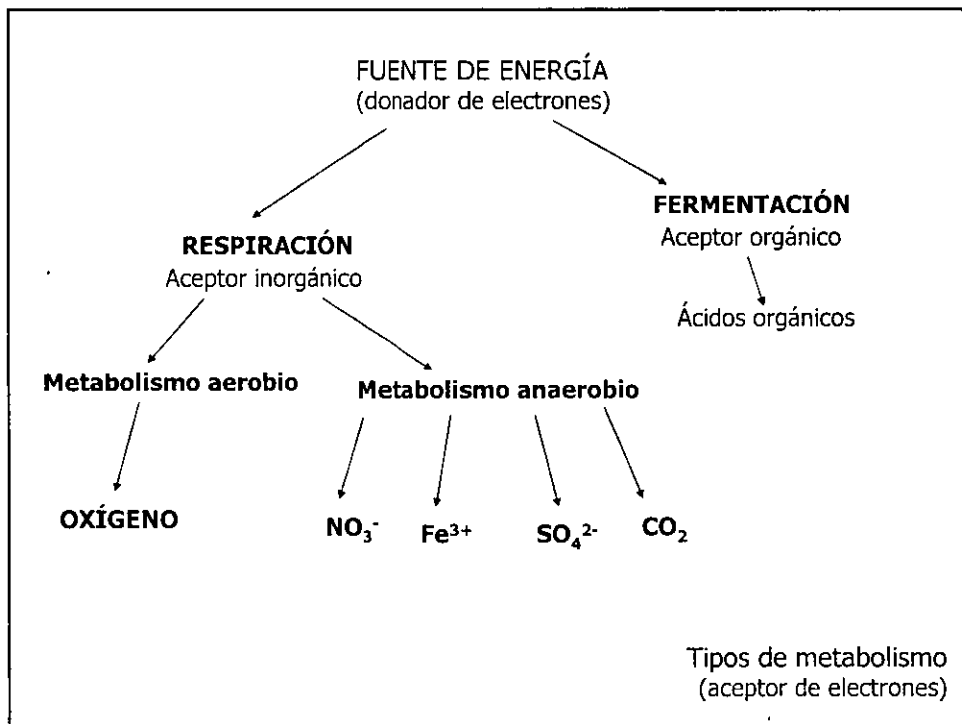
- NH₂

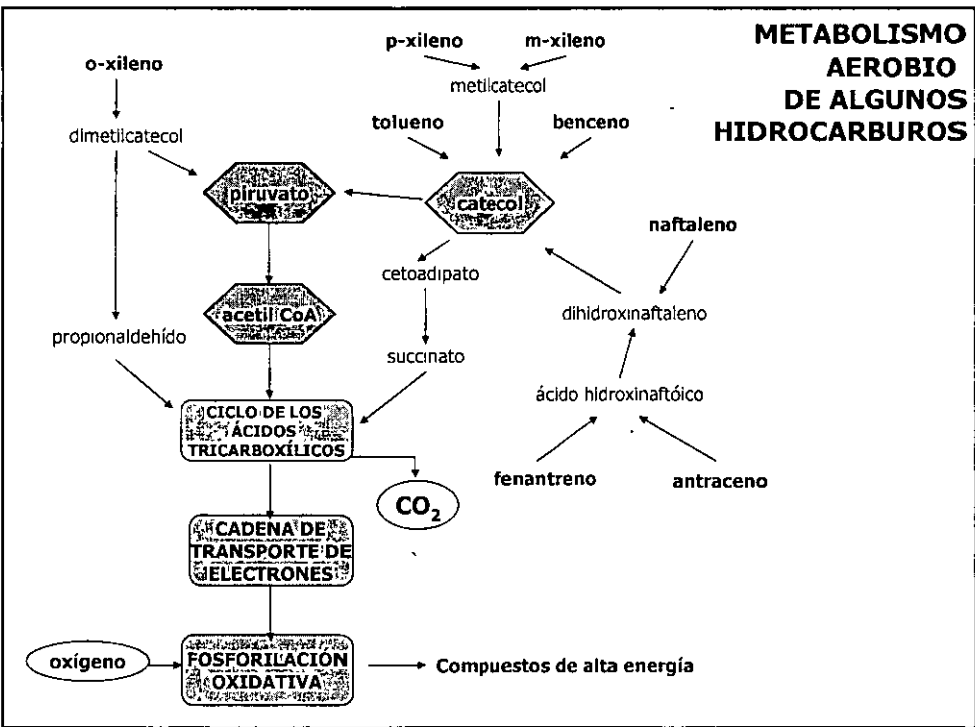
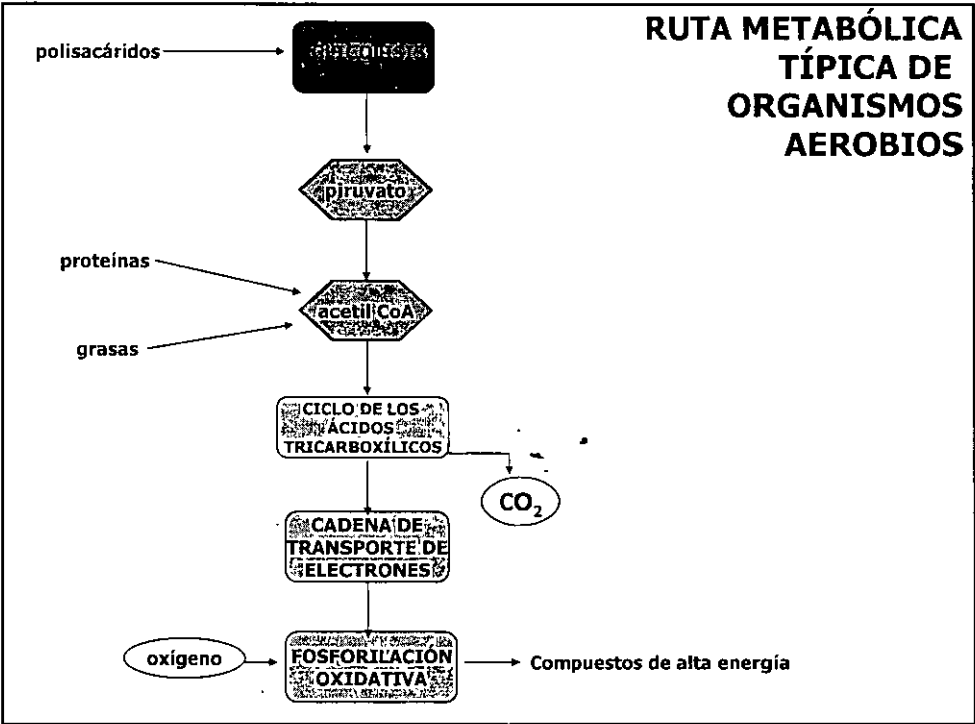
Porta et al. 1994

Perfiles cromatográficos obtenidos por el método EPA 8015 B

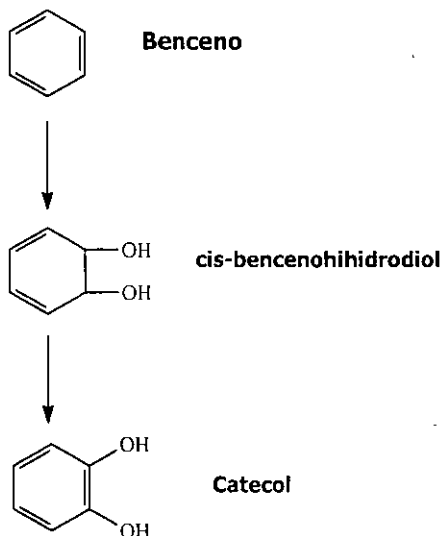


Rutas de biodegradación de hidrocarburos

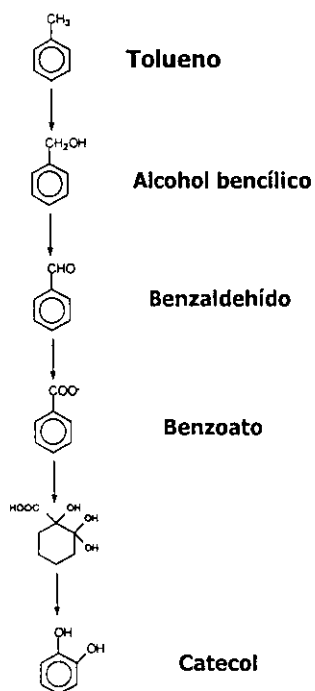




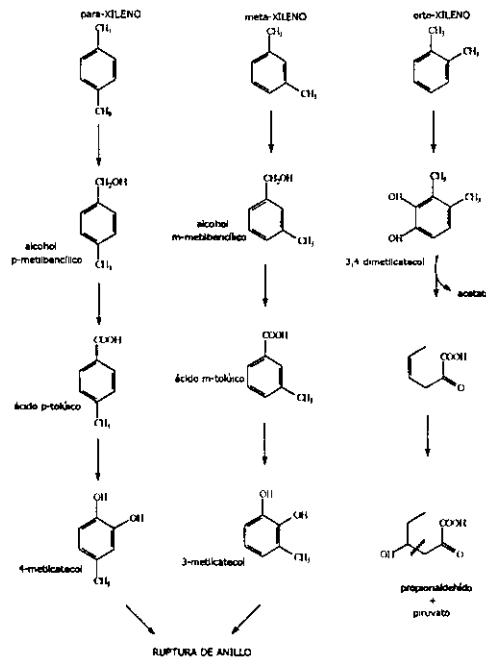
REACCIONES INICIALES EN LA BIODEGRADACIÓN DE BENCENO



REACCIONES INICIALES EN LA BIODEGRADACIÓN DE TOLUENO



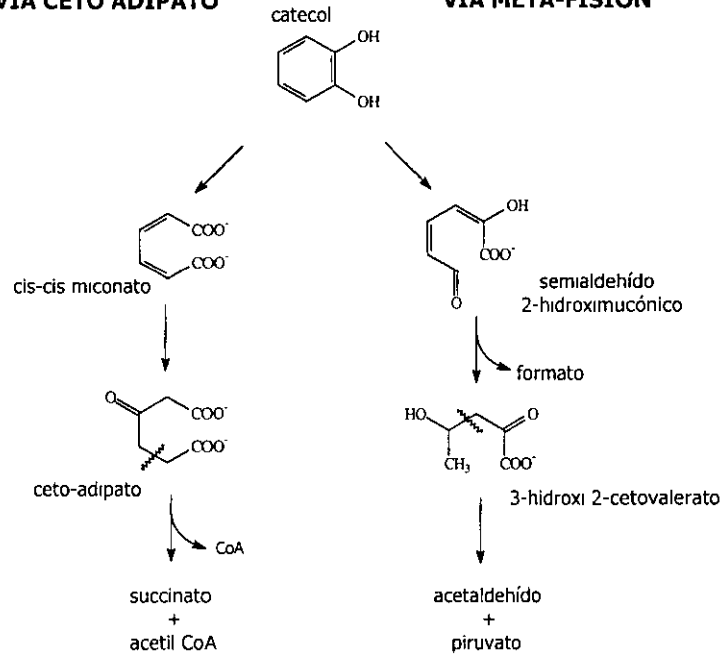
REACCIONES INICIALES EN LA BIODEGRADACIÓN DE *para*-, *meta*- y *orto*-XILENO



Hoja 1 de 2

VÍA CETO ADIPATO

VÍA META-FISIÓN



Hoja 2 de 2

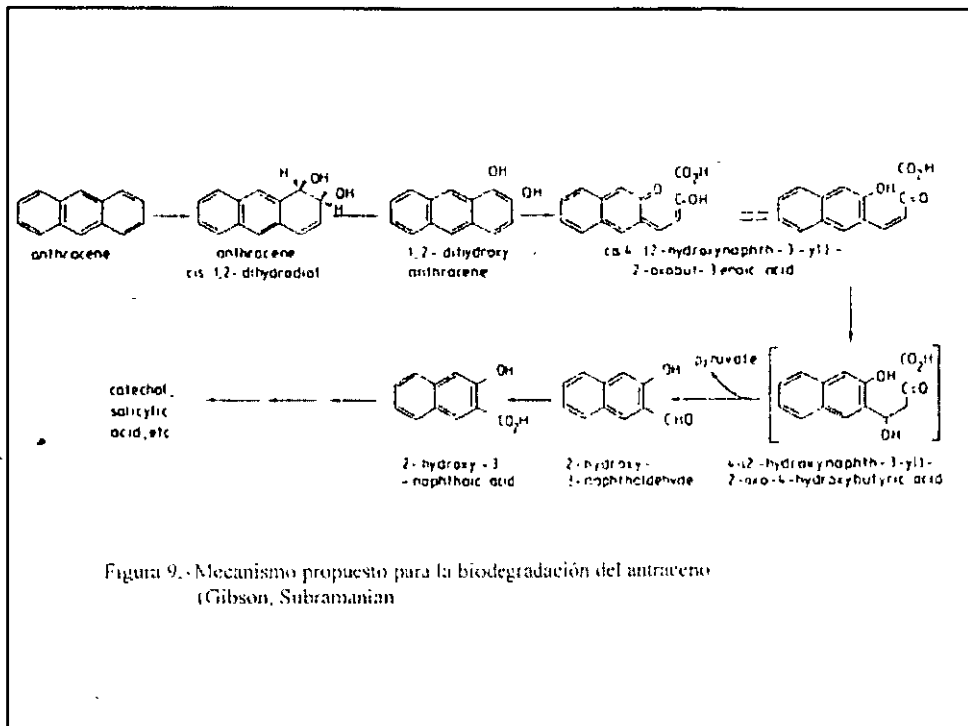


Figura 9.- Mecanismo propuesto para la biodegradación del antraceno (Gibson, Subramanian)

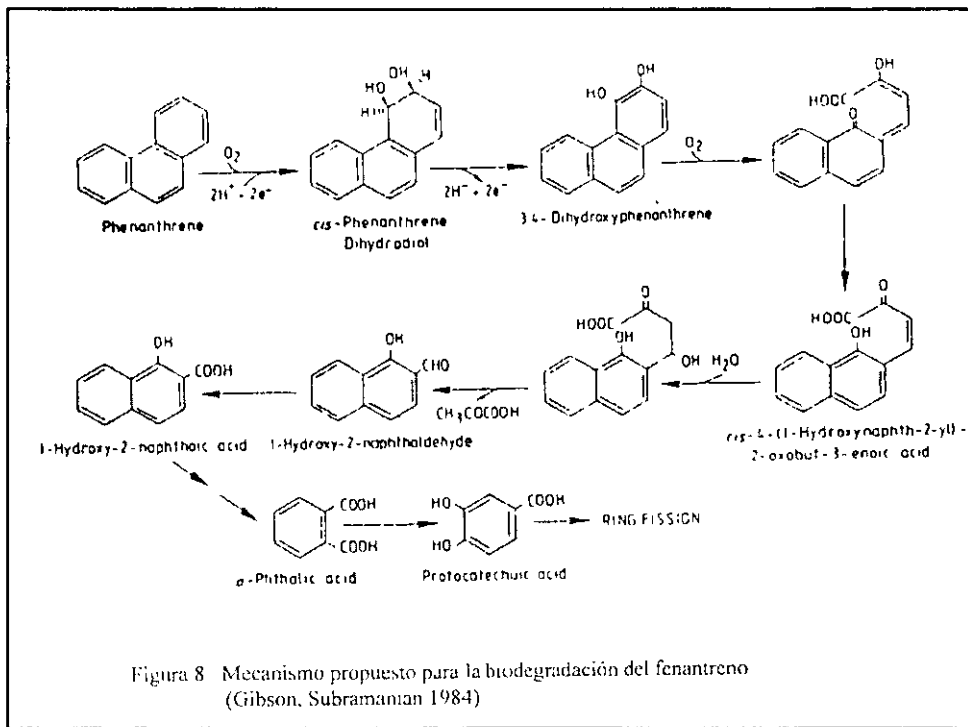
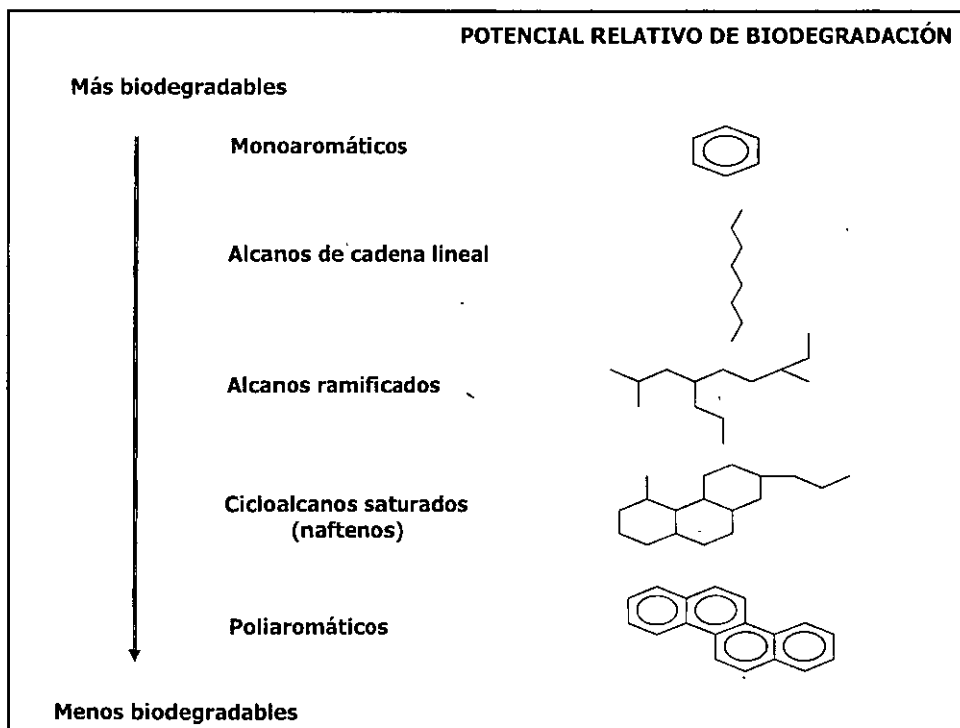
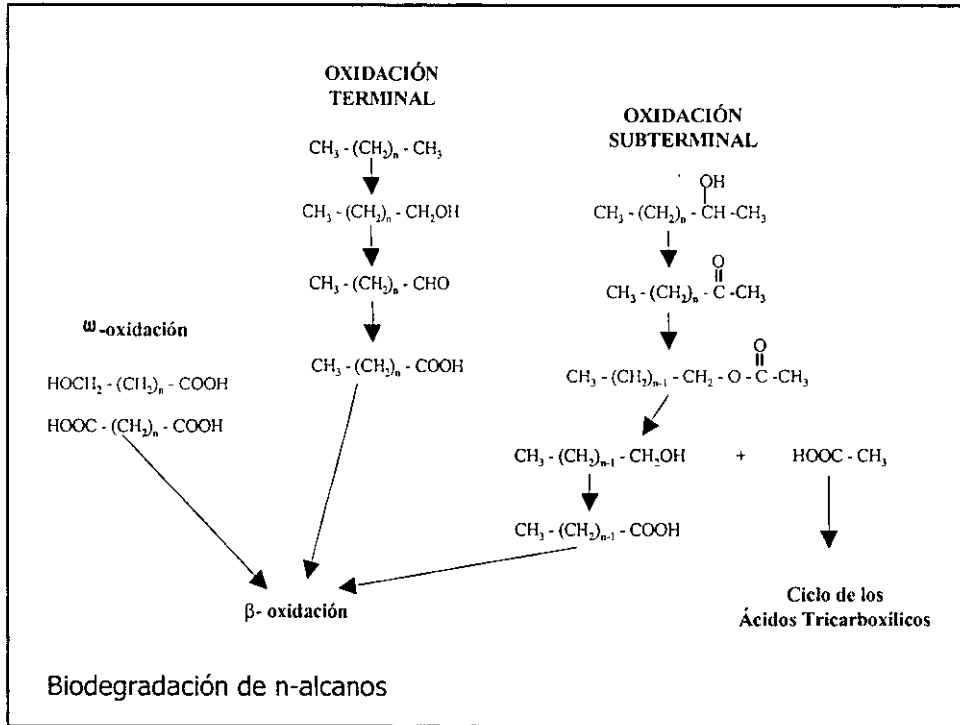


Figura 8 Mecanismo propuesto para la biodegradación del fenantreno (Gibson, Subramanian 1984)



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 EN EL LABORATORIO



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:

- √ volumen (superficie y profundidad)
 - √ forma
 - √ heterogeneidad
 - √ dirección preferencial del flujo
-

CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES

características del “alimento” para los microorganismos:

- √ tipo
- √ diversidad
- √ concentración
- √ posibles inhibidores de la actividad microbiana

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

características del microambiente del suelo o subsuelo

- √ pH
- √ nutrientes naturales
- √ interacción con los contaminantes
- √ tipo de matriz

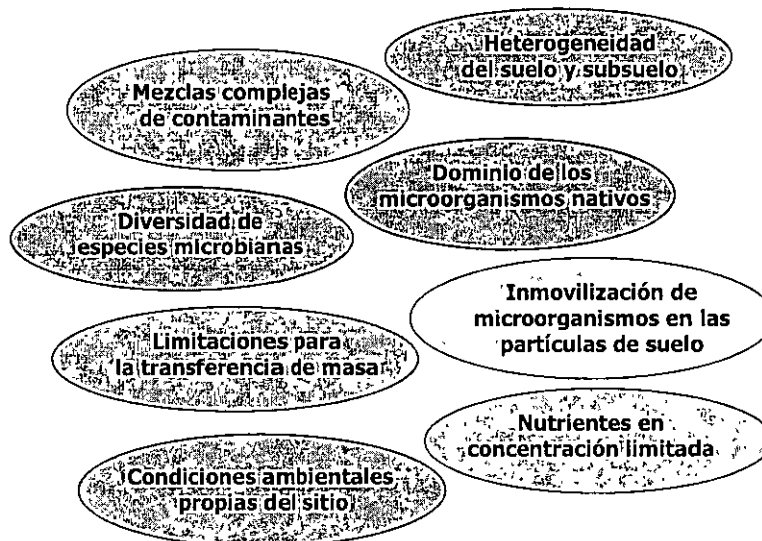
CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA

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)
- √ contienen genes catabólicos (*xylE*, *ndoB*, *alkB*)

puede aplicarse también a inóculos y preparaciones comerciales

En un sitio contaminado se tienen



TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN

BIOESTIMULACIÓN

Fertilización

BIOAUMENTACIÓN / BIOINCREMENTO

Preparaciones comerciales

Producción de inóculos

BIOVENTEO

Suministro de oxígeno

ATENUACIÓN

NATURAL

BIOESTIMULACIÓN

- ✓ Adición de fertilizantes (NH_4^+ , PO_4^{3-})

nitrógeno total: 2000 mg/kg

fosfatos: 12 mg/kg

Suelo rico - muy rico

o relación C : N- NH_4^+ : P- PO_4^{3-}

100 : 10 : 1

- ✓ Humedad constante: 25 – 50 %
(en función del tipo de suelo)

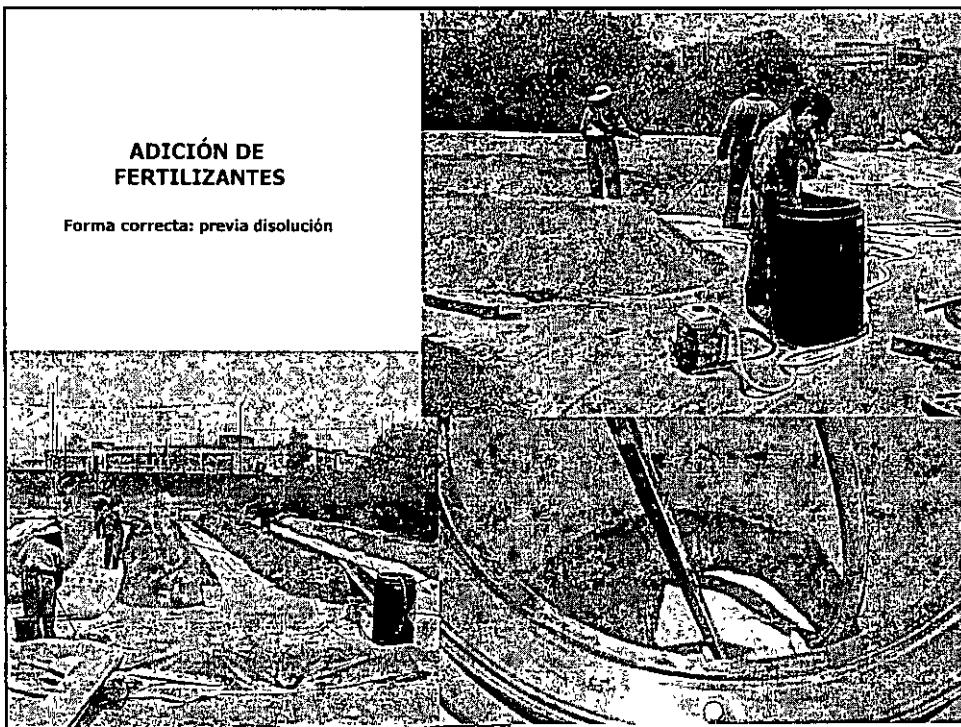
DENOMINACIÓN DE SUELOS SEGÚN SU CONTENIDO DE NUTRIENTES

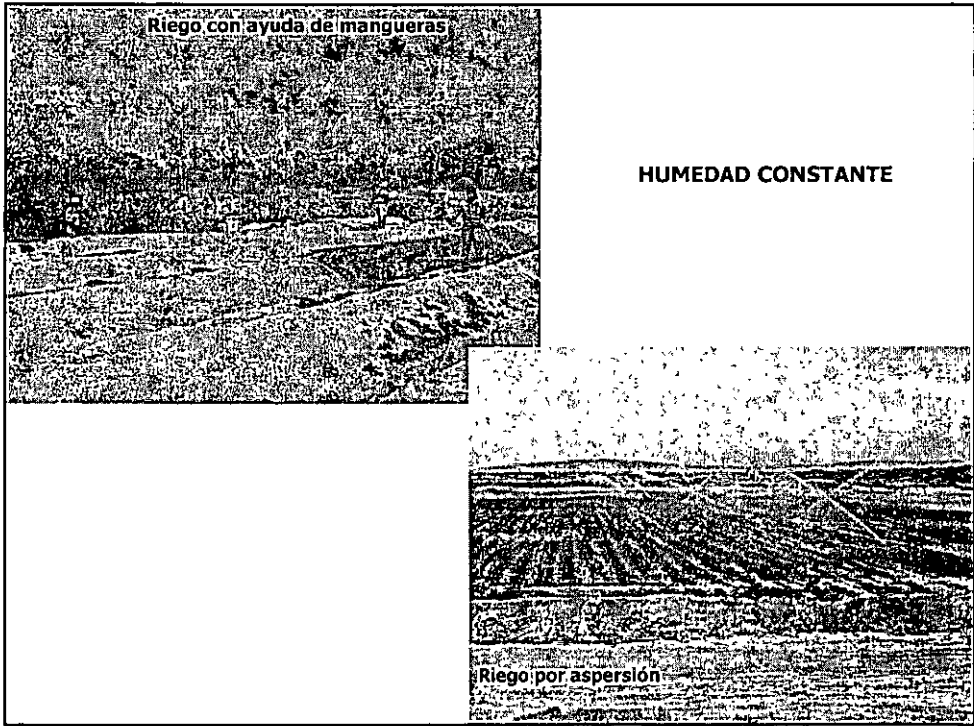
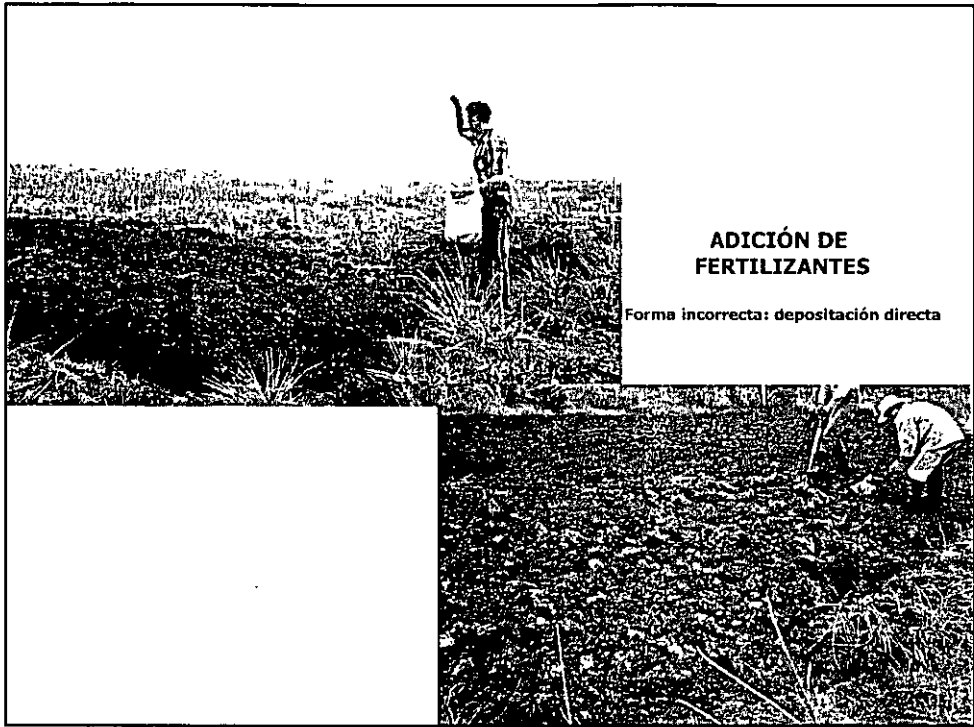
NITRÓGENO %	NITRÓGENO mg/kg	FOSFATOS mg/kg	MATERIA ORGÁNICA %	DENOMINACIÓN DEL SUELO
< 0.032	< 320		0 – 0.2	Extremadamente pobre
0.032 – 0.063	320 – 630	< 4.0	0.8 – 2.0	Pobre
0.064 – 0.095	640 – 950		2.0 – 4.0	Regular
0.096 – 0.126	960 – 1,260	4.0 – 6.9	4.0 – 8.0	Medianamente rico
0.127 – 0.158	1,270 – 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

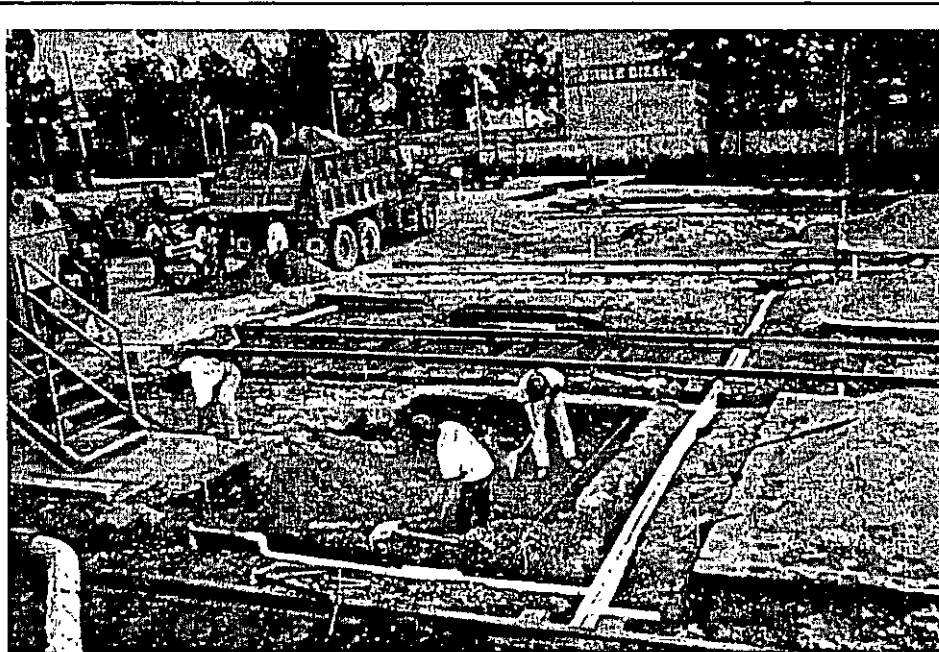
Adaptado de: Tavera, 1985; Aguilera, 1989; Vázquez, 1993.

**ADICIÓN DE
FERTILIZANTES**

Forma correcta: previa disolución







INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA BIOVENTEO

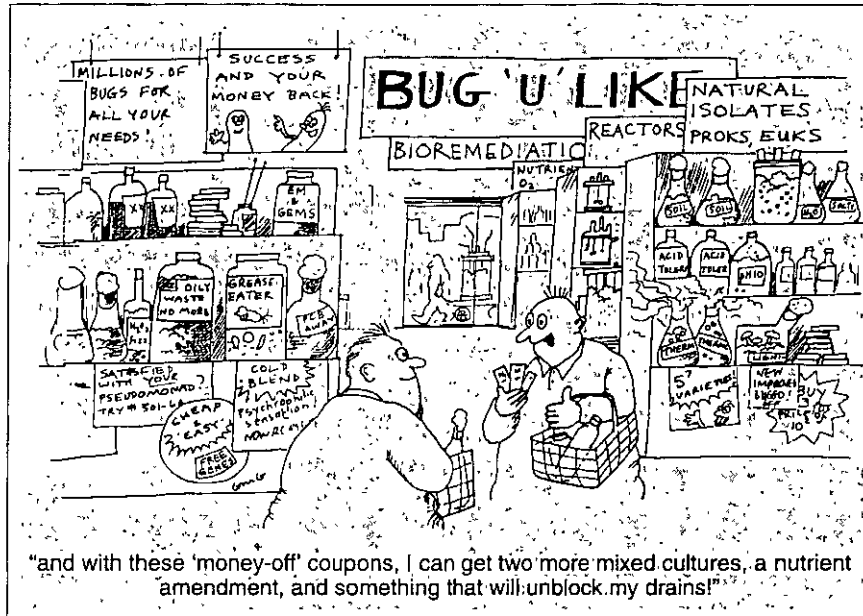
PRODUCTOS COMERCIALES

- **concentrados bacterianos**
 - **musgos impregnados de bacterias**
 - **concentrados enzimáticos**
 - **fertilizantes**

 - **agentes tensoactivos (surfactantes)**

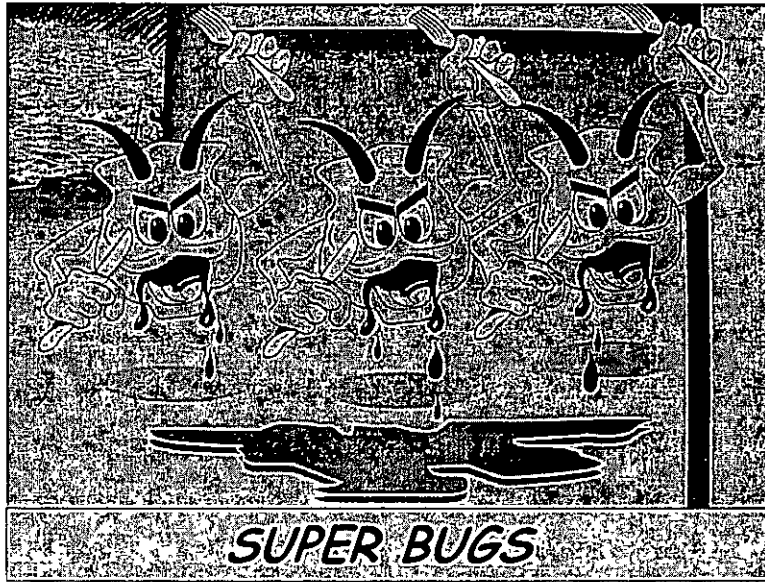
 - **"oxigenadores"**
-

El mercado de la biorremediación ...

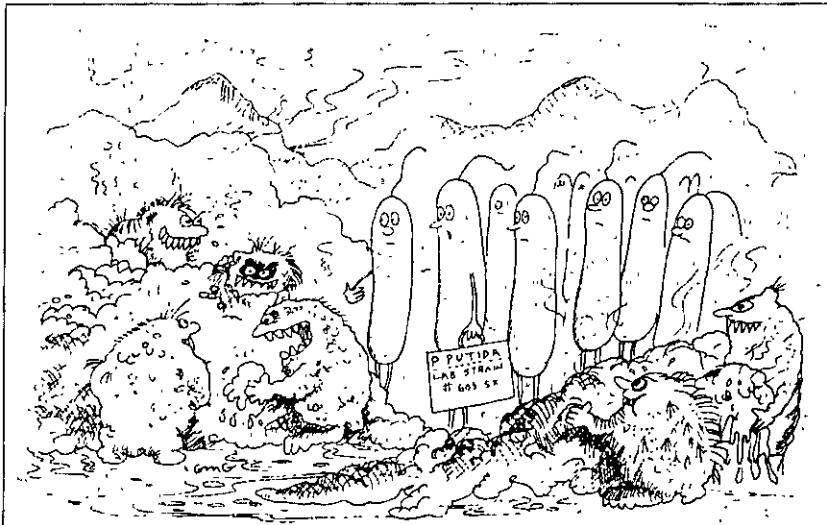


Source: Caplan, 1993. TIBTECH 11, August: 320-323.





Un extraño no siempre es bienvenido ...

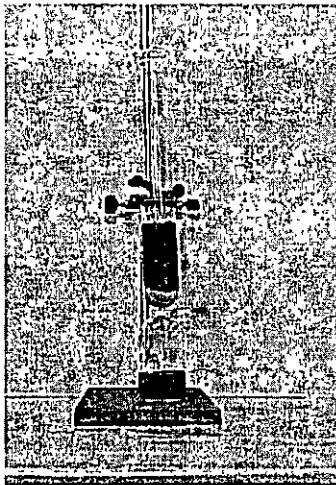
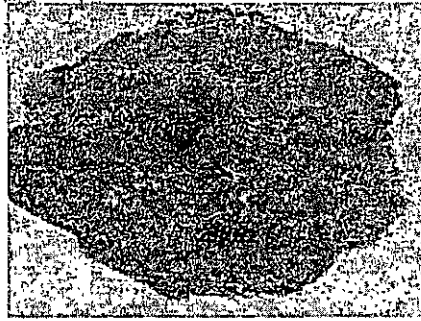


"Oh dear! I didn't realize 'in the field' would be like this!
We should have stayed in the laboratory."

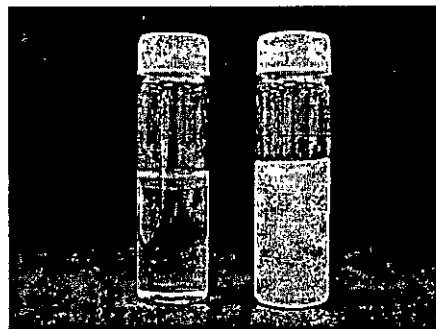
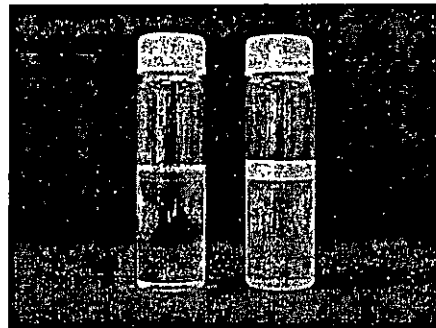
Source: Liu and Sufita, 1993. TIBTECH 11, August: 344-352.

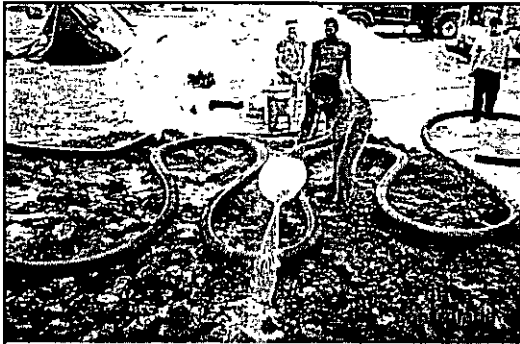


"Musgos absorbentes"

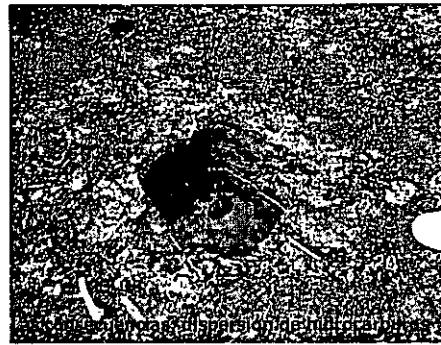


**Acción de los
agentes tensoactivos
sobre los
hidrocarburos**





APLICACIÓN DE SURFACTANTES

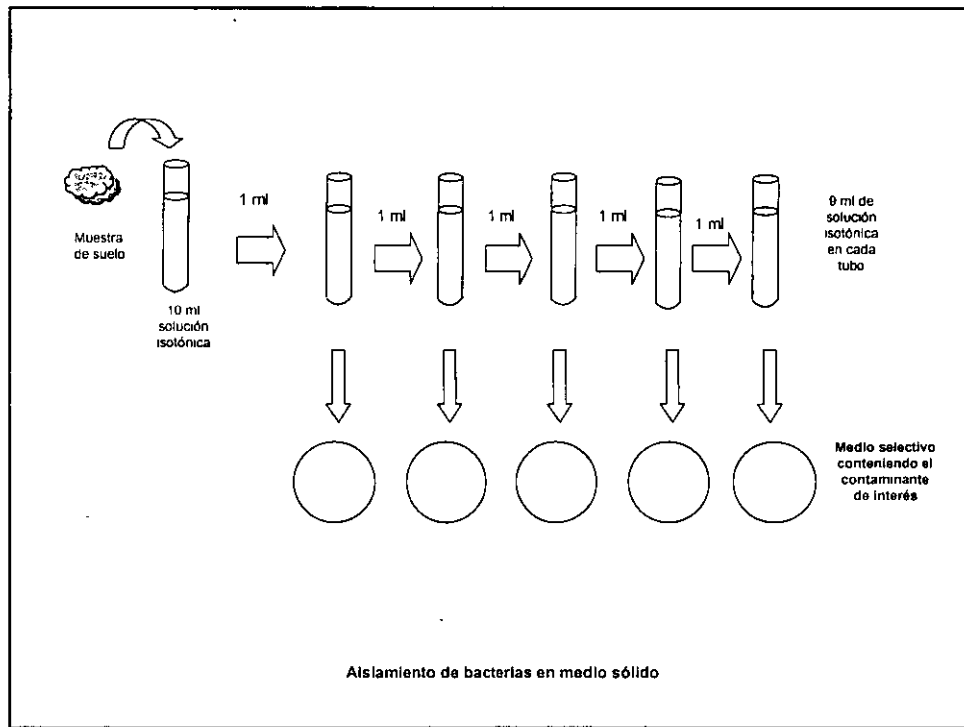


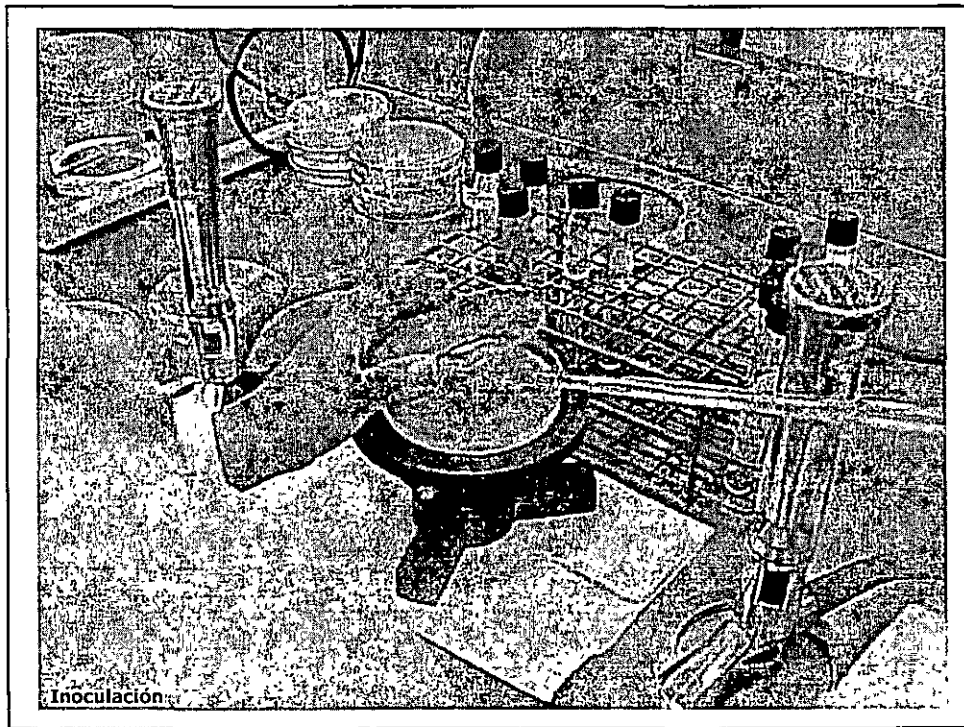
PRODUCCIÓN DE INÓCULOS

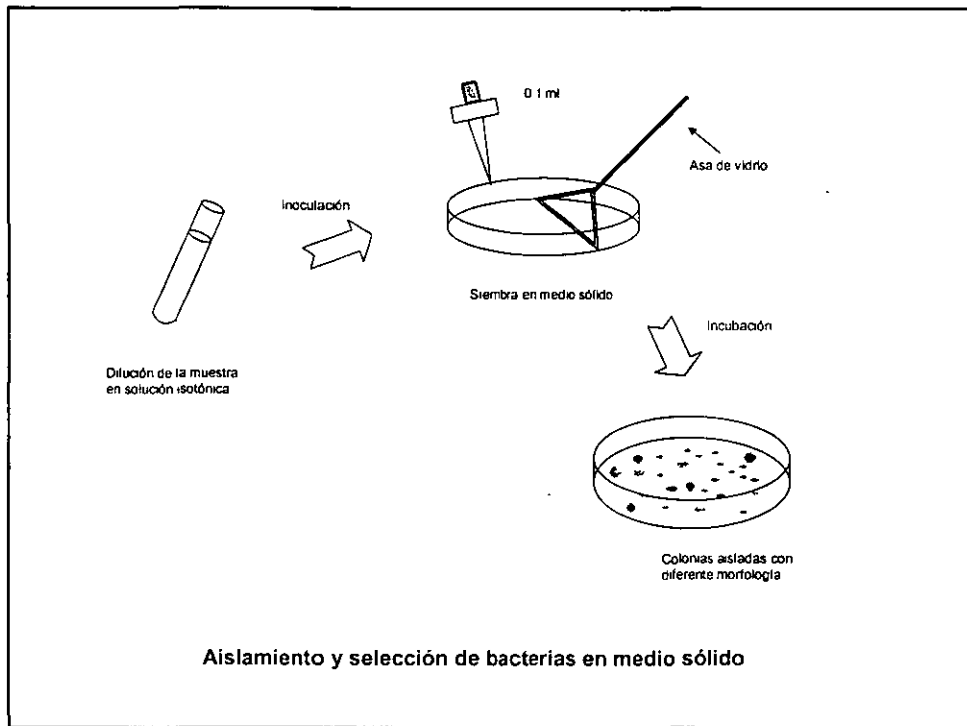
- 1. Aislamiento de bacterias degradadoras**
- 2. Enriquecimiento del cultivo**
- 3. Identificación de cepas (no indispensable)**
- 4. Escalamiento del cultivo**

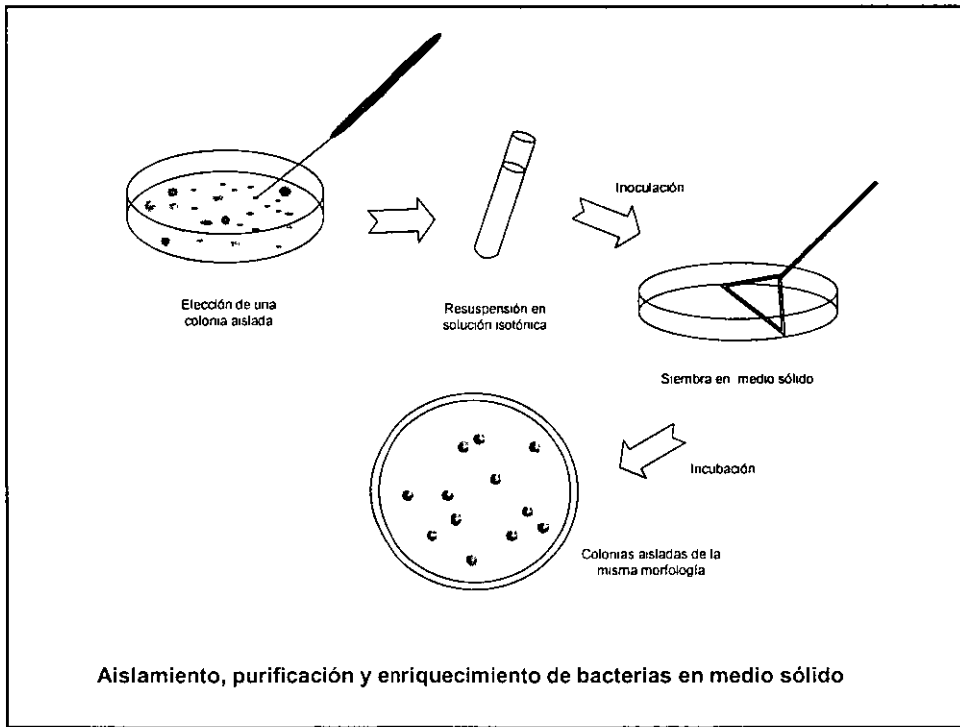
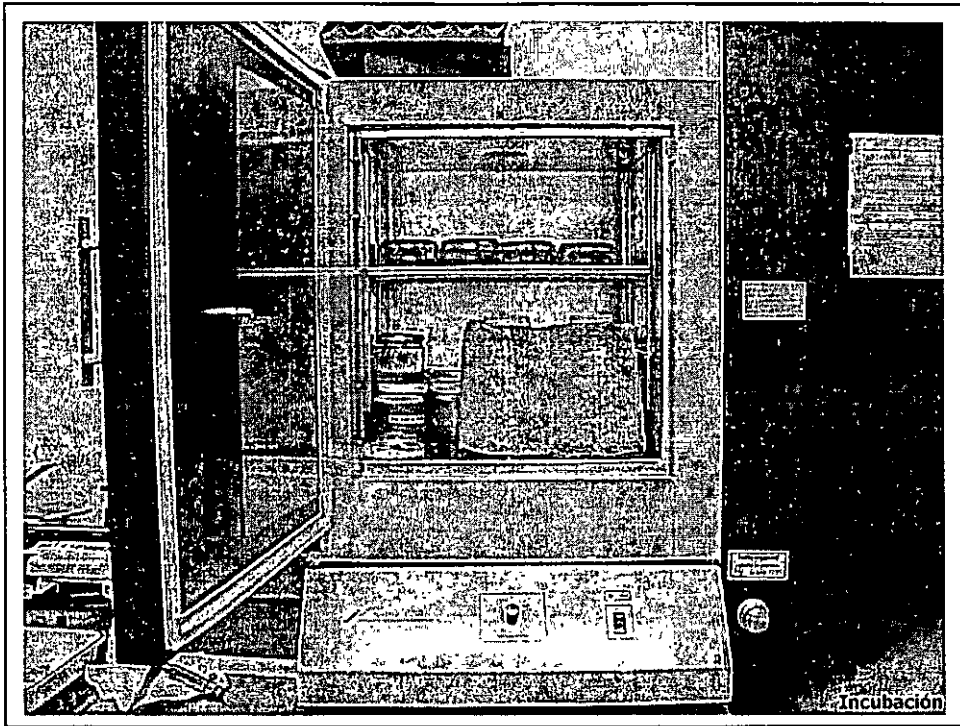
**Fuente inicial de aislamiento de bacterias degradadoras:
un suelo contaminado de un pasivo ambiental**

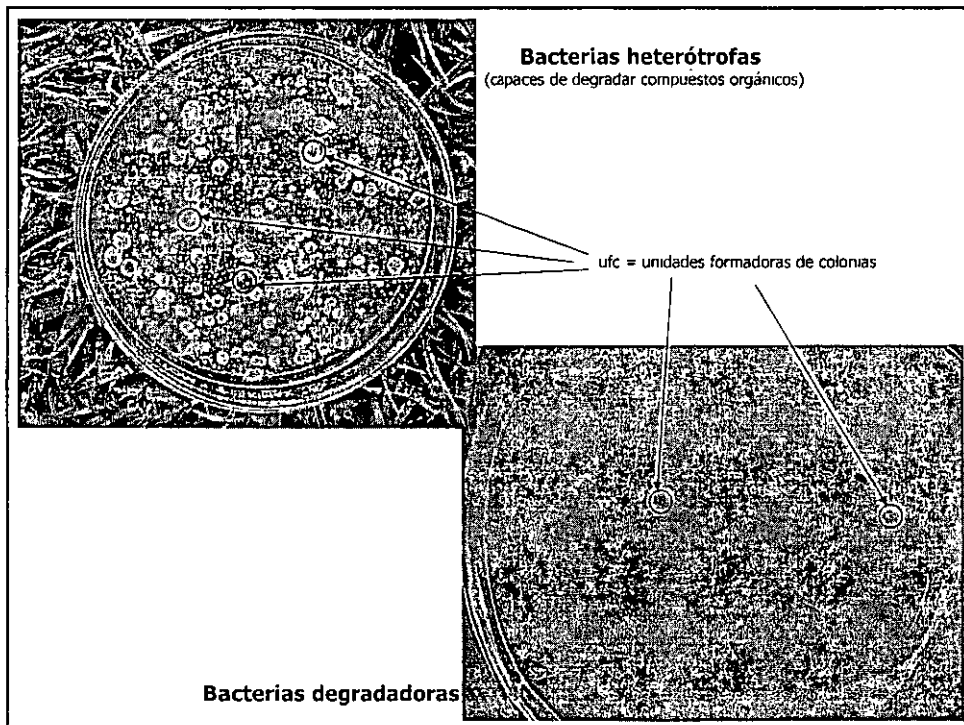
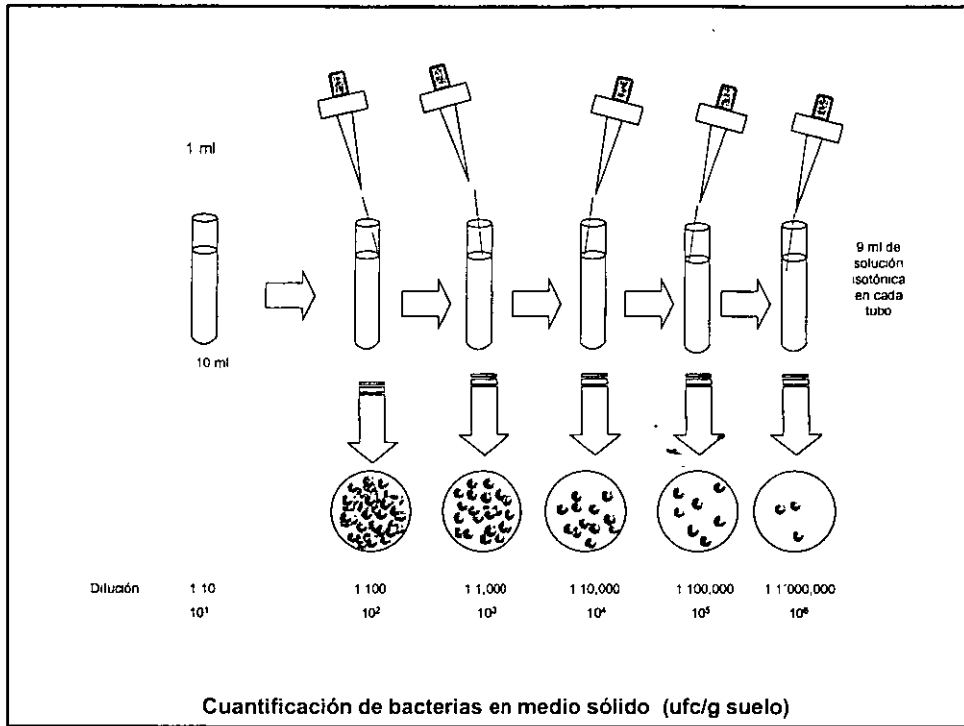
Parámetro	Concentración
pH	8.38
materia orgánica	18.54 (%)
fosfatos	0.33 (mg/kg)
nitrógeno total	457.71 (mg/kg)
nitrógeno amoniacal	372.06 (mg/kg)
bacterias degradadoras de diesel industrial	3.49×10^5 (ufc/g de suelo)



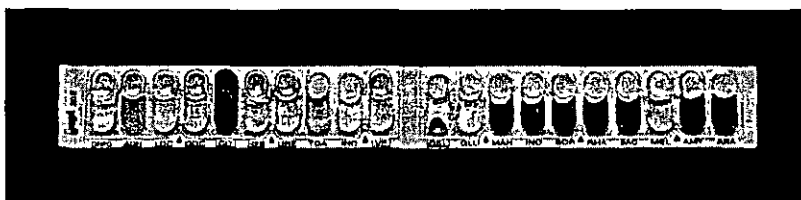






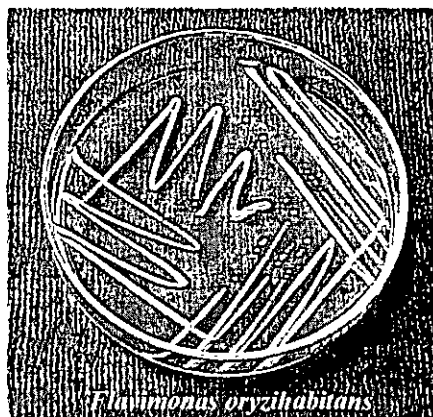


IDENTIFICACIÓN
DE CEPAS
MICROBIANAS

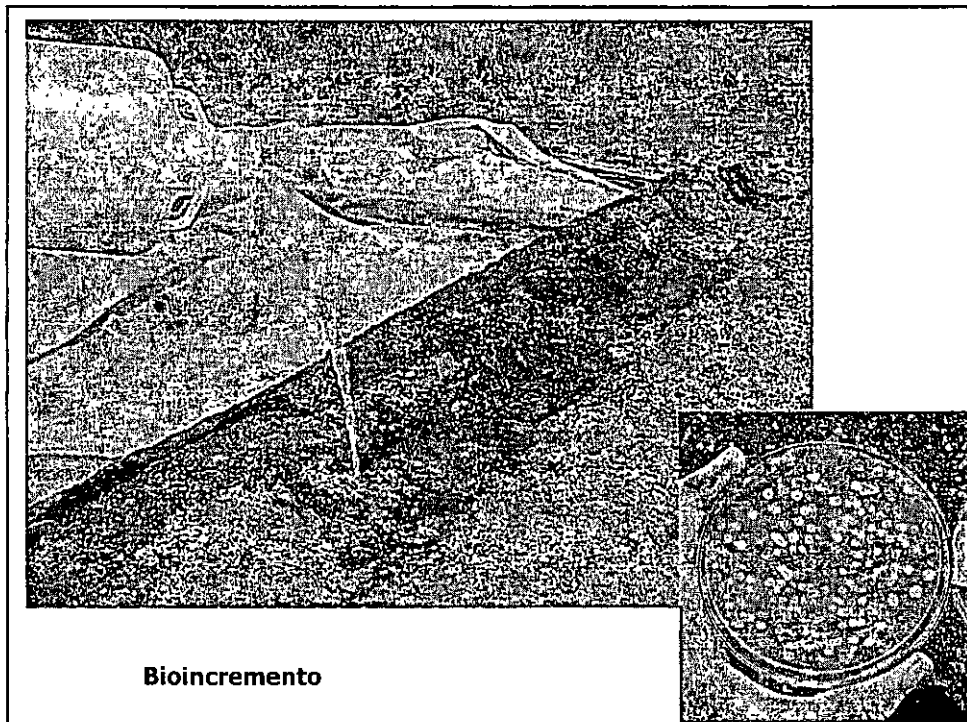
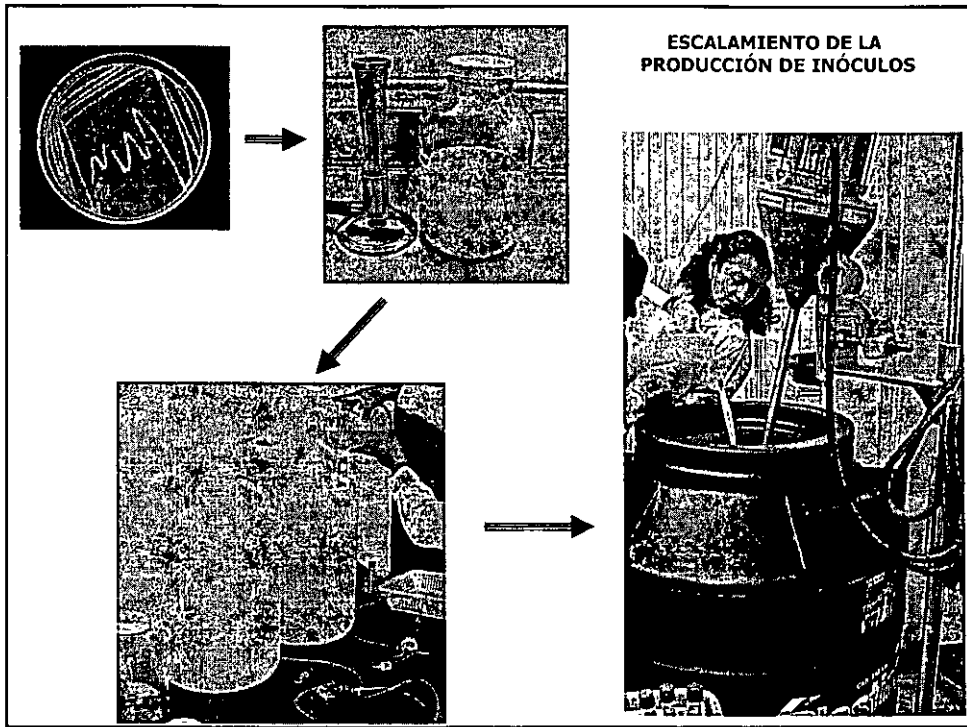


Pruebas bioquímicas API

IDENTIFICACIÓN
DE CEPAS



Pruebas bioquímicas API



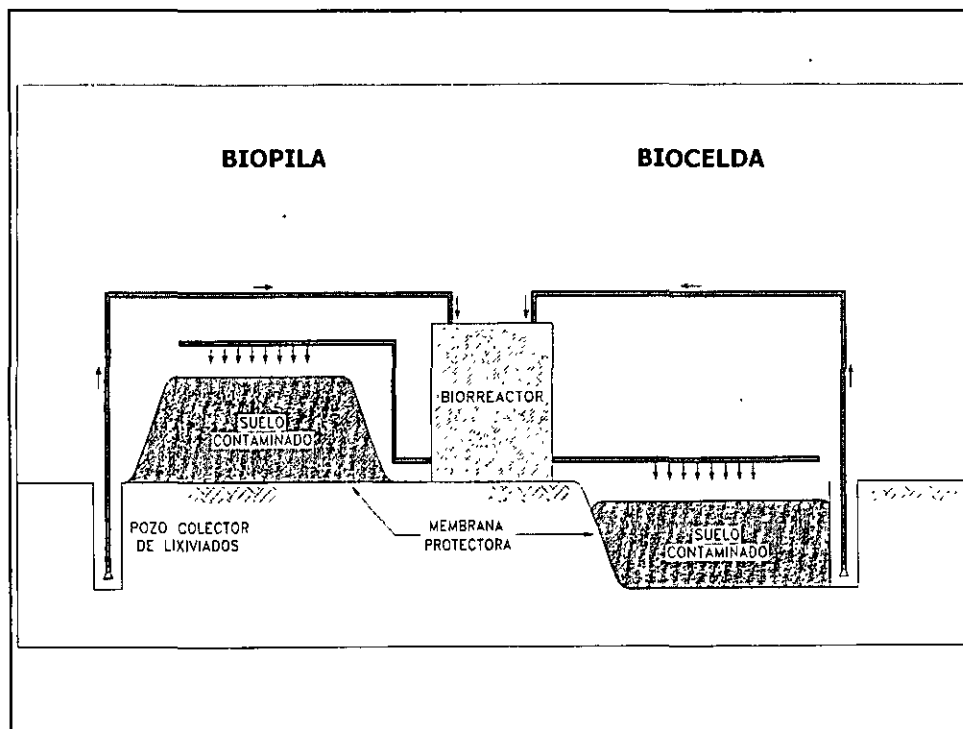
TIPOS DE BIORREACTORES

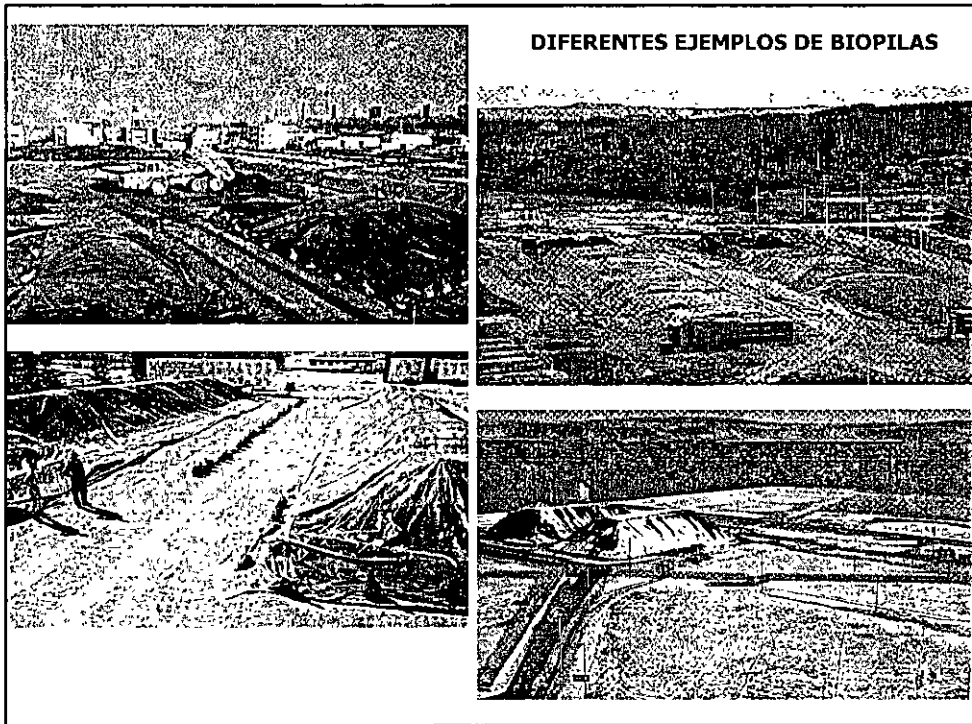
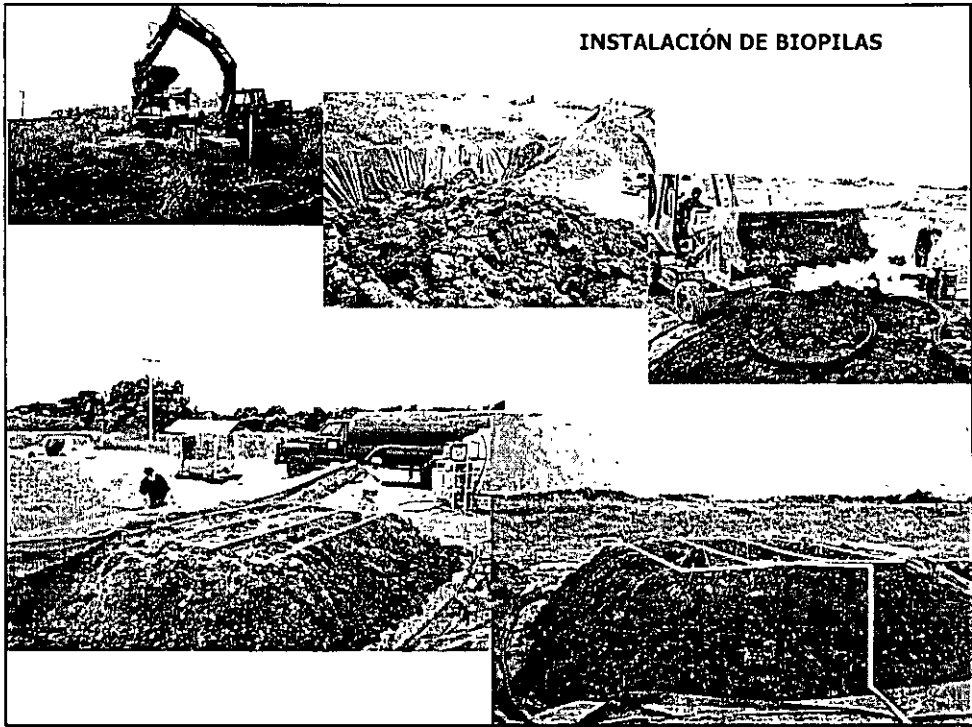
BIOPILAS

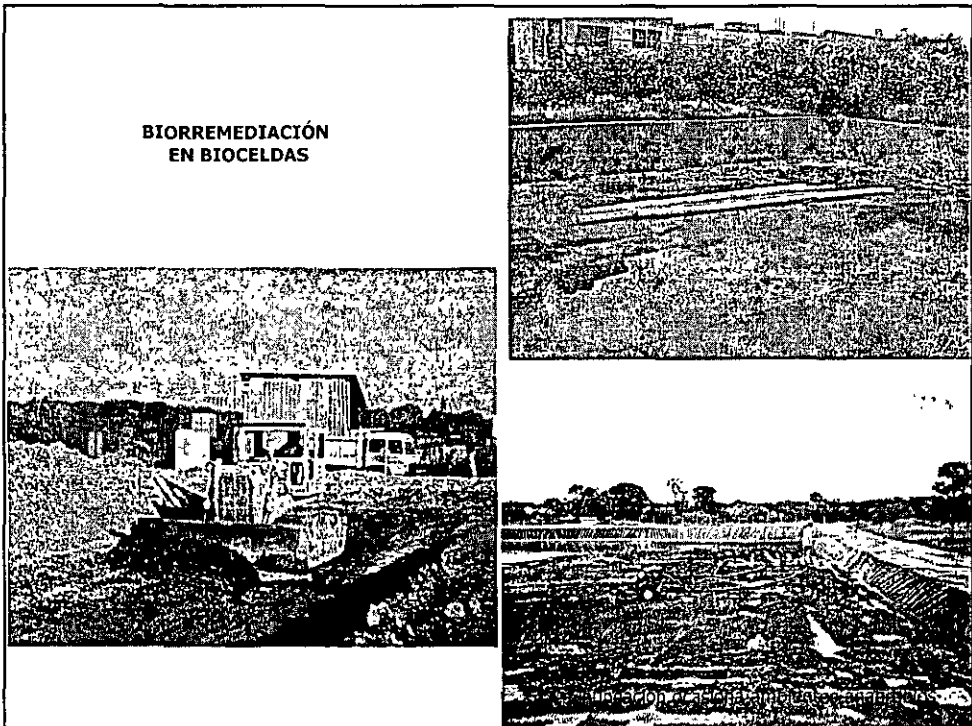
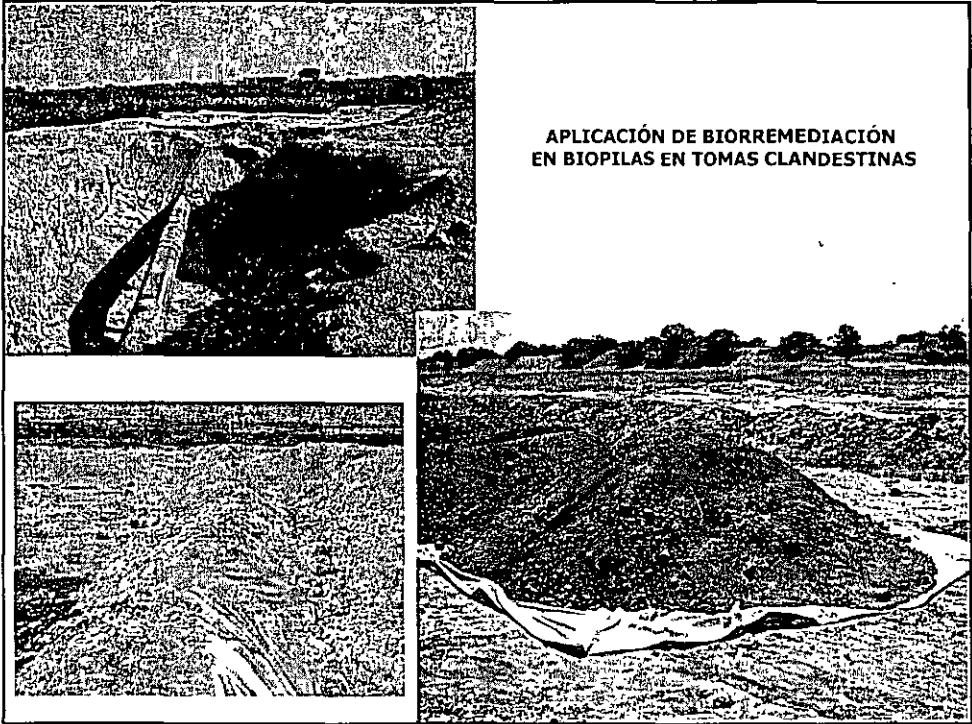
BIOCELDAS

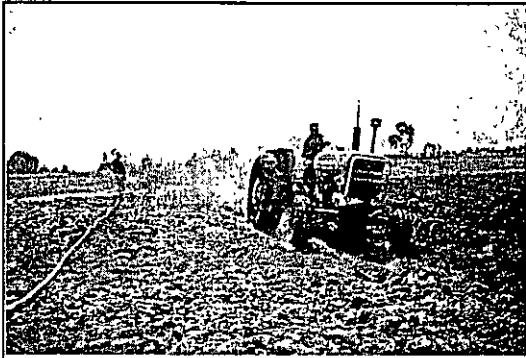
**BIOCULTIVO
(Land-farming)**

**AGITADOS
Y
AERADOS**

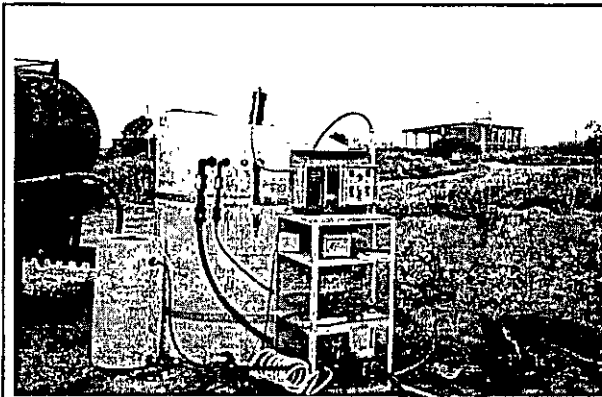
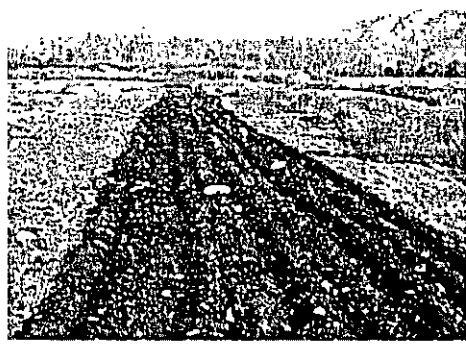
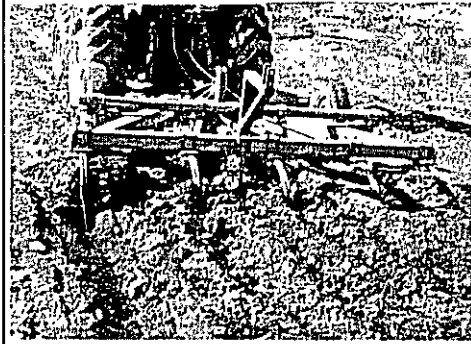








**BIORREMEDIACIÓN
EN BIO CULTIVO
(Land-farming)**

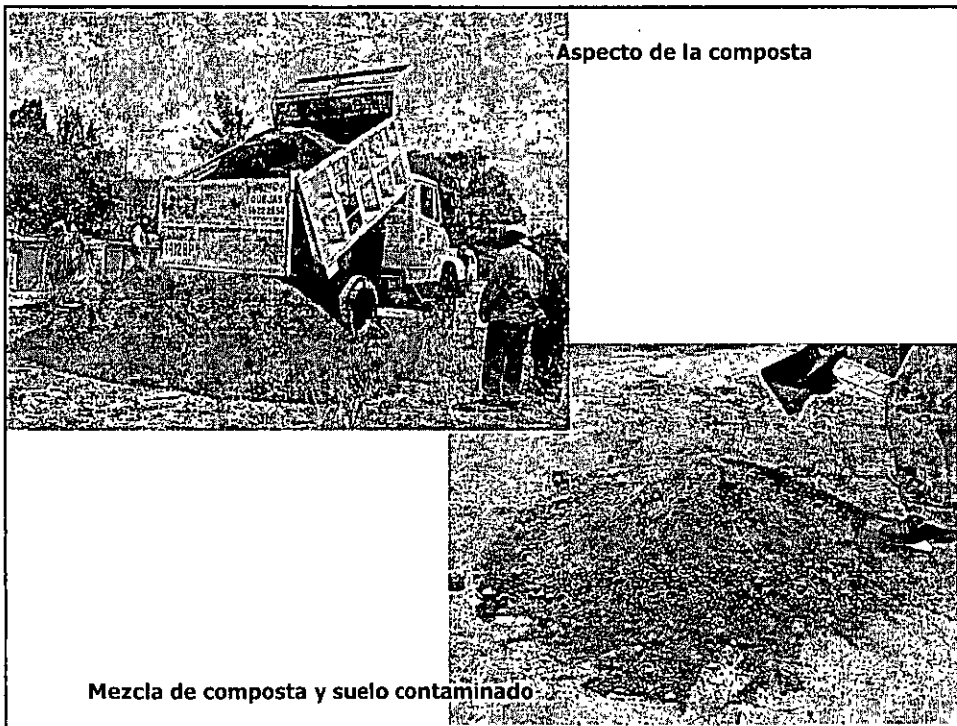


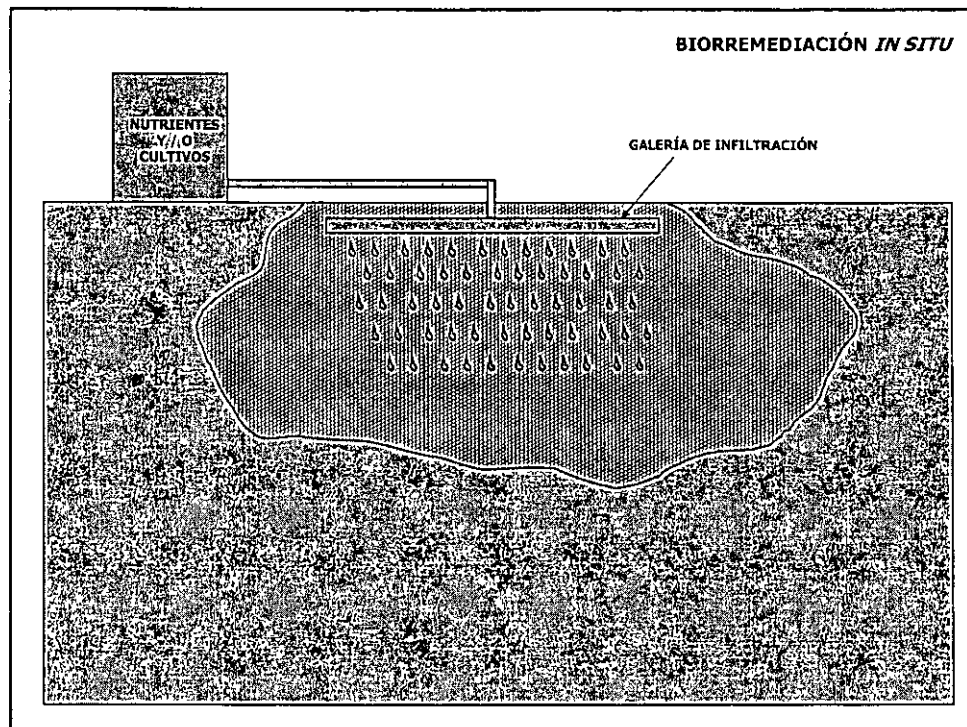
REACTORES



Ventajas de la adición de composta:

- ✓ **adsorbe los hidrocarburos volátiles presentes**
- ✓ **reduce las emisiones a la atmósfera ocasionadas involuntariamente por el movimiento del material**
- ✓ **limita la generación de lixiviados por su alta capacidad de retención de líquidos**
- ✓ **mejora la textura del material, permitiendo un mejor intercambio de gases**
- ✓ **contiene flora microbiana nativa muy activa y permite la adhesión de bacterias externas**
- ✓ **contiene nutrientes naturales que estimulan la actividad microbiana**





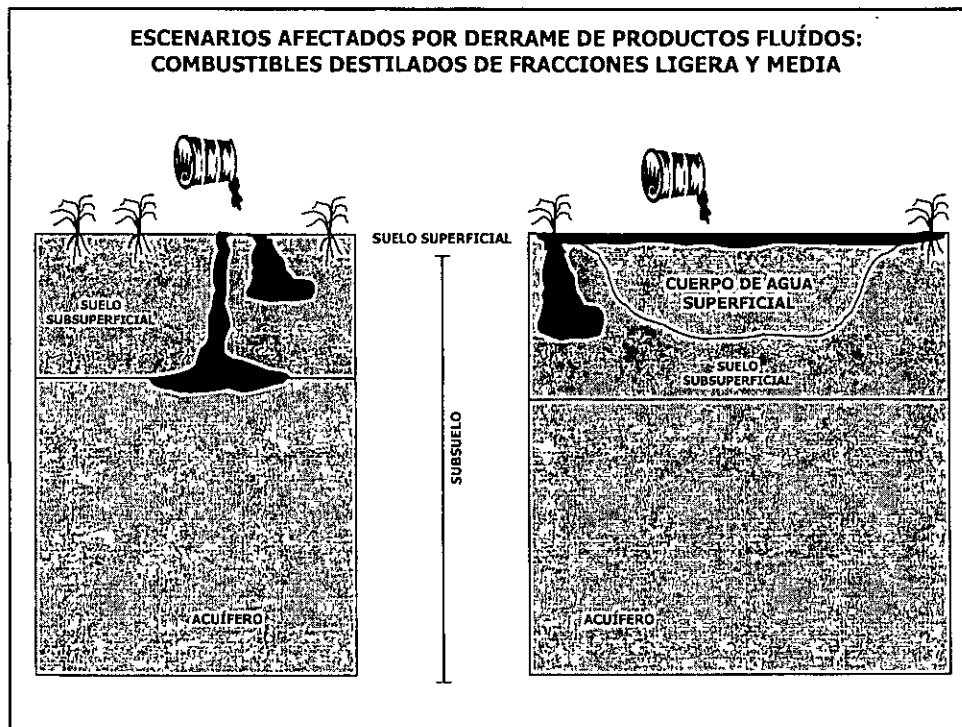
APLICACIONES DE LA BIORREMEDIACIÓN

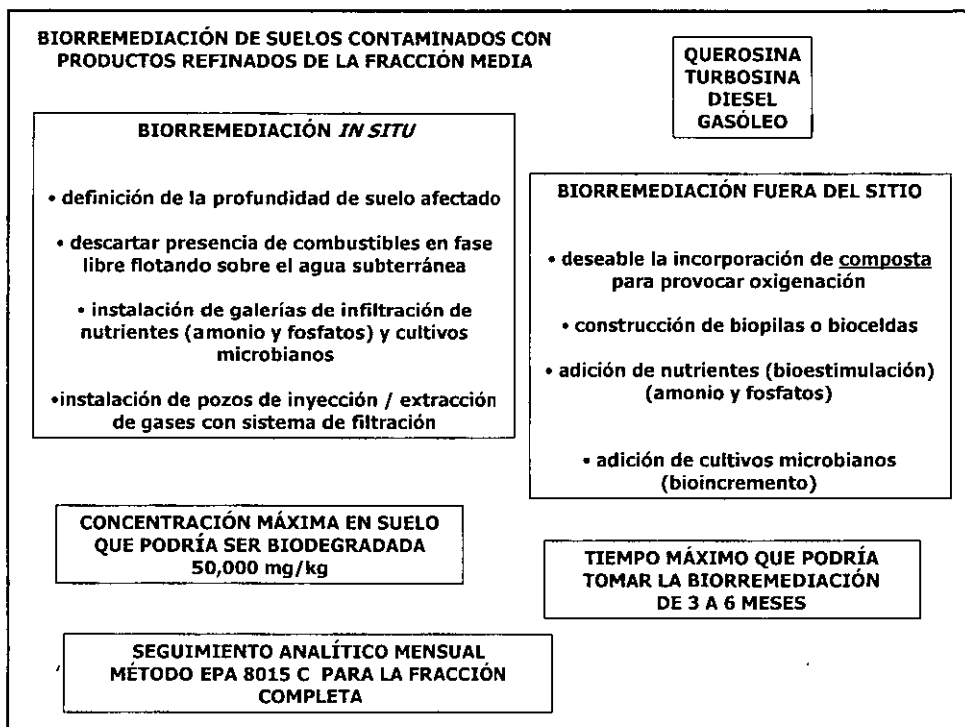
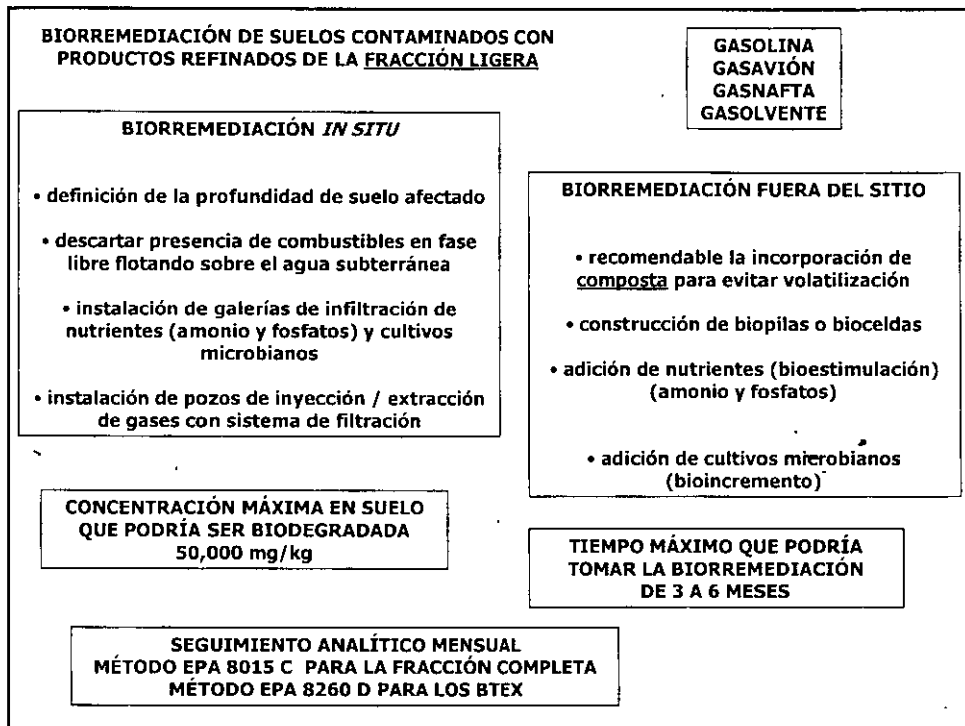
Según el tipo de contaminantes

- ✓ **Hidrocarburos de fracción ligera**
- ✓ **Hidrocarburos de fracción media**
- ✓ **Hidrocarburos de fracción pesada**

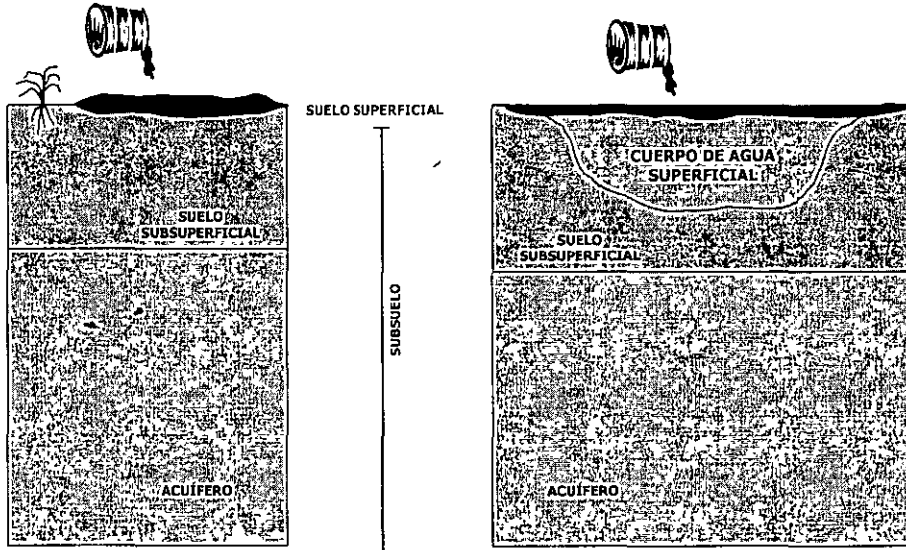
PRODUCTOS REFINADOS	FRACCIÓN	POSIBILIDADES DE BIODEGRADACIÓN
GASOLINA	LIGERA	MUY BUENAS (100%), AUNQUE SE DA NATURALMENTE PÉRDIDA POR VOLATILIZACIÓN
GASAVIÓN		
GASNAFTA		
GASOLVENTE		
QUEROSINA	MEDIA	MUY ALTAS (100%)
TURBOSINA		
DIESEL		
GASÓLEO		
ACEITES	PESADA	REGULARES (50%)
COMBUSTÓLEO		MUY BAJAS (<20%)
ASFALTO		NINGUNA
PETRÓLEO CRUDO		REGULARES (MÁX. 60%)

El sobrecalentamiento genera hidrocarburos muy complejos, por ejemplo los poliaromáticos →





**ESCENARIOS AFECTADOS POR DERRAME DE PRODUCTOS VISCOSOS:
CRUDO, COMBUSTÓLEO, ACEITES, DESECHOS PETROLEROS**



**BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
CON PETRÓLEO CRUDO**

BIORREMEDIACIÓN *IN SITU*

- poco recomendable

CONCENTRACIÓN MÁXIMA EN SUELO
QUE PODRÍA SER BIODEGRADADA
HASTA EN UN 60% DE LA
CONCENTRACIÓN ORIGINAL
50,000 mg/kg

SEGUIMIENTO ANALÍTICO MENSUAL
MÉTODO EPA 418.1 Y SI SE DESEA APRECIAR
CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN EPA 8015 C

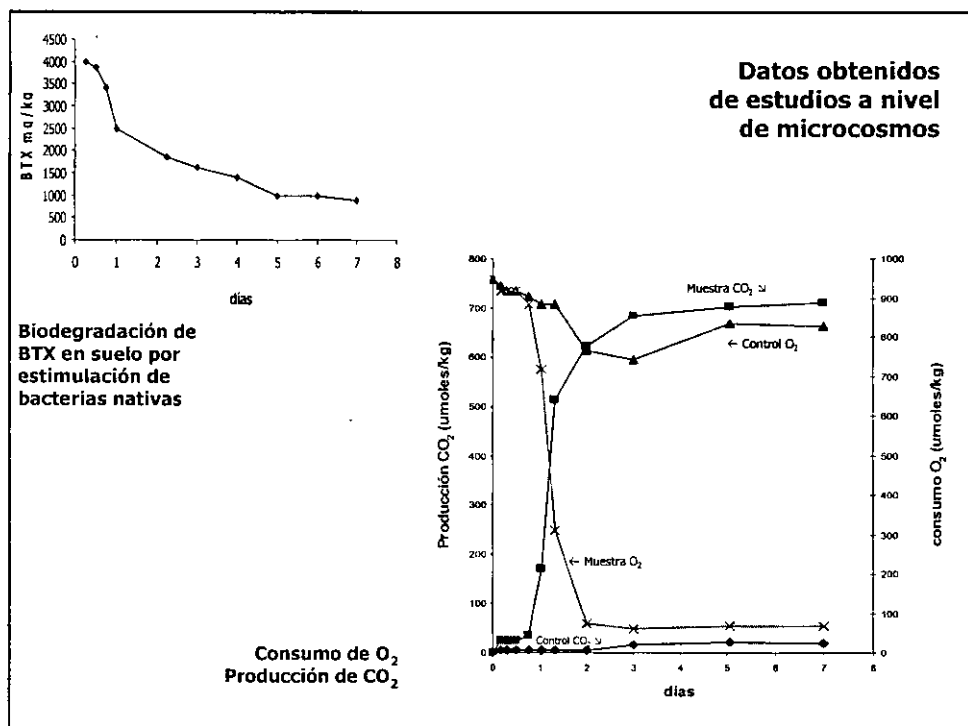
BIORREMEDIACIÓN FUERA DEL SITIO

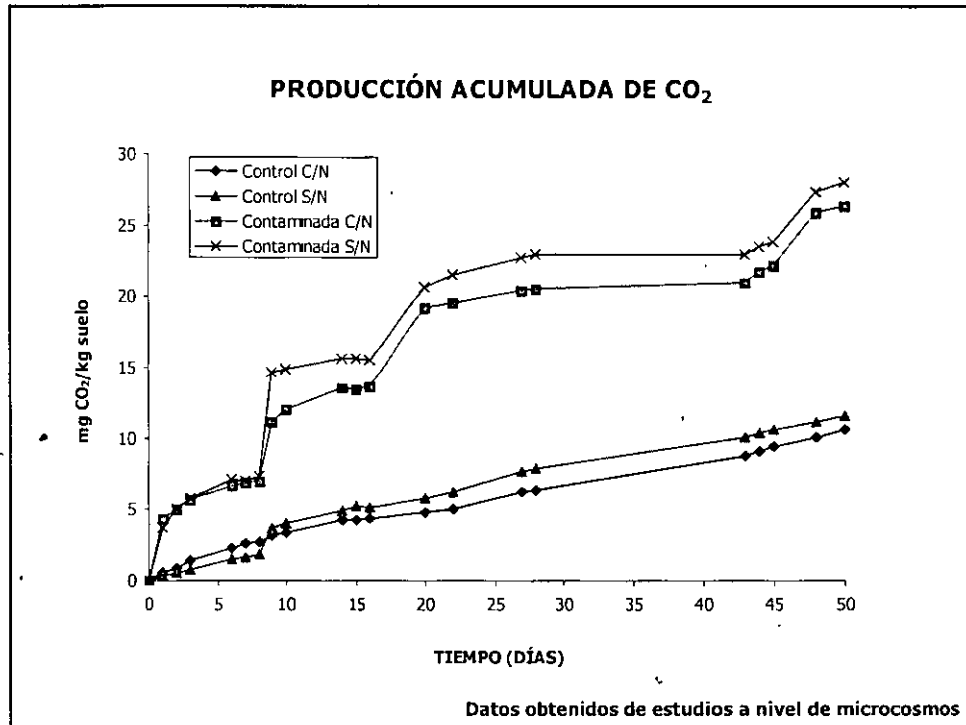
- deseable la incorporación de composta para facilitar el movimiento y provocar oxigenación
 - biocultivo (land-farming)
- adición controlada de agentes tensoactivos
- adición de nutrientes (bioestimulación) (amonio y fosfatos)
- adición de cultivos microbianos (bioincremento)

TIEMPO MÁXIMO QUE PODRÍA
TOMAR LA BIORREMEDIACIÓN
POR LO MENOS UN AÑO

PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO EN UNA BIORREMEDIACIÓN

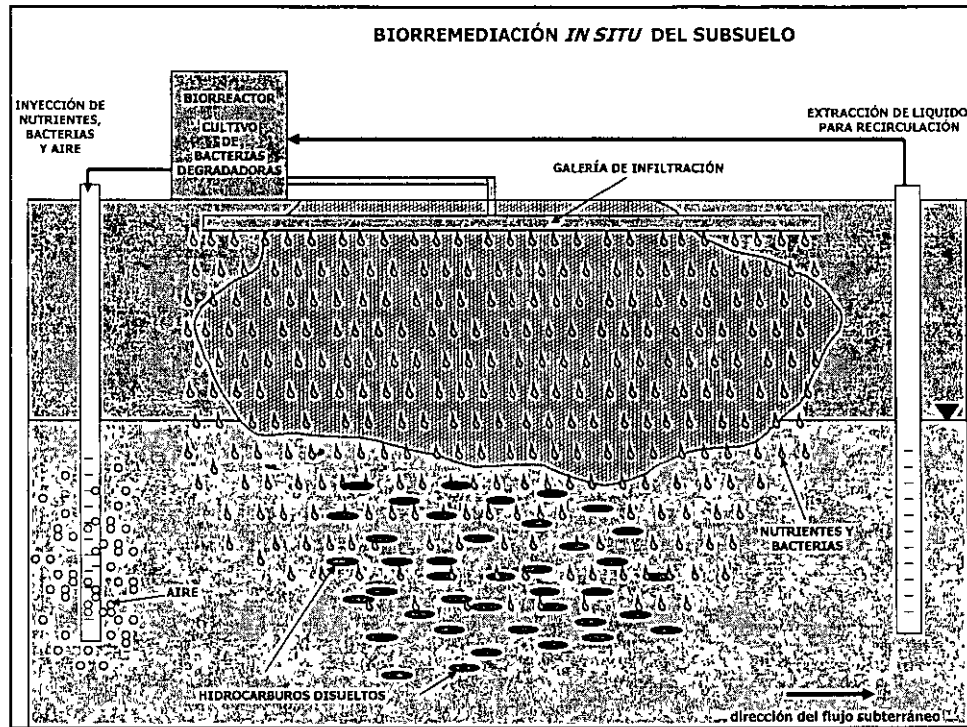
- contaminantes residuales
 - consumo de nutrientes
 - variación del pH
 - porcentaje de humedad
 - proporción de bacterias
 - producción de CO_2
 - consumo de oxígeno





Cuando la contaminación con productos de fracciones ligera y media, se encuentra en el suelo subsuperficial y algunos hidrocarburos están disueltos en el agua subterránea los principales retos son la disponibilidad de nutrientes y de oxígeno.

La descripción de las alternativas teóricas existe, pero en México aún no se han llevado a la práctica debido al riesgo que implica su aplicación.



RECOMENDACION

Cuando existe afectación al acuífero debido a la presencia de producto libre flotando sobre el nivel estático, no podrá aplicarse biorremediación,

primero procede una remediación física que consiste en la extracción del producto libre, seguida de su separación del agua subterránea

DESVENTAJAS DE LA BIORREMEDIACIÓN.

- **largos tiempos de tratamiento**
 - **difícil en materiales geológicos impermeables**
 - **susceptible a la presencia de inhibidores**
 - **difícil degradación de compuestos altamente clorados**
-



Un suelo contaminado adicionado de cal constituye un ambiente poco propicio para el desarrollo microbiano: aumenta el pH y reduce la disponibilidad de agua

ATENUACIÓN NATURAL

ATENUACIÓN NATURAL

DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES
EN SUELO Y SUBSUELO POR EFECTO DE LAS CONDICIONES NATURALES
DEL SITIO, ESPECIALMENTE DE LA **FLORA NATIVA**

MEDIANTE LA UTILIZACIÓN EN CASCADA
DE LOS DIFERENTES
ACEPTORES DE ELECTRONES DISPONIBLES:

- ✓ Oxígeno
- ✓ Nitratos
- ✓ Ion férrico
- ✓ Sulfatos
- ✓ 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

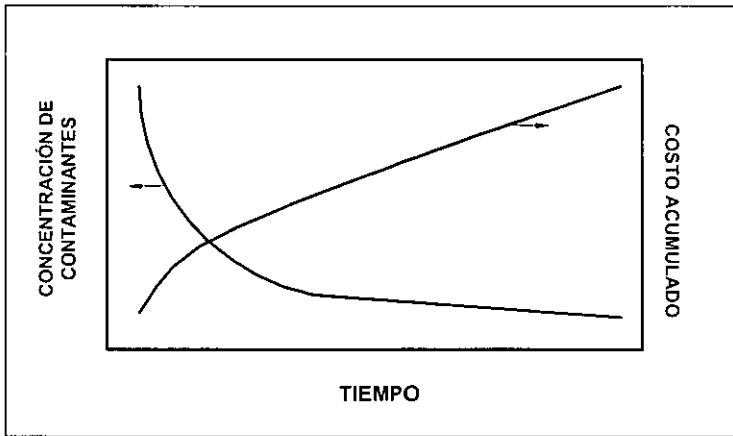
ATENUACIÓN NATURAL: Monitoreo periódico a largo plazo

√ 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

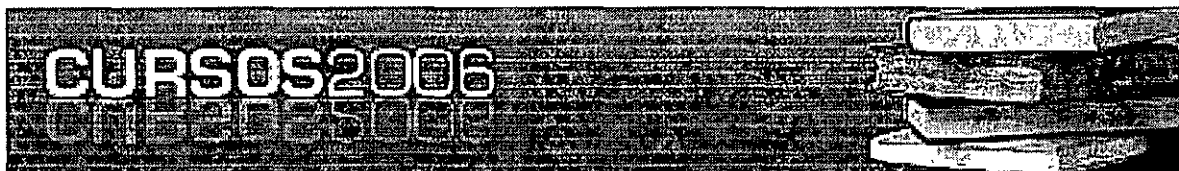


COMPORTAMIENTO DE LA REMEDIACIÓN DE UN SUELO CONTAMINADO

ssavalb@iingen.unam.mx



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA

OTRAS TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN
PARA SUELOS CONTAMINADOS
CON HIDROCARBUROS

EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

OTRAS TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM

TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN MÁS UTILIZADAS EN MÉXICO

Remediación de suelo superficial <i>in situ</i>	Remediación de suelo fuera del sitio	Remediación de suelo profundo y agua subterránea <i>in situ</i>
oxidación química biorremediación encapsulamiento solidificación y estabilización extracción de vapores atenuación natural	confinamiento incineración oxidación química biorremediación lavado (flushing) encapsulamiento estabilización	aislamiento y contención bombeo y tratamiento tratamiento de aguas subterráneas: <ul style="list-style-type: none"> • venteo • adsorción en carbón activado

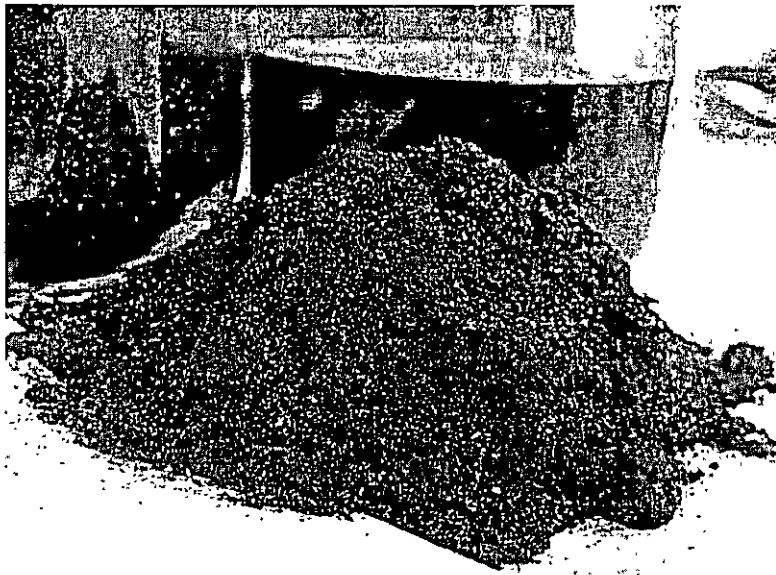
**OXIDACIÓN QUÍMICA
CON PERMANGANATO DE POTASIO O SODIO**

CONTAMINANTES ORGÁNICOS + KMnO_4



$\text{CO}_2 + \text{MnO}_2 + \text{K}^+ + \text{H}_2\text{O} + \dots$

Ejemplos de aplicación: hidrocarburos, disolventes clorados



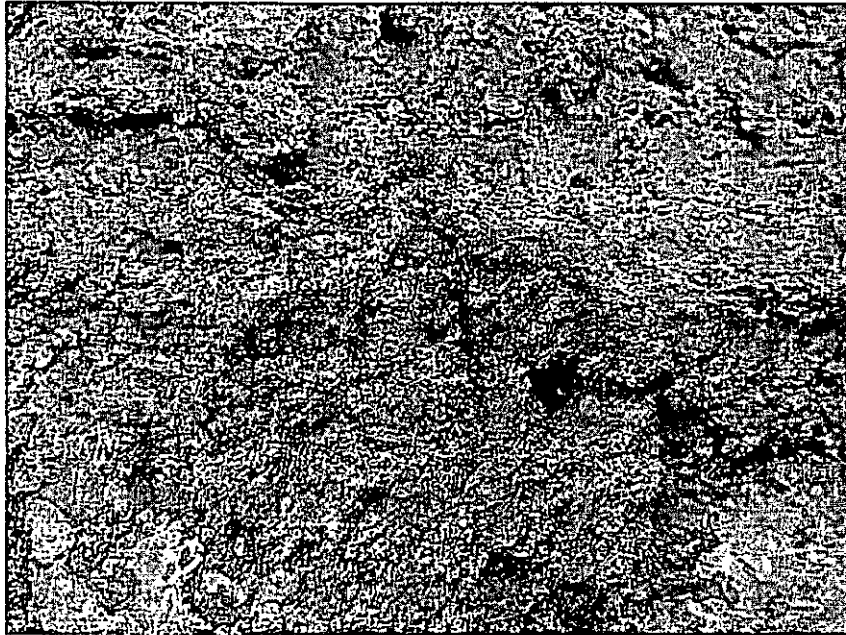
Aspecto del permanganato de potasio

REQUERIMIENTOS DE OXIDANTE

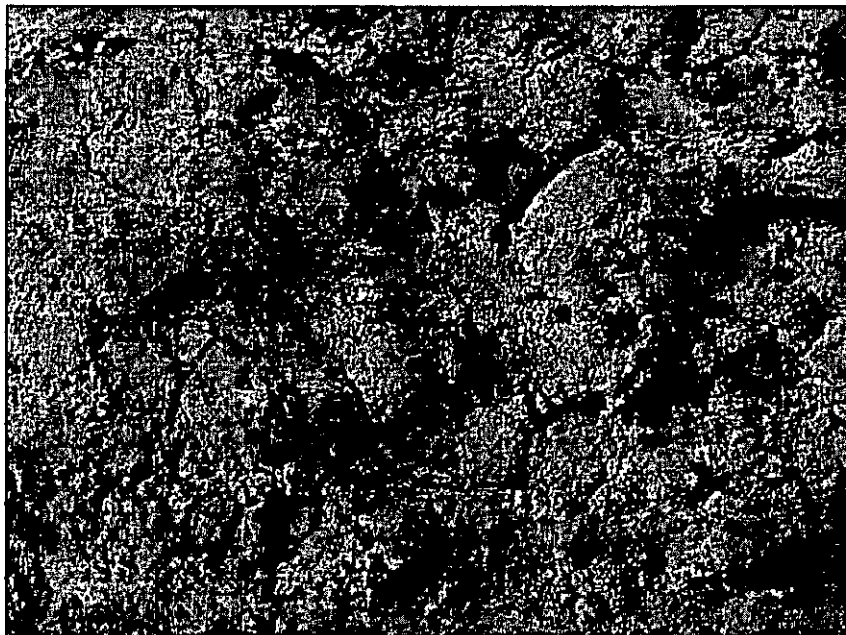
Sustancia	Formula condensada	g MnO_4^- / g sustancia	g MnO_2 / g sust. oxidada
Naftaleno	$C_{10}H_8$	14.8	10.8
Fenantreno	$C_{14}H_{10}$	14.7	10.7
Pireno	$C_{10}H_{10}$	14.5	10.6
Tricloroetileno	C_2Cl_3H	1.81	1.32
Fenol	C_6H_5OH	11.8	8.62



Oxidación química a escala real

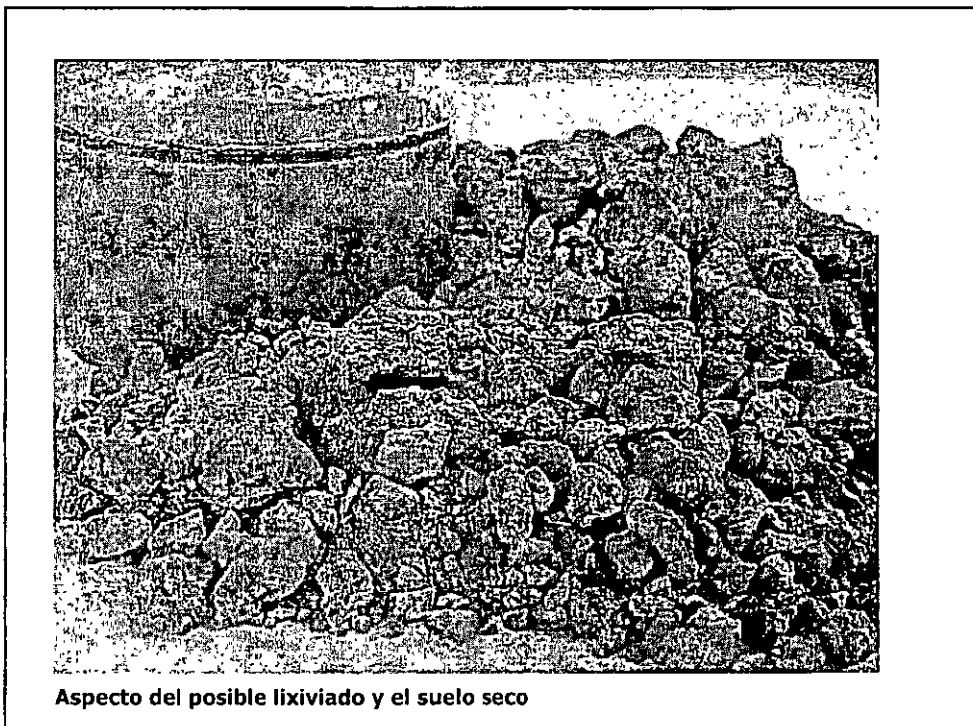


Reacción en proceso (repose)



Aspecto del suelo al final de la reacción





**OXIDACIÓN QUÍMICA CON
PERÓXIDO DE HIDRÓGENO**
(30 / 50%)

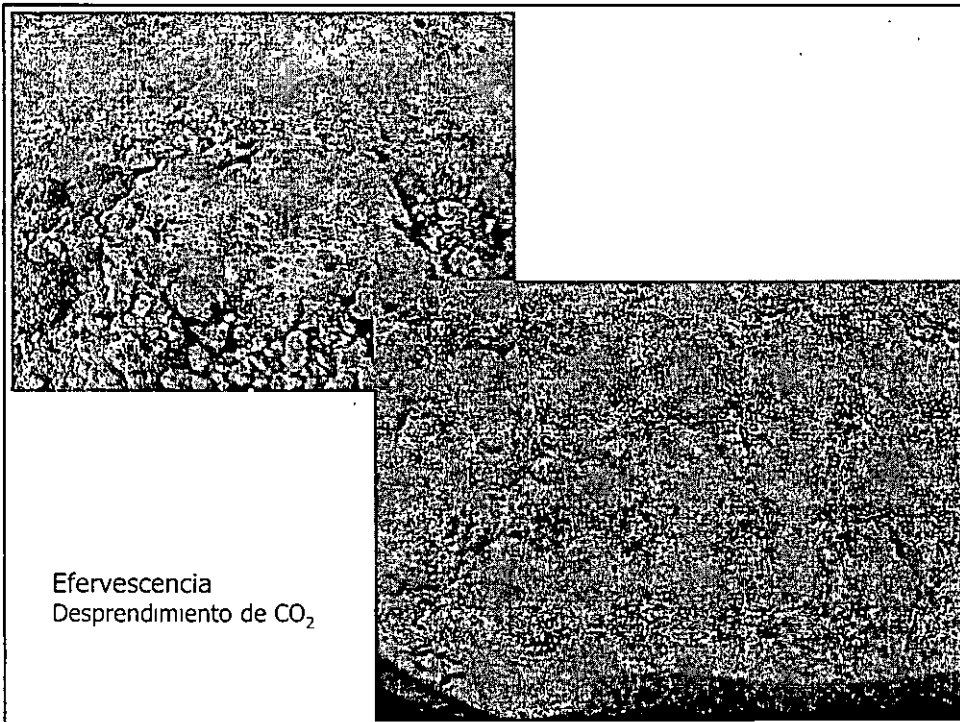
CONTAMINANTES ORGÁNICOS + H₂O₂



medio ácido, fierro

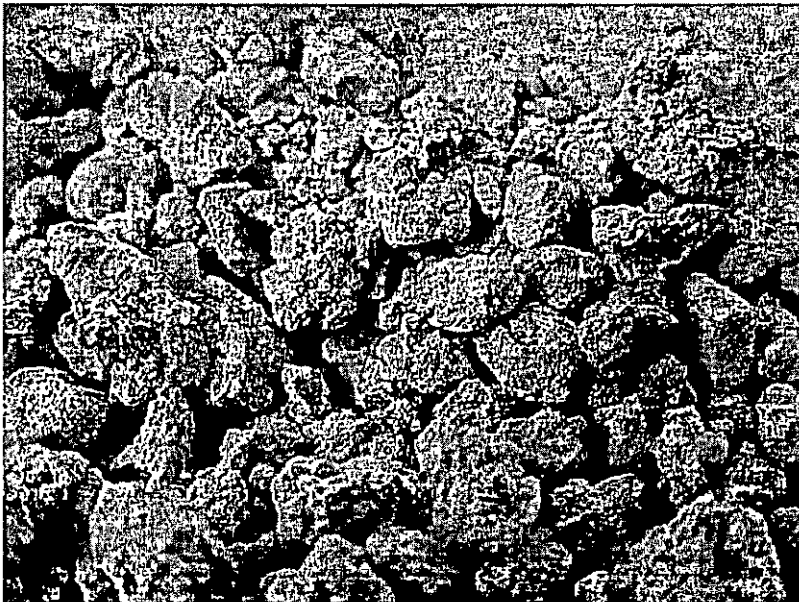
CO₂ + H₂O +

Ejemplos de aplicación: hidrocarburos, disolventes clorados

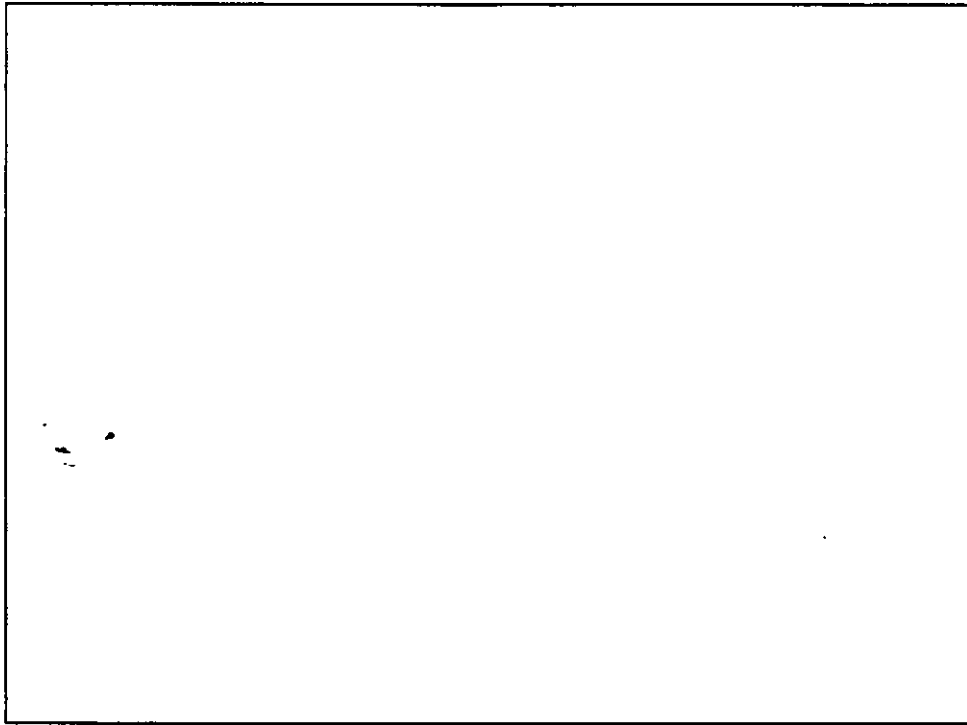




Inicio de la reacción (mezclado constante)

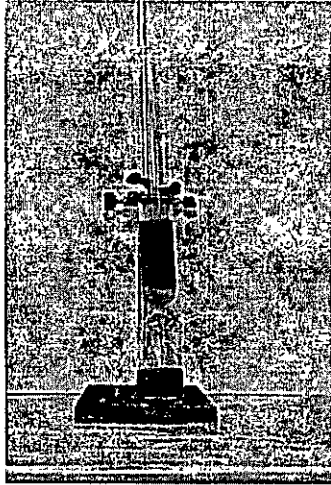


Aspecto del suelo al final de la reacción

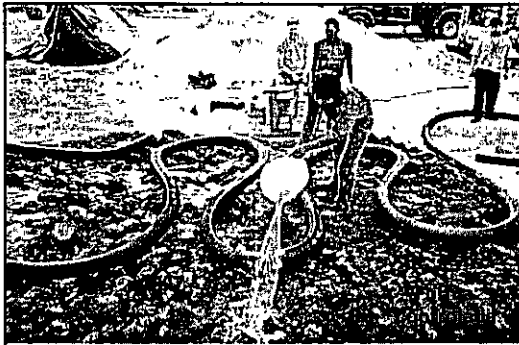
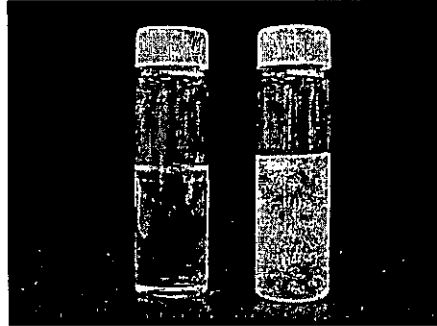


**LAVADO DE SUELOS
(FLUSHING)**

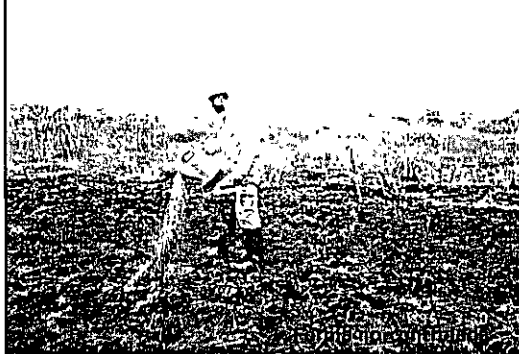
**Aplicación de agentes tensoactivos
para modificar la tensión
superficial y movilizar
contaminantes**

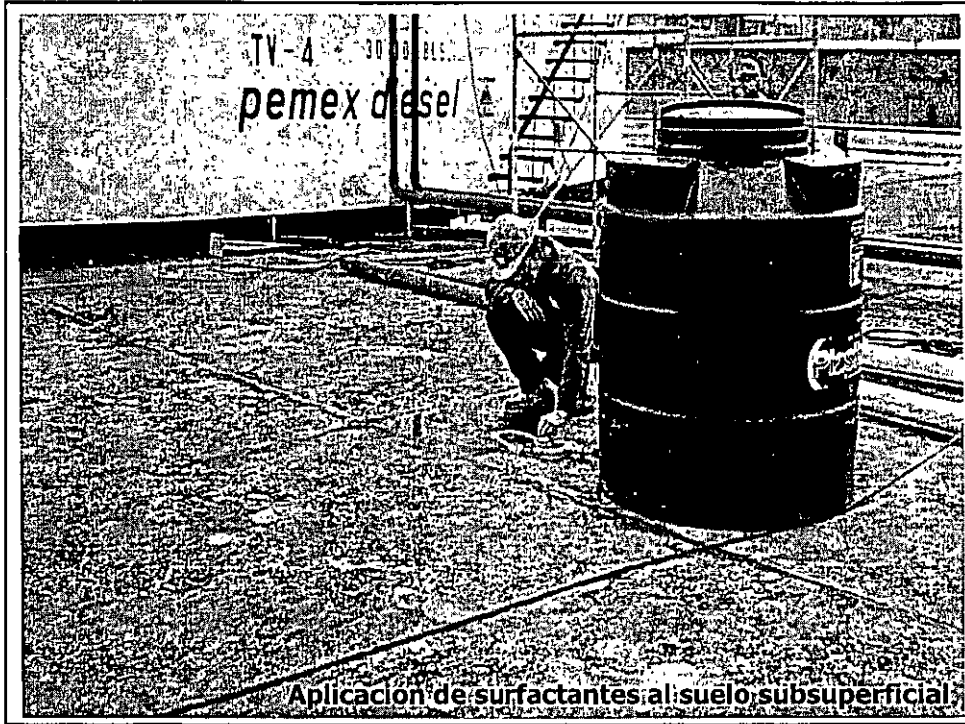


**Acción de los
agentes tensoactivos
sobre los
hidrocarburos**

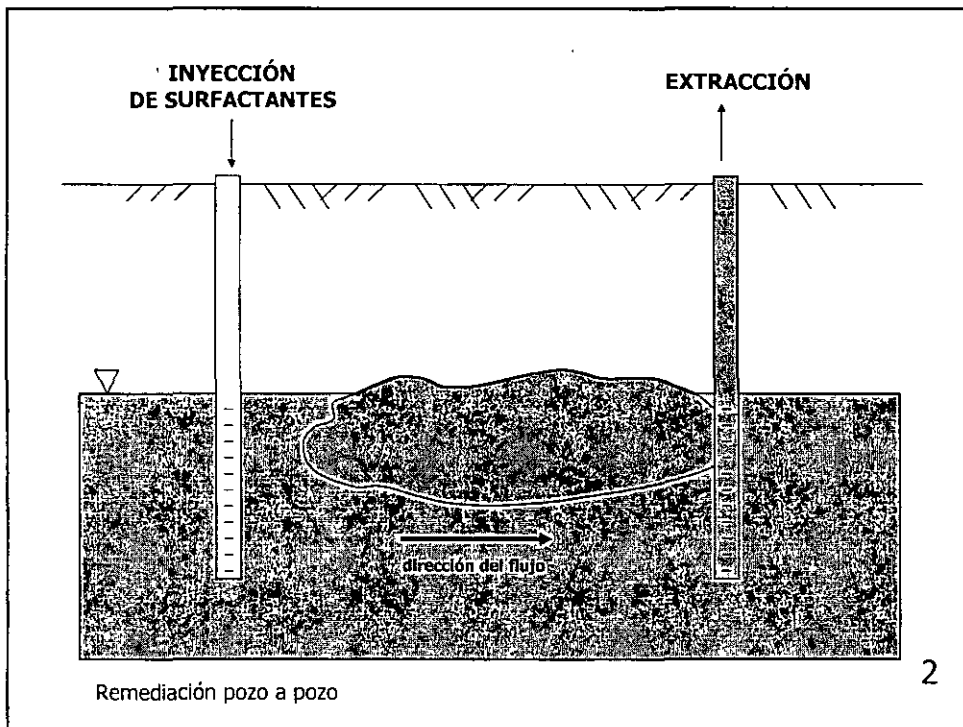
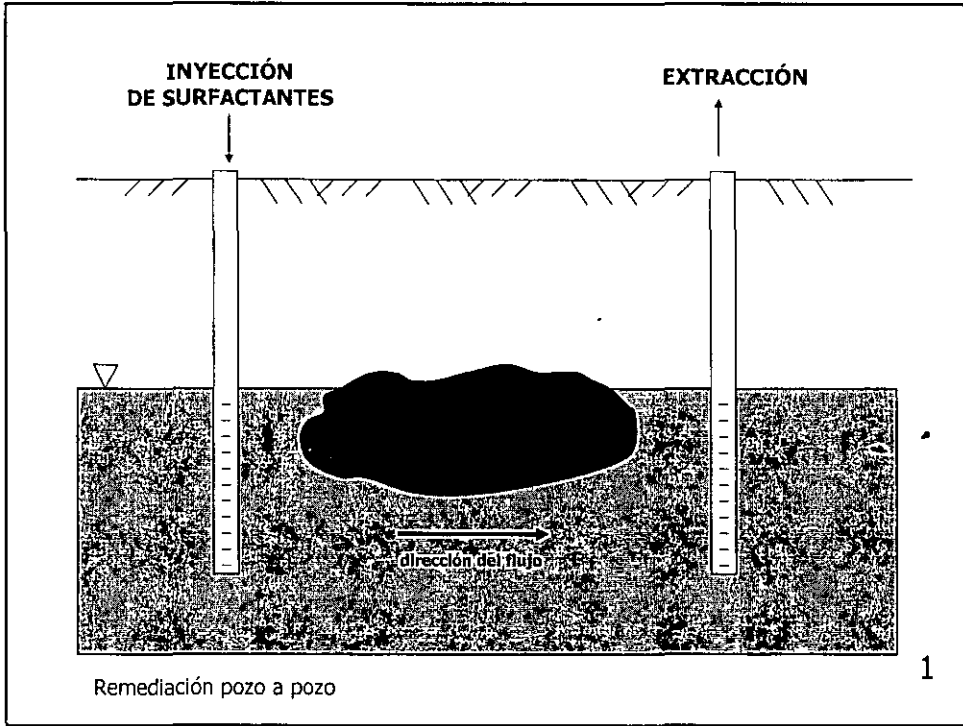


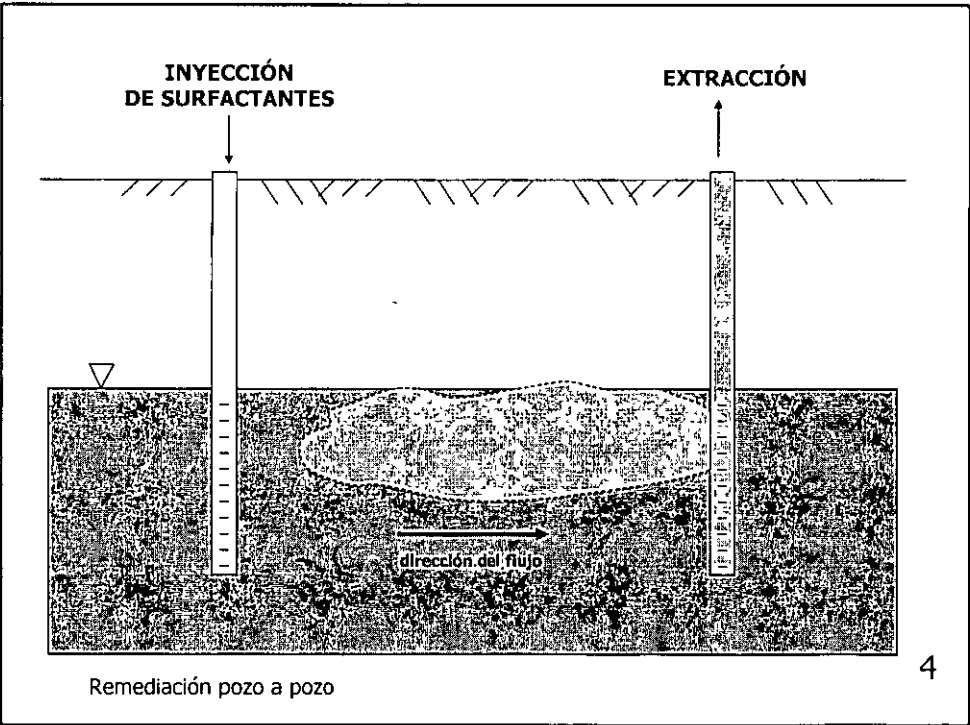
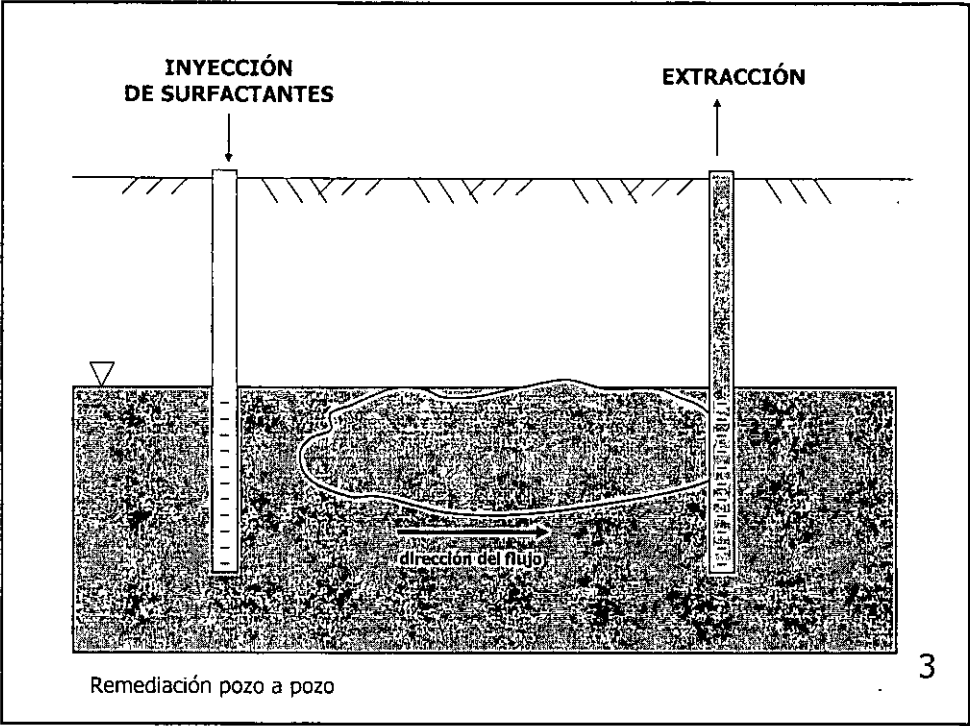
**APLICACIÓN
DE SURFACTANTES**

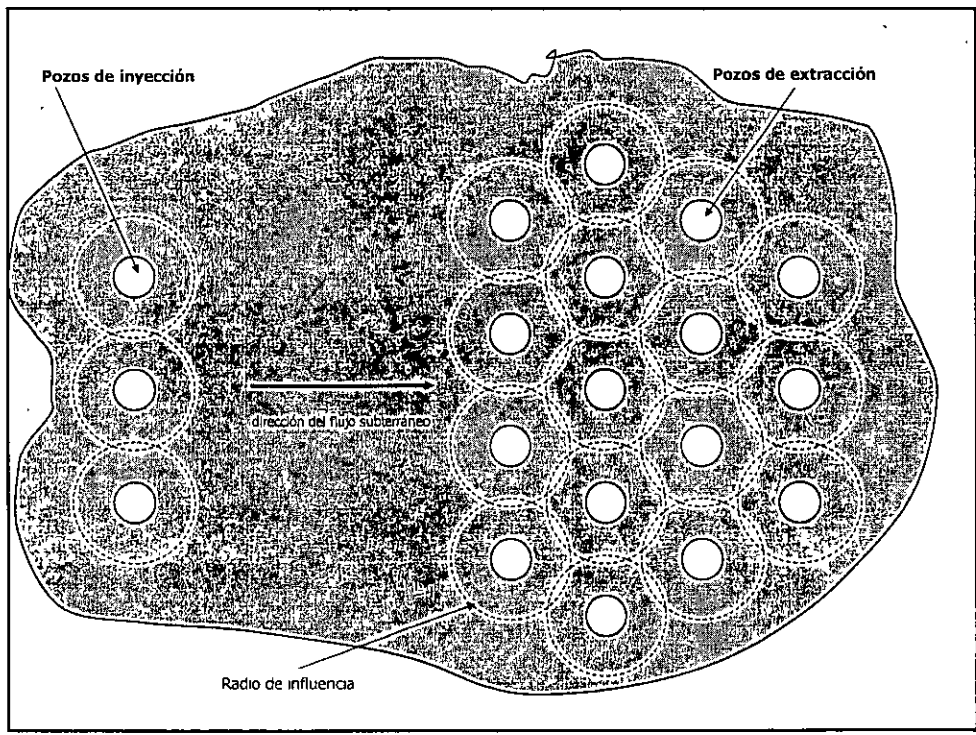
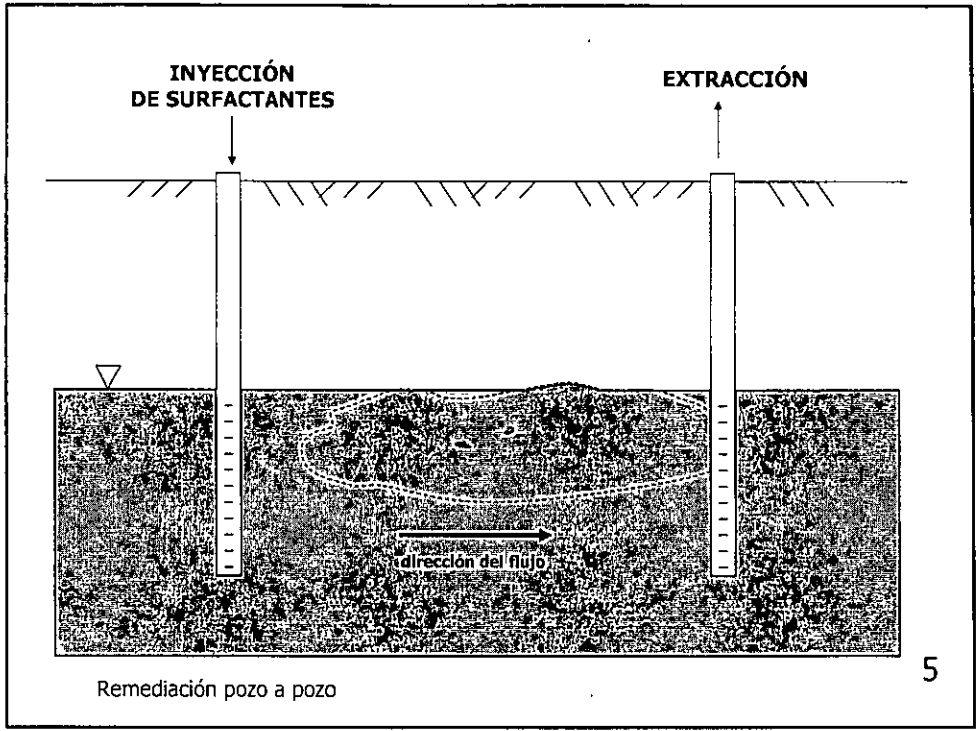




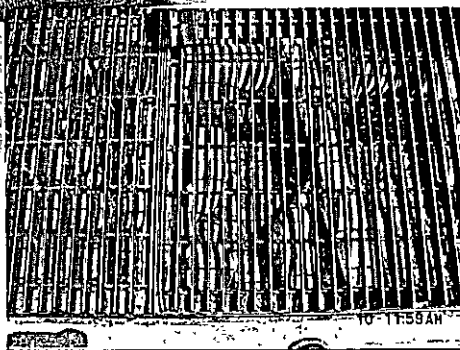
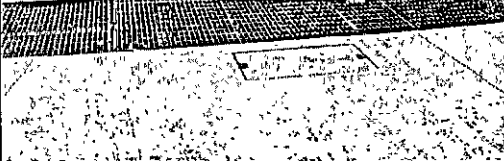
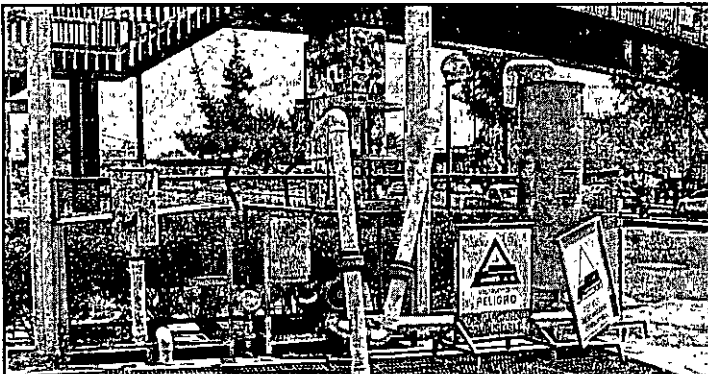
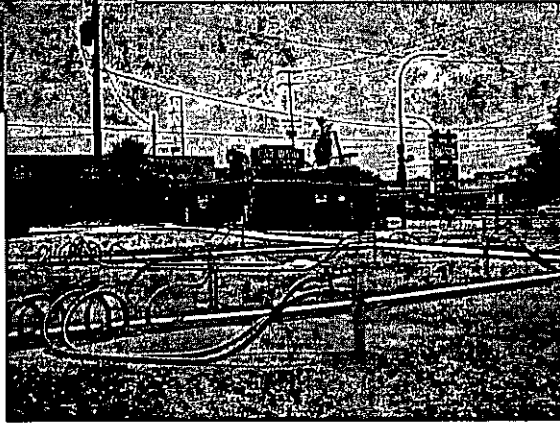
**Inyección de surfactantes
al subsuelo en gran
escala**



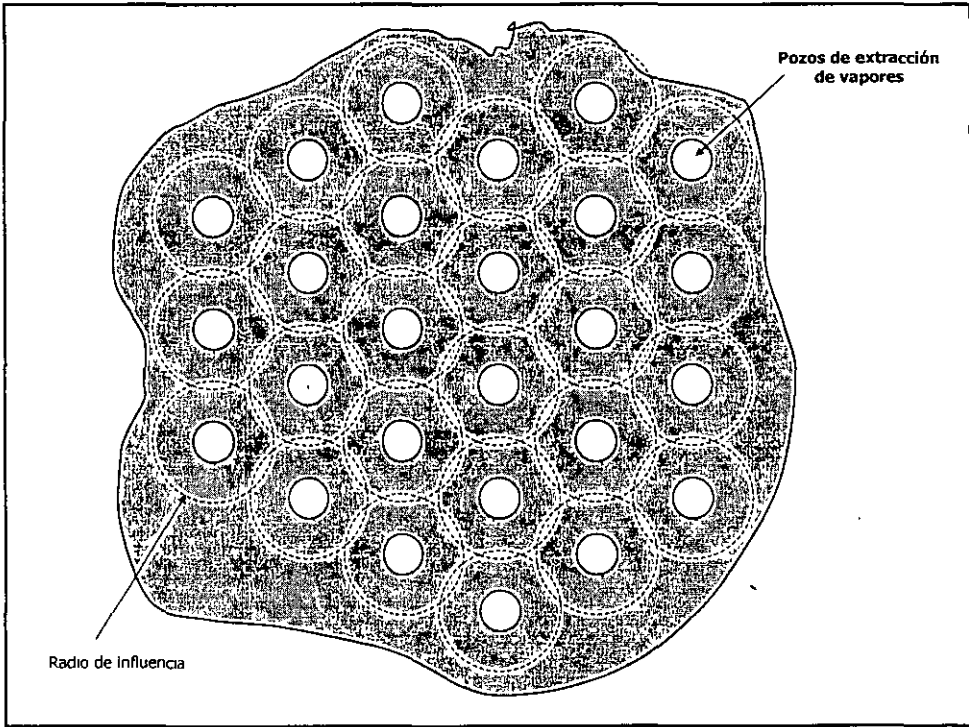
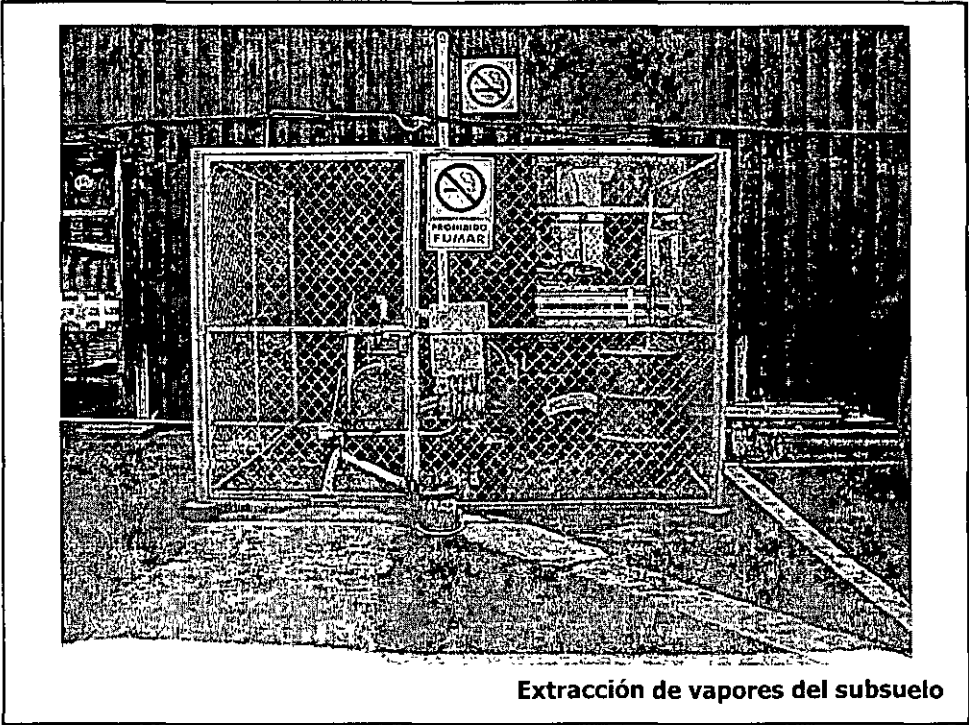


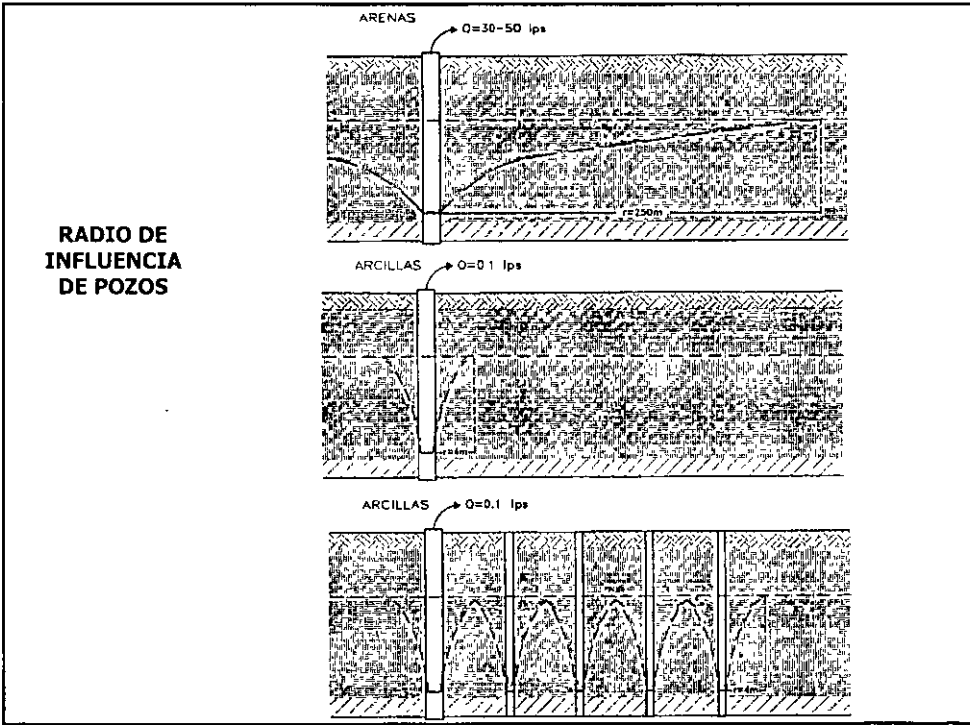
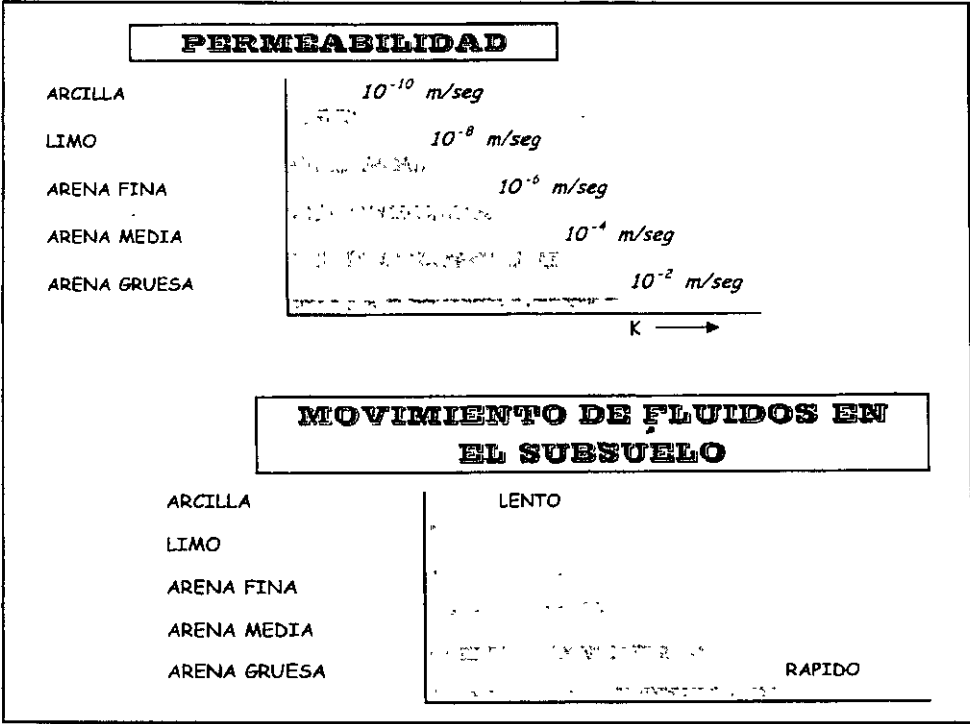


Extracción de vapores del subsuelo



Extracción de vapores del subsuelo

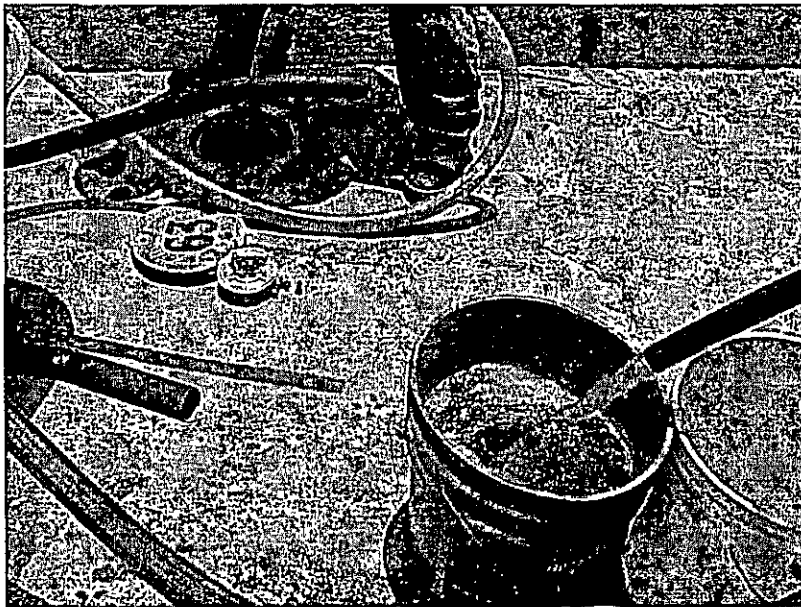


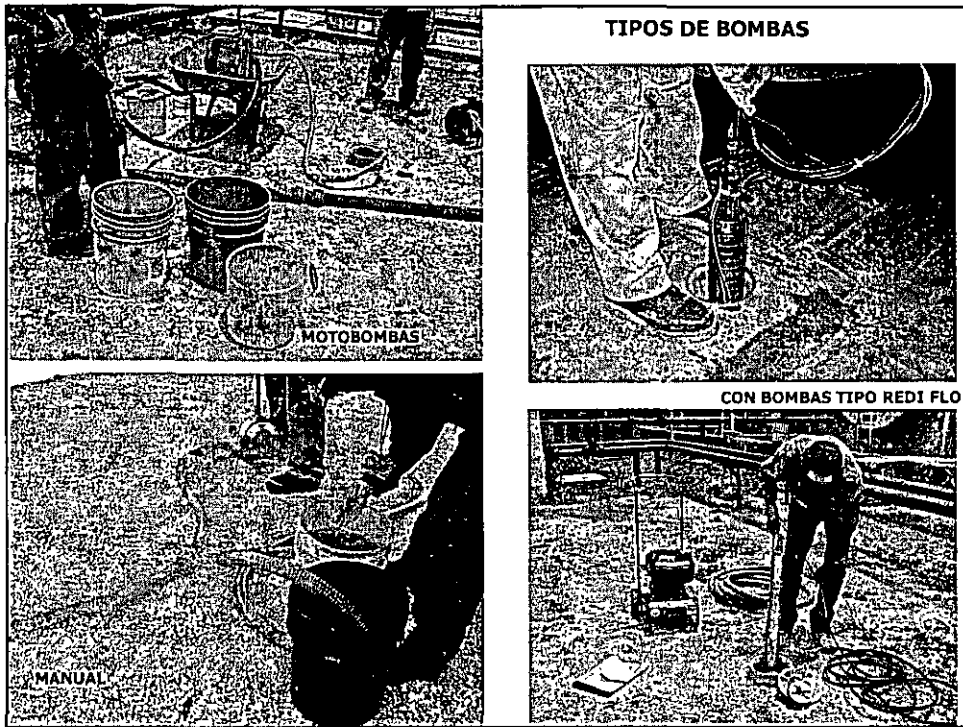


TÉCNICAS UTILIZADAS (Agua subterránea)

- **Extracción de producto libre**
(pozos / galerías)
- **Extracción de agua y tratamiento por venteo**
 - **Filtración**
 - **Coagulación / Floculación**
 - **Ozonización**
 - **Paredes permeables**

EXTRACCIÓN DE PRODUCTO LIBRE





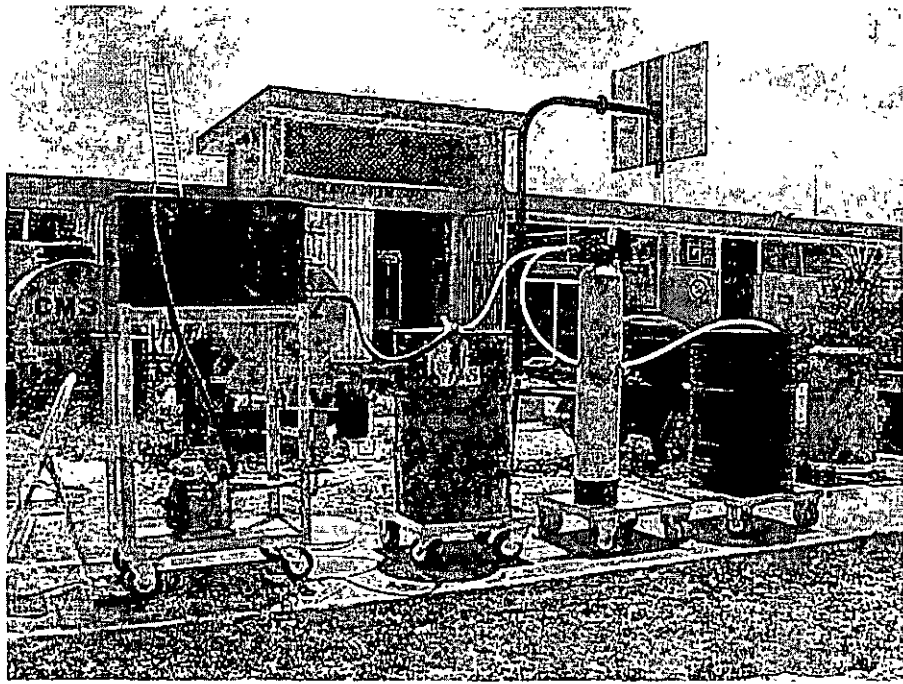
REMEDIACIÓN ACTIVA

VENTAJAS

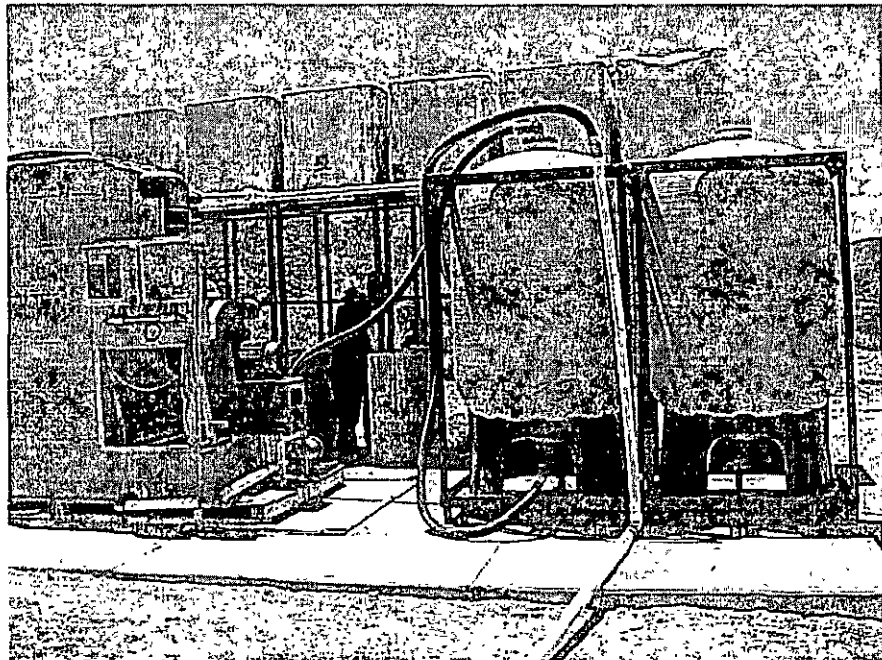
- ✓ Rápida extracción (tiempos cortos)
- ✓ Muy útil cuando existen espesores importantes

DESVENTAJAS

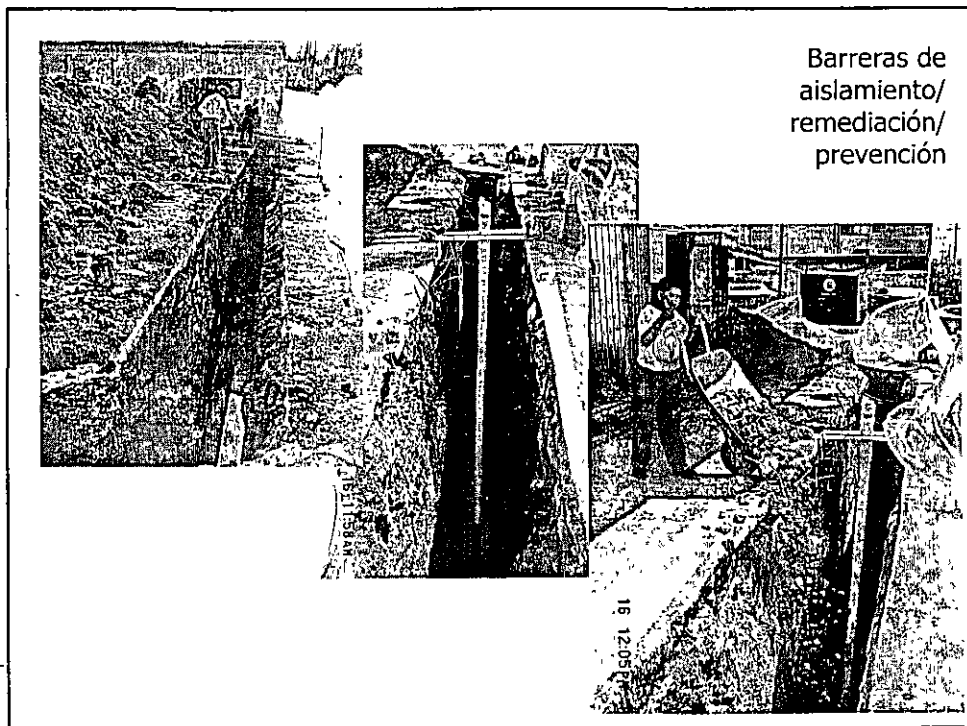
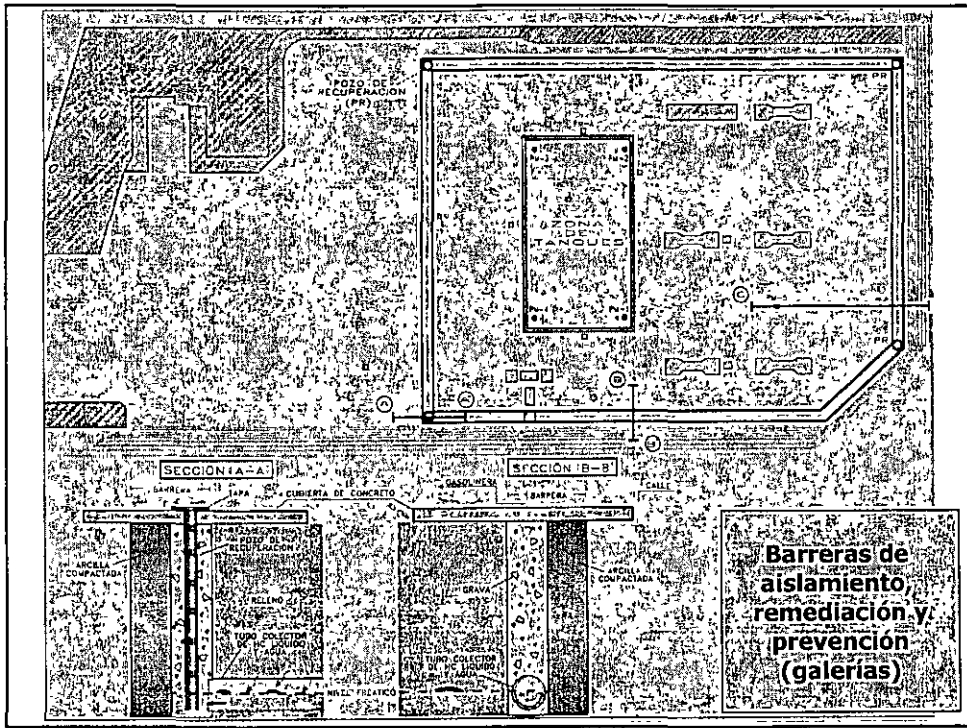
- ✓ Alto costo, mucha labor
- ✓ Rápido agotamiento de los pozos
- ✓ Extracción inminente de grandes volúmenes de agua
- ✓ Reinyección del agua al subsuelo previo tratamiento
- ✓ Lento goteo del combustible adsorbido en el suelo, hacia el acuífero



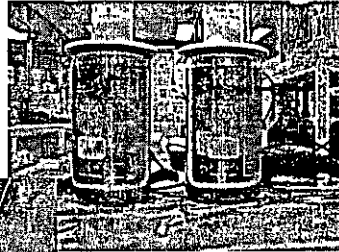
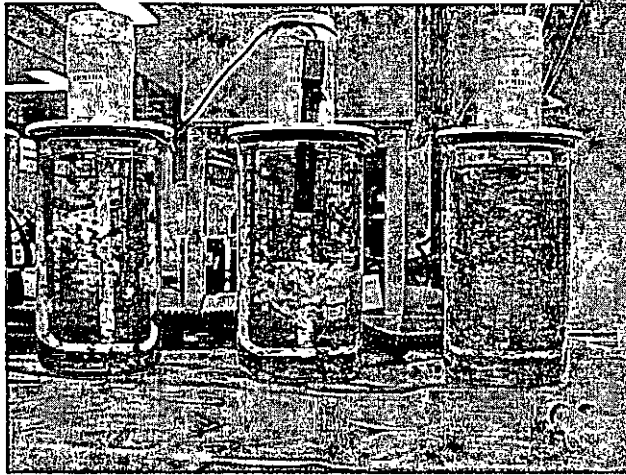
BOMBEO Y TRATAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA (FILTRACIÓN)



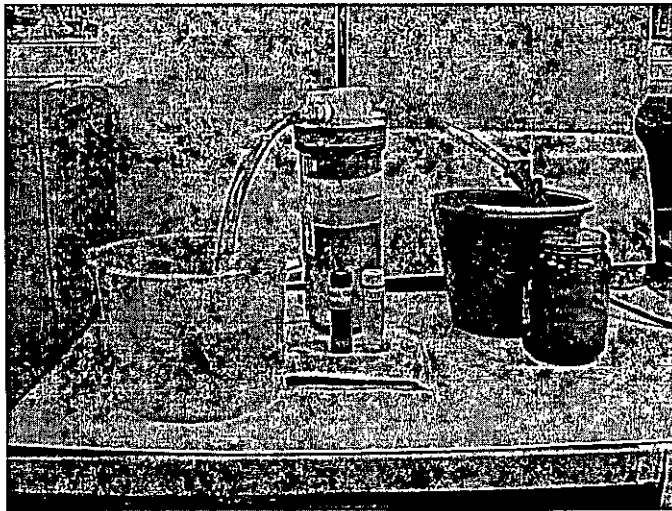
BOMBEO Y TRATAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA (VENTEO)

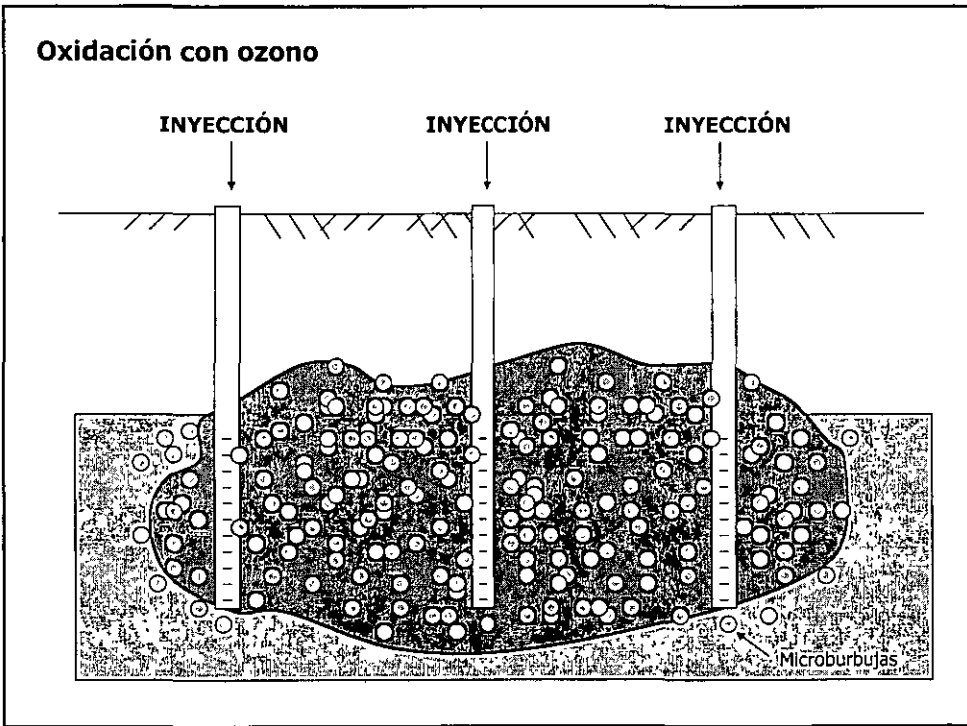
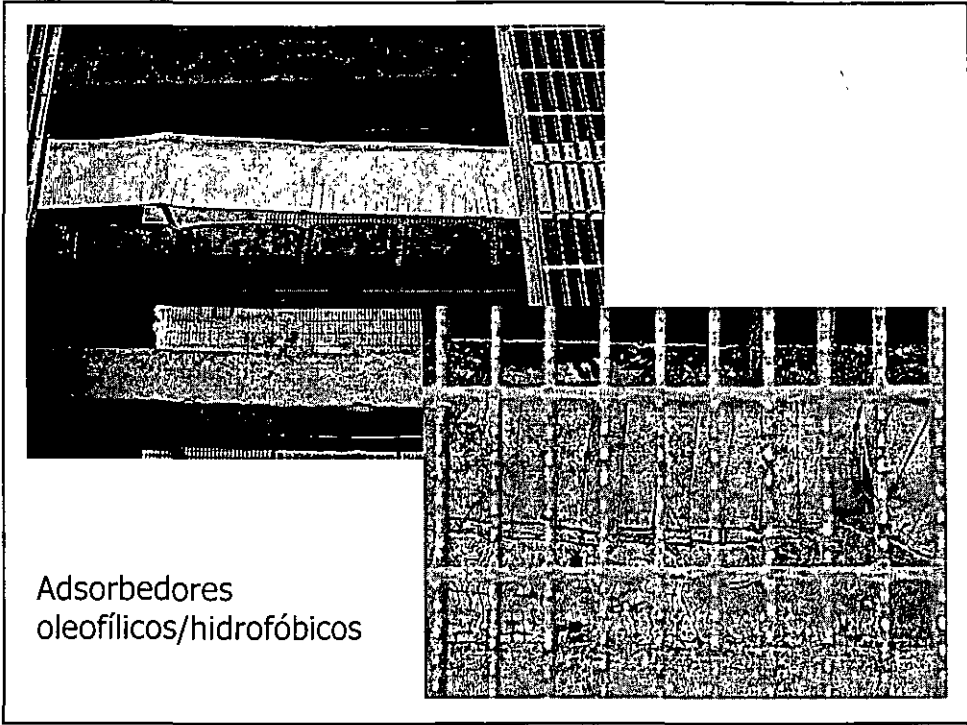


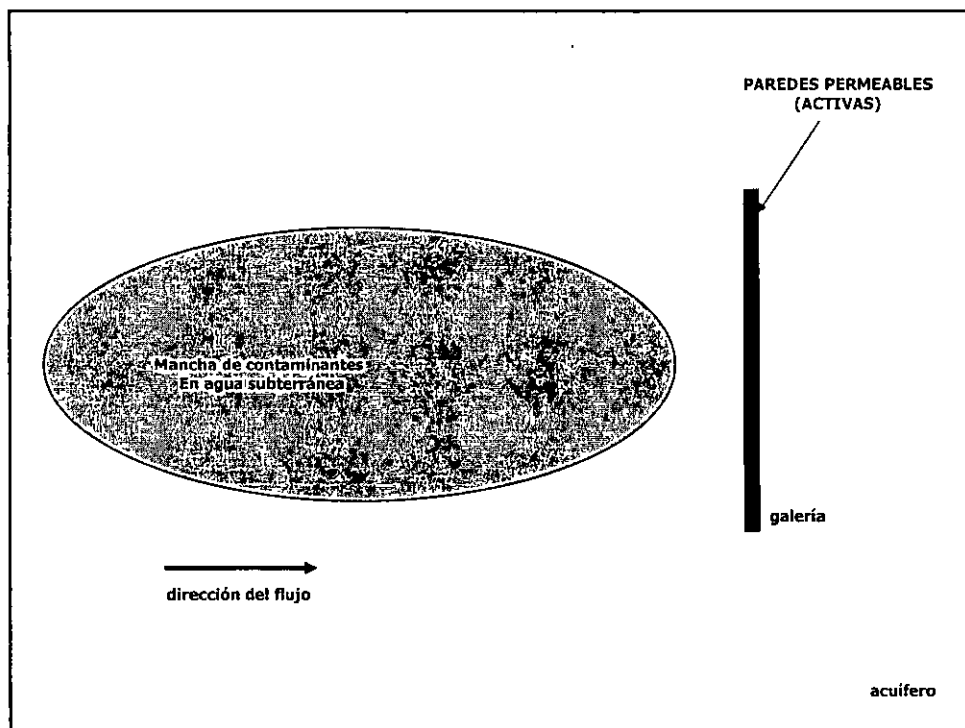
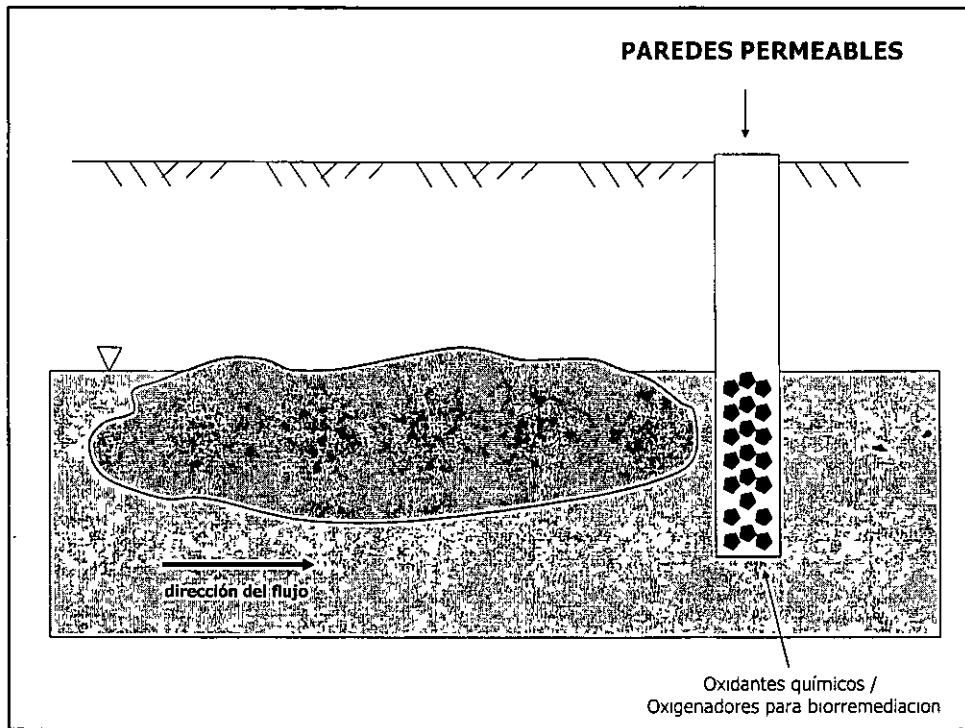
Coagulación - floculación

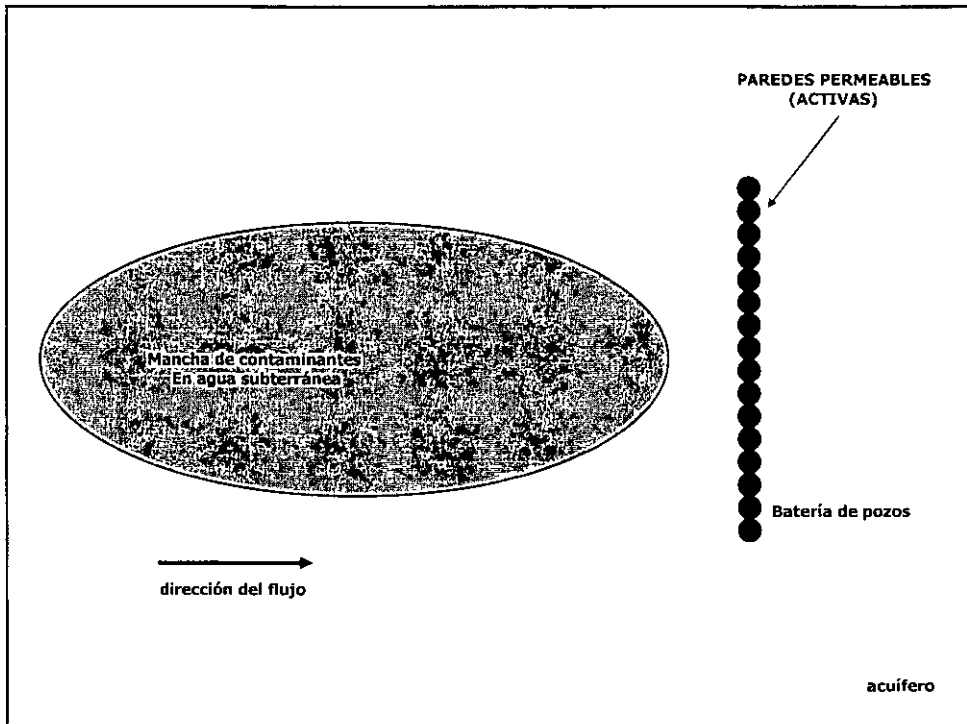


Filtros oleofílicos/hidrofóbicos









POSIBLES USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA SANEADA

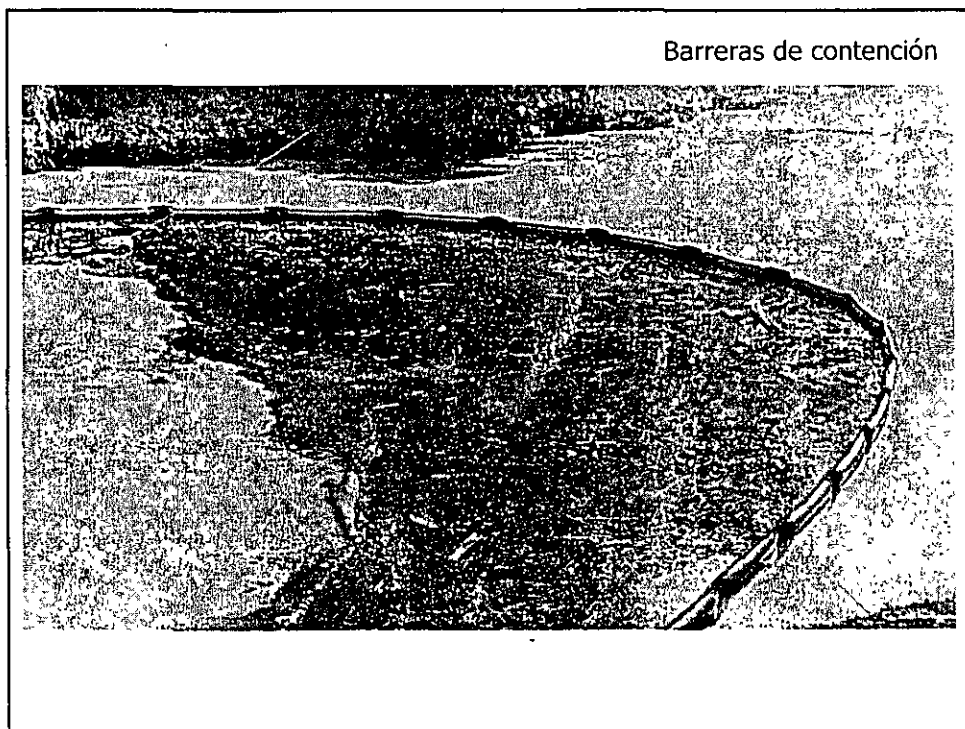
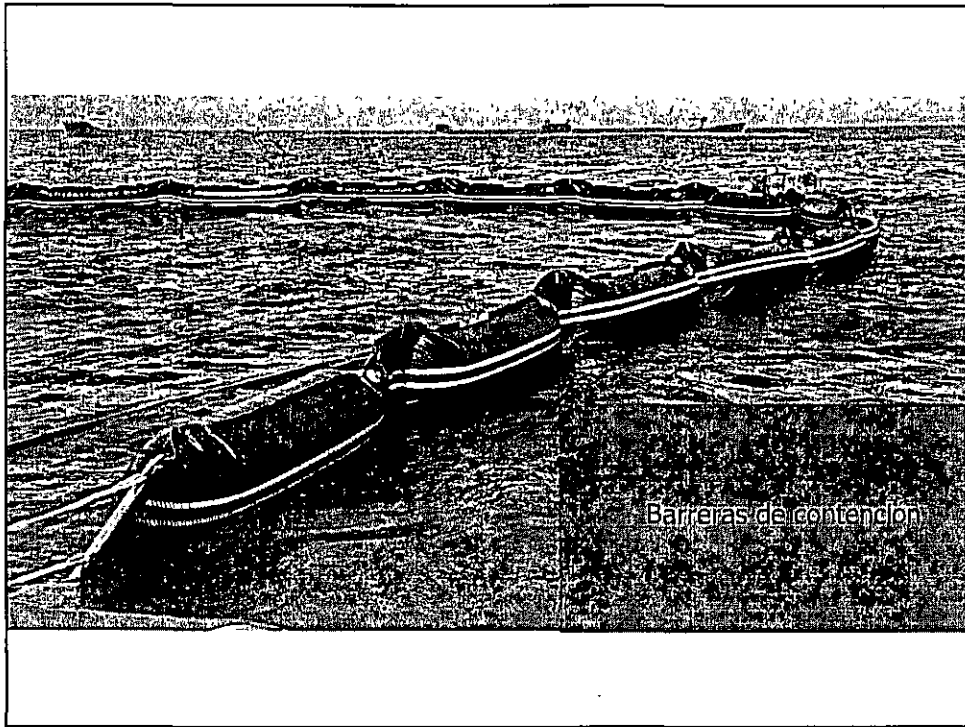
Reinyección al acuífero para mantener la estabilidad del terreno

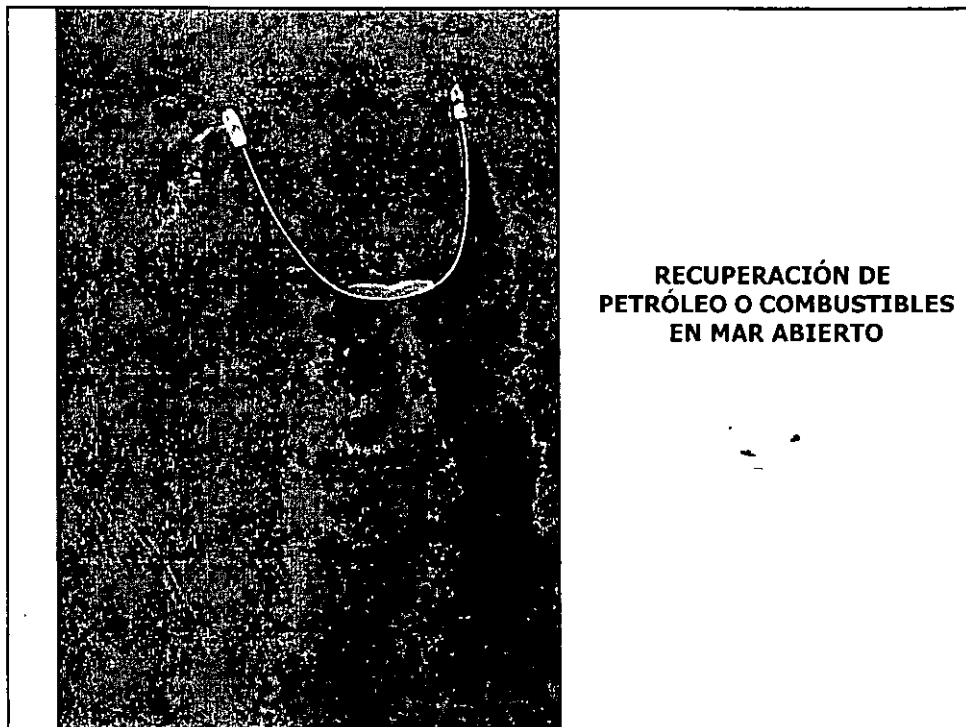
Riego ornamental

Uso urbano no-potable

Uso industrial o comercial

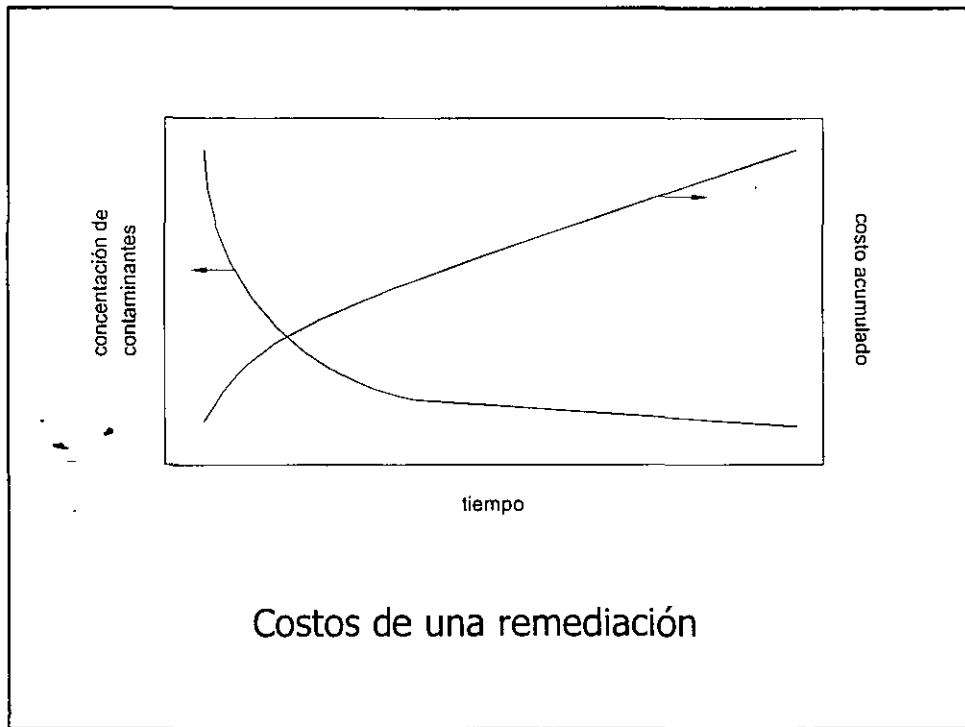
Nota Importante: verificar ausencia de trihalometanos después de la cloración





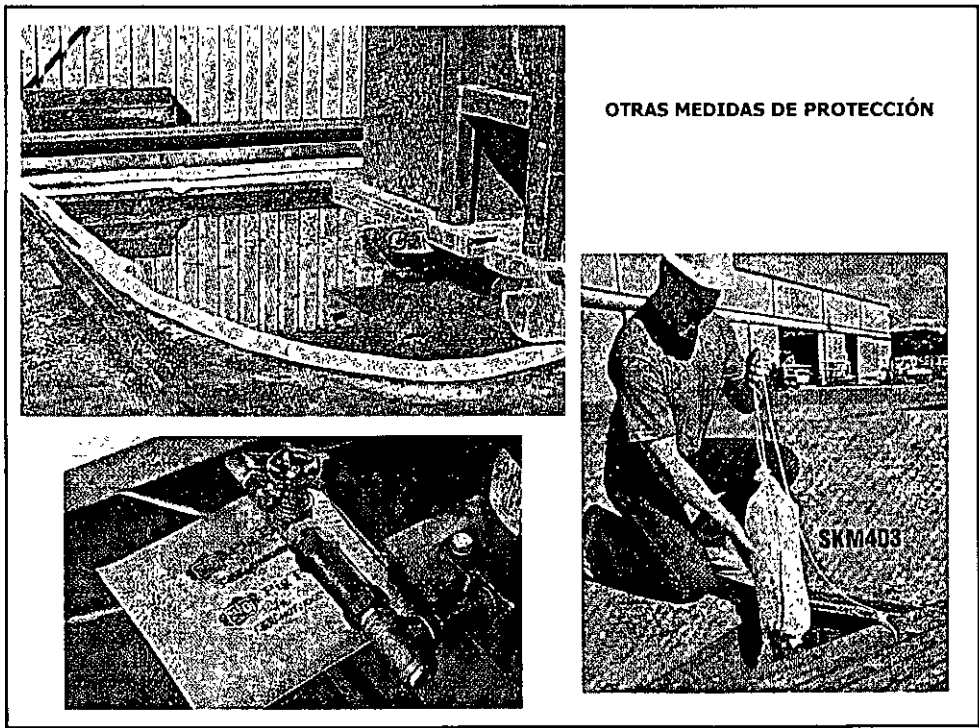
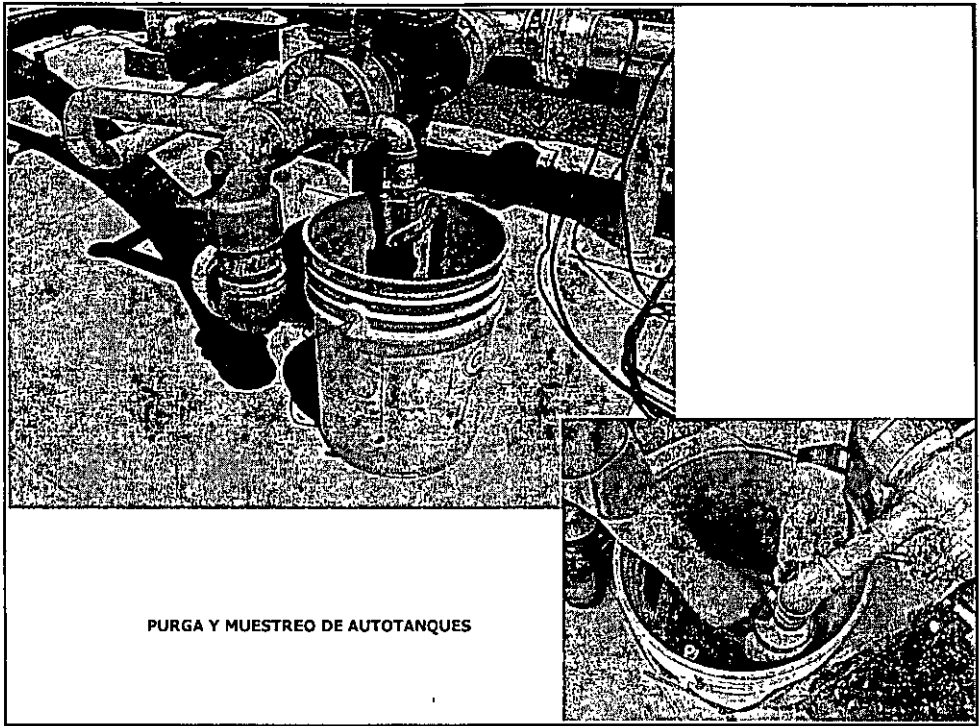
**COSTOS DE REMEDIACIÓN DE
SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS**

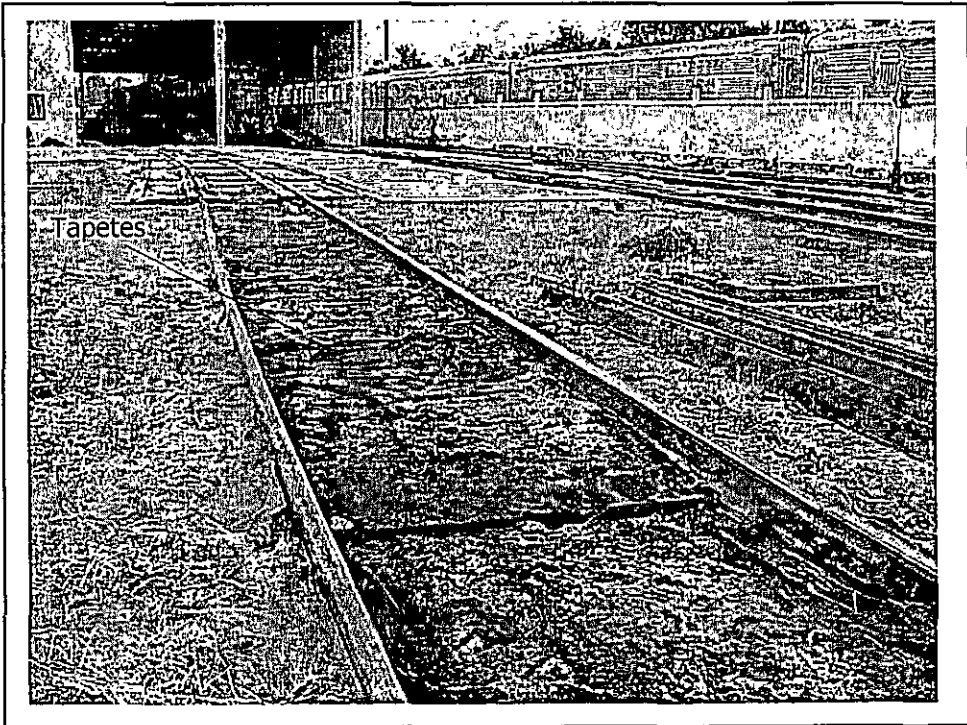
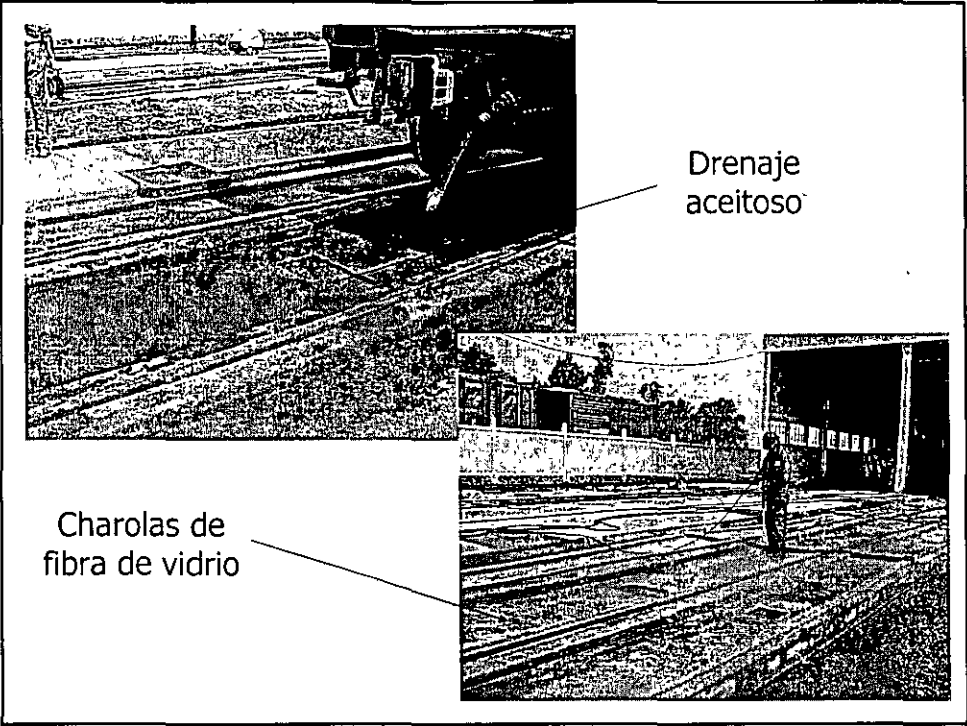
Técnica de remediación	\$ M.N. / m ³ suelo
Oxidación química	200 - 700
Biorremediación	50 - 600
Confinamiento	500 - 800
Lavado	600 - 900
Incineración	1 000 - 1 200
Estabilización	400 - 700

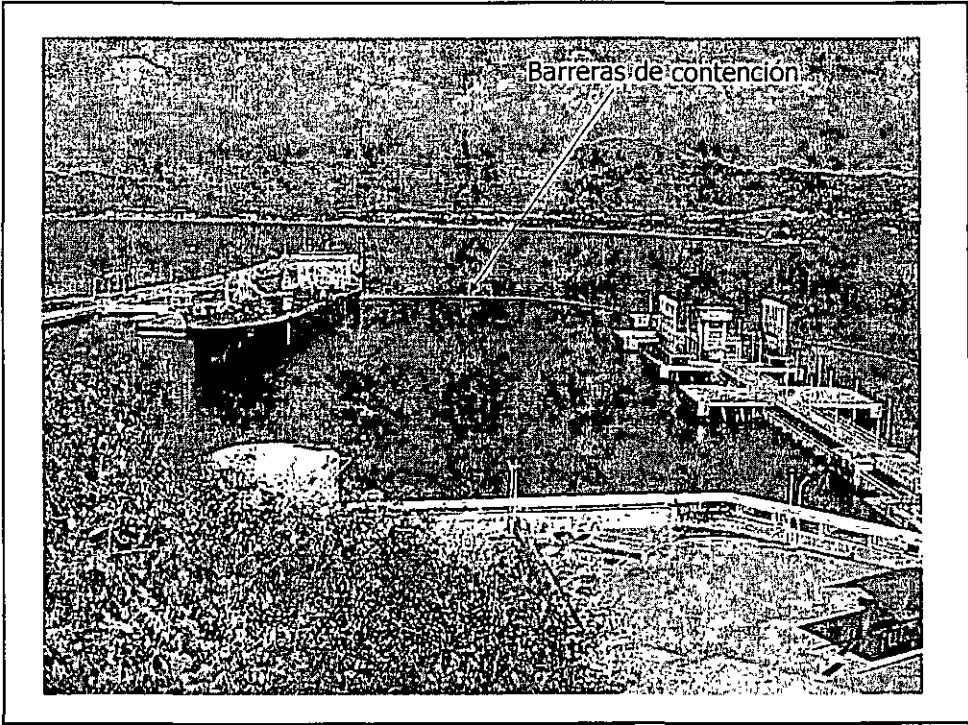


PREVENCIÓN

**Medidas para reducir
situaciones peligrosas
y por ende,
daños a la salud
y al ambiente en general**



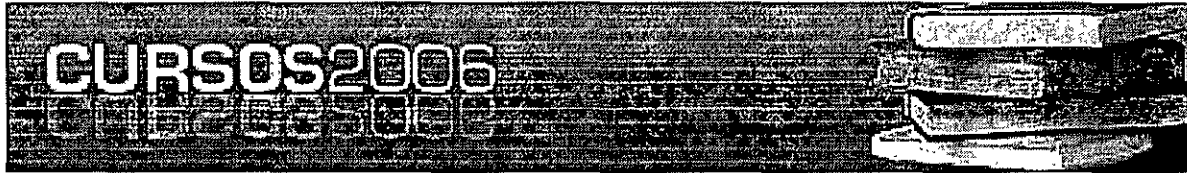




ssavalb@iingen.unam.mx



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA

EVALUACIÓN DE RIESGO AL AMBIENTE Y A LA
SALUD UTILIZANDO EL ENFOQUE DE RBCA
(RISK-BASED CORRECTIVE ACTION) EN SITIOS
CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

**EVALUACIÓN DE RIESGO
AL AMBIENTE Y A LA SALUD
UTILIZANDO EL ENFOQUE DE RBCA
(RISK-BASED CORRECTIVE ACTION)
EN SITIOS CONTAMINADOS
CON HIDROCARBUROS**

Susana Saval

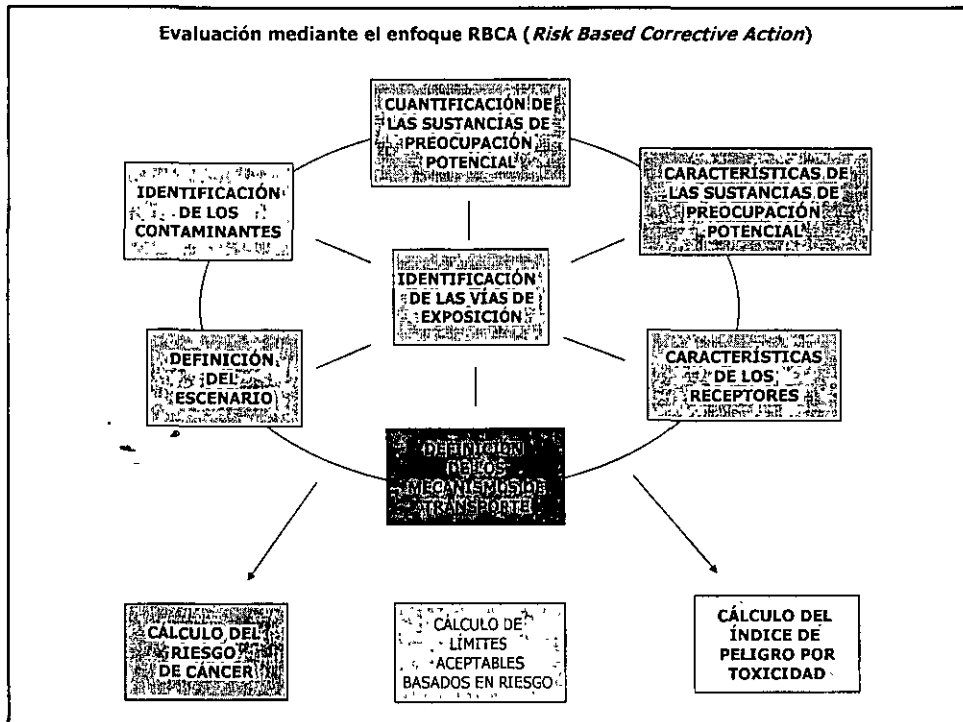


Que es el RBCA?

(Risk-Based Corrective Action)

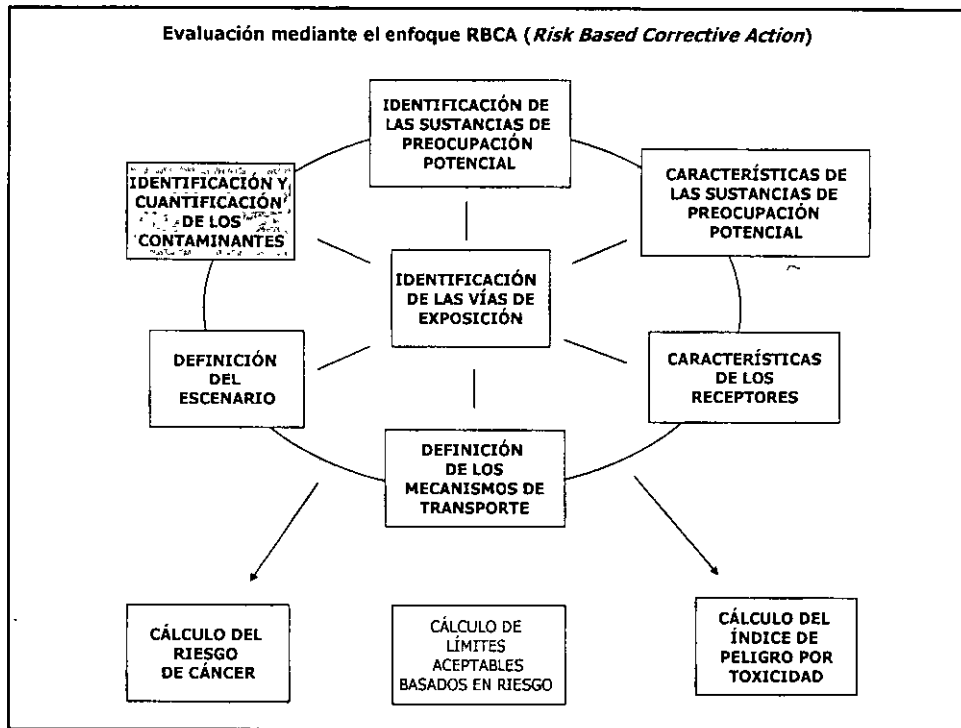
Es una forma sistemática de evaluar el riesgo con base en la protección a la salud humana y al ambiente.

Es de gran utilidad para la toma de decisiones que conlleven a definir las acciones correctivas que deberán aplicarse a sitios contaminados, con el fin de reducir los riesgos de afectación.



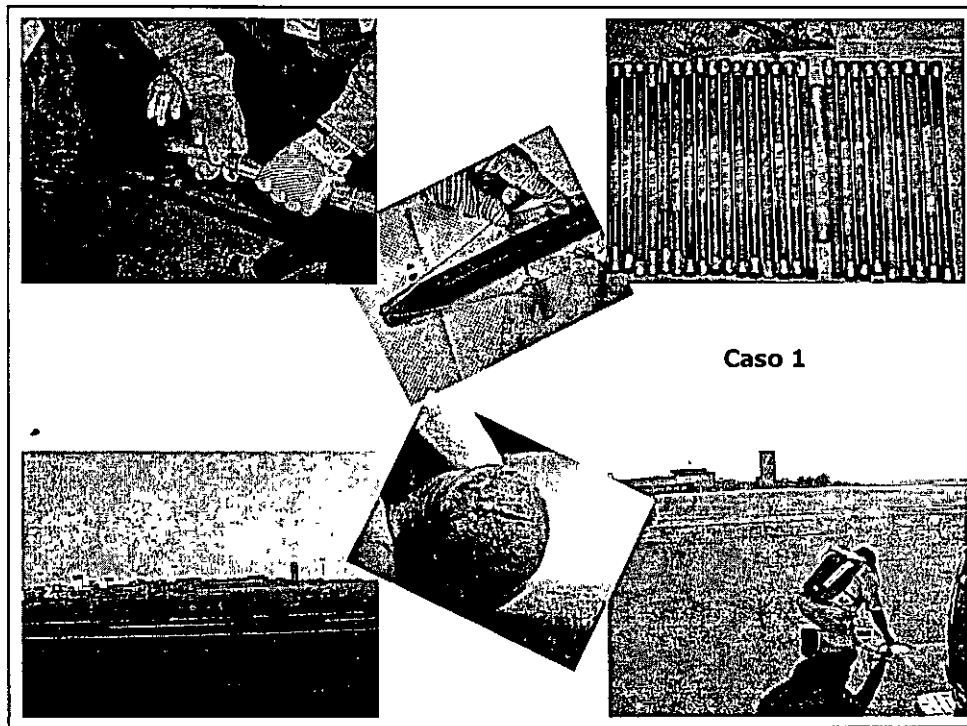
En que está basado el enfoque RBCA:

- Procedimientos de la USEPA (United States Environmental Protection Agency) para la Evaluación de Riesgos del SARA (Superfund Agreement and Recovery Act) en el Título 42 del Código Federal de Regulaciones (CFR), Parte 90
- ASTM 1739-95 Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites
- ASTM-PS 104-98 Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action (ampliado a otros contaminantes)



Identificación y cuantificación de los contaminantes

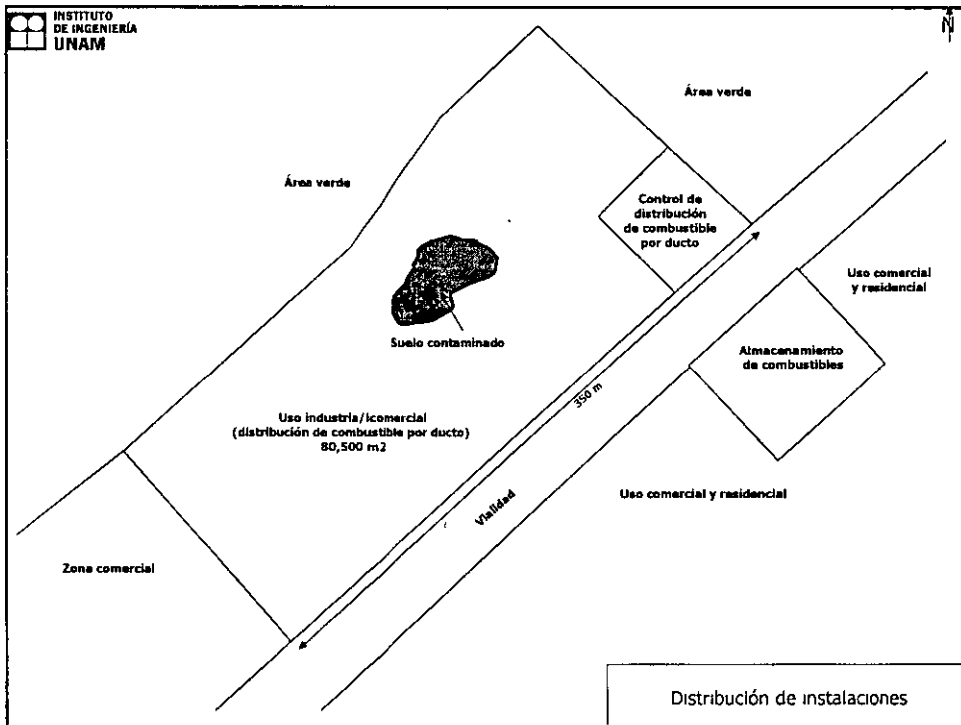
- ✓ Se requiere contar con resultados analíticos confiables (obtenidos por laboratorios acreditados) que incluyan el límite de detección para cada uno de los contaminantes analizados
- ✓ Los resultados deben tener un alto grado de certidumbre para distinguir aquellos que son de preocupación potencial por sus efectos a la salud y al ambiente
- ✓ Tener un panorama real de la distribución de contaminantes en el sitio, considerando análisis en muestras de suelo (estudio de caracterización completo según NOM-138-SEMARNAT/SS-2003) y agua, subterránea y/o superficial



Caso 1

CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELO

HIDROCARBURO	LÍMITE DE DETECCIÓN DEL MÉTODO mg/kg	MITAD DEL LÍMITE DE DETECCIÓN DEL MÉTODO mg/kg	No. MUESTRAS ANALIZADAS	CONCENTRACIONES REPORTADAS		CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVA (Límite superior de confianza de 95% sobre el promedio, ULC 95) mg/kg
				MÁXIMA mg/kg base seca	PROMEDIO mg/kg base seca	
Benceno	0.0001	0.00005	50	0.060	0.000058	0.00073
Tolueno	0.0002	0.00010	50	0.150	0.00013	0.00018
Etilbenceno	0.0003	0.00015	50	10.00	0.00680	0.01900
Xilenos (suma de isómeros)	0.00025	0.00012	50	63.00	0.00059	0.00140
Acenafeno	0.0007	0.00035	50	1.600	0.00048	0.00067
Acenafileno	0.0007	0.00035	50	0.00035	0.00035	0.00035
Antraceno	0.0009	0.00045	50	0.057	0.00053	0.00064
Benzo(a)antraceno	0.0013	0.00065	50	0.029	0.00091	0.00120
Benzo(b)fluoranteno	0.0006	0.00030	50	0.060	0.00045	0.00063
Benzo(k)fluoranteno	0.0023	0.00115	50	0.025	0.00150	0.00180
Benzo(a)pireno	0.0007	0.00035	50	0.033	0.00051	0.00067
Benzo(g,h,i)perileno	0.0005	0.00025	50	0.023	0.00034	0.00044
Criseno	0.0008	0.00040	50	0.037	0.00064	0.00085
Dibenz(a,h)antraceno	0.0012	0.00060	50	0.011	0.00073	0.00086
Fenantreno	0.0014	0.00070	50	0.680	0.00310	0.00510
Fluoranteno	0.0005	0.00025	50	0.110	0.00042	0.00061
Fluoreno	0.0007	0.00035	50	0.270	0.00093	0.00160
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0.0009	0.00045	50	0.028	0.00069	0.00073
Naftaleno	0.0008	0.00040	50	11.00	0.01300	0.02800
Pireno	0.0008	0.00040	50	0.046	0.00052	0.00065



IDENTIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS DE PREOCUPACIÓN POTENCIAL

Contar con información actualizada sobre los efectos de los compuestos a la salud humana con base en:

- * Toxicidad aguda (efectos no carcinógenos)
- * Toxicidad crónica (efectos carcinógenos) (dosis mínimas de compuestos bioacumulables)

**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

**CLASIFICACIÓN USEPA Y EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS
IRIS: Integrated Risk Information System**

COMPUESTO	CLASIFICACIÓN USEPA	VÍA DE EXPOSICIÓN CORRESPONDIENTE A LA CLASIFICACIÓN	EFFECTOS A LA SALUD
Benceno	A	Inhalación (exposición ocupacional) Ingestión (de agua)	Leucemia en humanos Estudios epidemiológicos en humanos
Tolueno	D	Ingestión / Inhalación	Efectos neurológicos, degeneración del epitelio nasal en animales de laboratorio
Etilbenceno	D	Ingestión / Inhalación	Toxicidad al hígado y riñón en animales de laboratorio
Xilenos	D	Ingestión / Inhalación	Hiperactividad y reducción del peso corporal en animales de laboratorio

CLASIFICACIÓN USEPA Y EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS
 IRIS: Integrated Risk Information System

COMPUESTO	CLASIFICACIÓN USEPA	VÍA DE EXPOSICIÓN CORRESPONDIENTE A LA CLASIFICACIÓN	EFFECTOS A LA SALUD
Benzo(a)pireno	B2	Implantación en pulmones / Inyección intraperitoneal y subcutánea	Desarrollo de tumores y genotoxicidad en animales de laboratorio
Benzo(a)antraceno	B2	Inyección intraperitoneal / subcutánea / Intramuscular	Desarrollo de tumores en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias
Benzo(b)fluoranteno	B2	Implantación en pulmones / Inyección intraperitoneal y subcutánea	Desarrollo de carcinomas en aparato digestivo y pulmones en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias
Benzo(k)fluoranteno	B2	Implantación en pulmones / Inyección subcutánea	Desarrollo de tumores en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias
Criseno	B2	Inyección intraperitoneal / Contacto dérmico	Desarrollo de carcinomas y linfomas en piel, anomalías cromosómicas en animales de laboratorio
Dibenzo(a,h)antraceno	B2	Inyección intramuscular y subcutánea	Desarrollo de carcinomas en animales de laboratorio. Mutagenicidad en bacterias

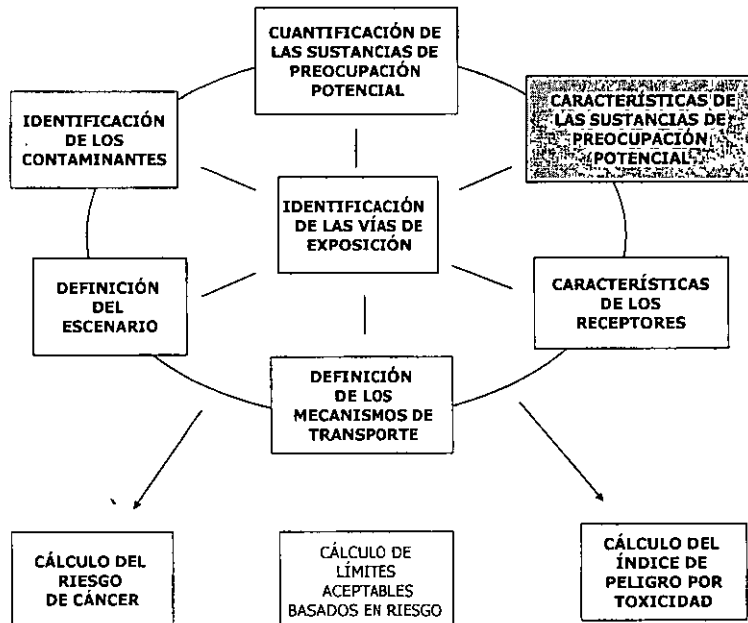
CLASIFICACIÓN USEPA Y EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS
 IRIS: Integrated Risk Information System

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	Ingestión / Inhalación	Hiperplasia y metaplasia en epitelio respiratorio y nasal en animales de laboratorio
Acenafteño	D	Inyección intraperitoneal	Hepatotoxicidad en animales de laboratorio
Acenafileno	D	Aplicación dérmica	Estudios en animales de laboratorio
Antraceno	D	Inyección intraperitoneal	Ninguno observado en animales de laboratorio
Fenantreno	D	Inyección intraperitoneal y subcutánea	Estudios en animales de laboratorio
Fluoranteno	D	Inyección intraperitoneal	Nefropatía, alteraciones hematológicas en animales de laboratorio
Fluoreno	D	Inyección intraperitoneal	Estudios en animales de laboratorio
Benzo(b,h,i)perileno	D	Implantación en pulmones / Inyección subcutánea	Estudios en animales de laboratorio
Pireno	D	Inyección intraperitoneal	Estudios en animales de laboratorio

CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN EL CASO DE HIDROCARBUROS

1. El único hidrocarburo del cual se ha demostrado que produce cáncer en humanos es el benceno, por las vías de exposición de inhalación e ingestión.
2. Para las sustancias con una clasificación USEPA B1o B2, aún no se han demostrado de manera determinante los efectos a humanos, a menos que su mala calidad de vida los haga vulnerables.
3. La probable carcinogenicidad hacia los humanos (B2) de los hidrocarburos aromáticos polinucleares se ha relacionado únicamente con su presencia en el humo del cigarro, en emisiones a la atmósfera de los hornos de carbón de hulla (mineral) 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 partículas. Sin embargo, no ha sido posible concluir que los hidrocarburos aromáticos polinucleares sean agentes directamente responsables de cáncer en humanos.

Evaluación mediante el enfoque RBCA (Risk Based Corrective Action)

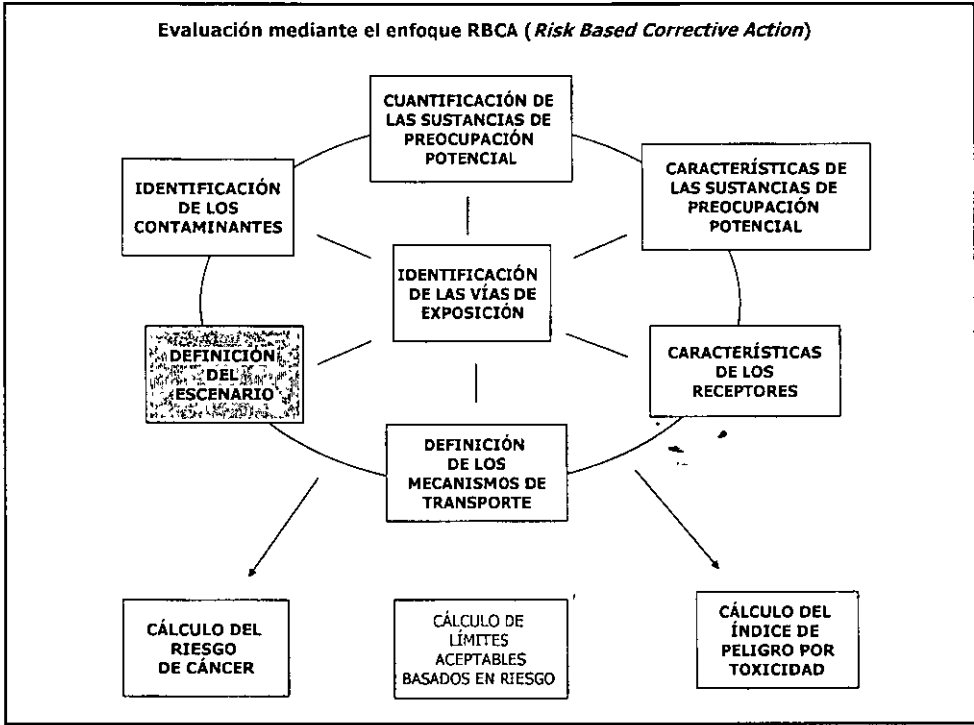


CARACTERÍSTICAS DE LAS SUSTANCIAS DE PREOCUPACIÓN POTENCIAL

Hydrocarbono	Clasificación según efecto a la salud USEPA	Peso Molecular (g/mol)	Coefficiente de absorción (relativo) (cm ² /g)	Coefficiente de distribución octanol/agua Log(L/kg)	Solubilidad (mg/L)	Coefficiente de difusión en agua (cm ² /s)	Constante de la Ley de Henry (atm)	Presión de vapor (mm Hg)	Coefficiente de difusión en aire (cm ² /s)
Benceno	A	78.1	59	1.77	1,750.0	0.000098	0.229	95.2	0.088
Tolueno	D	92.4	180	2.13	515.0	0.000094	0.260	30.0	0.085
Etilbenceno	D	106.2	360	2.56	169.0	0.000078	0.325	10.0	0.075
Xilenos (T. isómeros)	D	106.2	240	2.38	198.0	0.000085	0.290	70.0	0.072
Acenafteno	-	154.21	7,100	3.85	3.93	0.000076	0.0318	0.005	0.042
Acenaftileno	D	152.21	4,800	4.00	3.93	0.000075	0.0047	0.0000000085	0.043
Antraceno	D	178.23	30,000	4.15	0.045	0.000077	0.0278	0.000013	0.032
Benzo(a)antraceno	B2	228.3	400,000	5.14	0.0057	0.000090	0.00000056	0.00000015	0.051
Benzo(b)fluoranteno	B2	252.0	1,200,000	5.74	0.0147	0.000055	0.000829	0.0000066	0.022
Benzo(k)fluoranteno	B2	252.32	1,200,000	5.74	0.0043	0.000055	0.00000044	0.0000000095	0.022
Benzo(a)pireno	B2	252.3	1,000,000	6.01	0.00162	0.000090	0.0000466	0.000568	0.043
Benzo(g,h,i)perileno	D	276.0	7,800,000	6.20	0.0007	0.000056	0.0000057	0.000000001	0.049
Criseno	B2	228.2	400,000	5.30	0.0018	0.000062	0.00000048	0.000000057	0.024
Dibenz(a,h)antraceno	B2	278.35	3,800,000	5.87	0.0005	0.000052	0.0000157	0.0000000052	0.020
Fenantreno	D	178.22	23,000	4.15	1.60	0.000074	0.0250	0.00021	0.033
Fluoranteno	D	202.0	110,000	4.58	0.206	0.000063	0.02760	0.0177	0.030
Fluoreno	D	166.0	14,000	3.86	1.69	0.000078	0.0048	0.0170	0.036
Indeno(1,2,3-cd)pireno	B2	276.34	3,500,000	7.53	0.062	0.000044	0.0000000002	0.000000001	0.023
Naftaleno	D	128.2	2,000	3.30	31.0	0.000075	0.0199	0.23	0.059
Pireno	D	202.3	110,000	4.58	0.16	0.000072	0.00000028	0.000000042	0.027

CARACTERÍSTICAS DE LAS SUSTANCIAS DE PREOCUPACIÓN POTENCIAL

Hydrocarbono	Número de referencia CAS	Clasificación según efecto a la salud USEPA	Máximo nivel de contaminación (MCL) (mg/L)	Dosis de referencia (mg/kg día)	Factor de pendiente (mg/kg día)	Factor de riesgo unitario (URF) (µg/m ³)	Concentración de referencia (mg/kg)
Benceno	71-43-2	A	5.00E-3	3.00E-3	2.90E-2	8.29E-6	5.95E-3
Tolueno	106-88-3	D	1.00	2.00E-1	--	--	4.00E-1
Etilbenceno	100-41-4	D	7.00E-1	1.00E-1	--	--	-1.00
Xilenos (suma de isómeros)	1330-20-7	D	1.00E+1	2.00	--	--	7.00
Acenafteno	83-32-9	-	--	6.00E-2	--	--	--
Acenaftileno	208-96-8	D	--	4.00E-3	--	--	--
Antraceno	120-12-7	D	--	3.00E-1	--	--	--
Benzo(a)antraceno	56-55-3	B2	--	--	7.30E-1	8.80E-5	1.00
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	B2	--	--	7.30E-1	8.80E-5	1.00
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	B2	--	--	7.30E-2	8.80E-6	1.00E-1
Benzo(a)pireno	50-32-8	B2	2.00E-4	--	7.30	2.09E-3	1.10E+1
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	D	--	3.00E-2	--	--	--
Criseno	218-01-9	B2	2.00E-4	--	1.15	3.29E-4	9.00E-7
Dibenz(a,h)antraceno	53-70-3	B2	--	--	7.30	--	4.00E-1
Fenantreno	65-01-8	D	--	3.00E-2	--	--	--
Fluoranteno	206-44-0	D	--	4.00E-2	--	--	--
Fluoreno	86-73-7	D	--	4.00E-2	--	--	--
Indeno(1,2,3-cd)pireno	193-39-5	B2	--	--	7.30E-1	8.80E-5	1.10
Naftaleno	91-20-3	D	--	4.00E-1	--	--	1.40
Pireno	129-00-0	D	--	3.00E-2	--	--	--



Características del escenario (1 de 2)

1. De la zona afectada

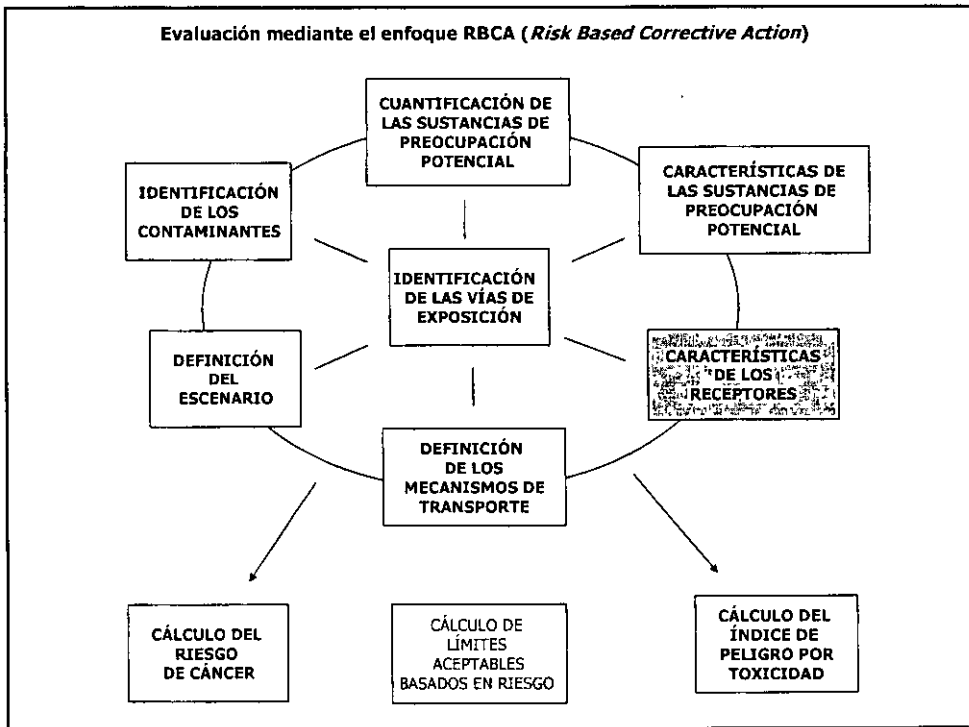
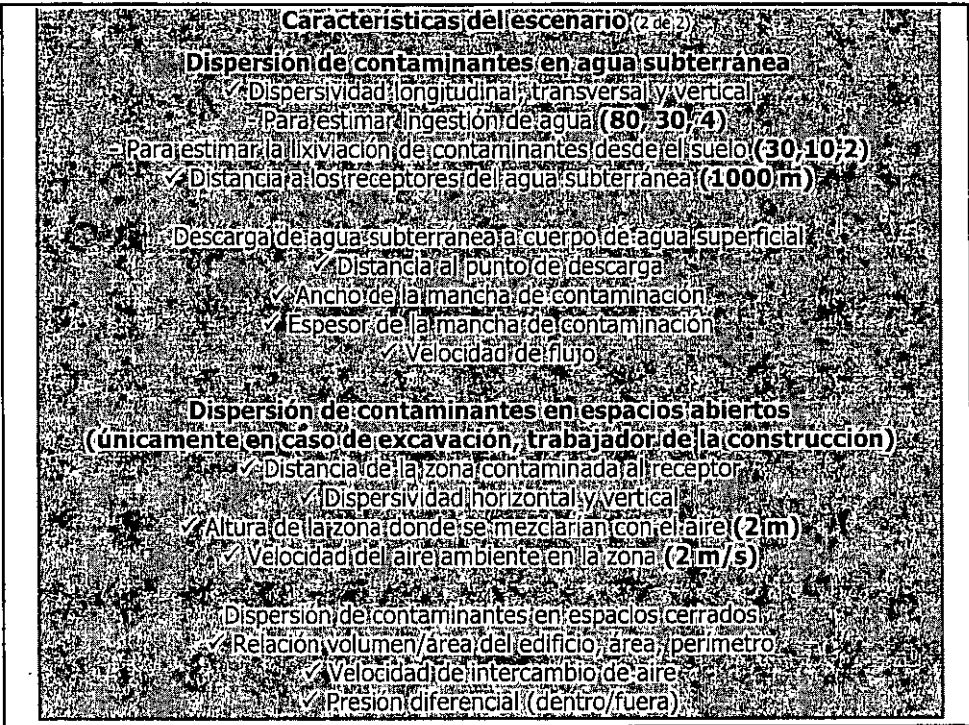
- Area de suelo contaminada (7.850 m²)
- Profundidad al tope y la base del suelo contaminado (1.5 - 2.5 m)
- Longitud de suelo afectado paralelo a la dirección del viento (50 m)
- Longitud de suelo afectado paralelo a la dirección del agua subterránea (50 m)

2. Hidrogeología

- Profundidad al agua subterránea (1.5 m)
- Espesor de la zona de capilaridad (0.31 m)
- Espesor de la zona no saturada (1.19 m)
- Gradiente hidráulico (0.0017 m/m)
- Infiltración neta por lluvia (30 cm/a)

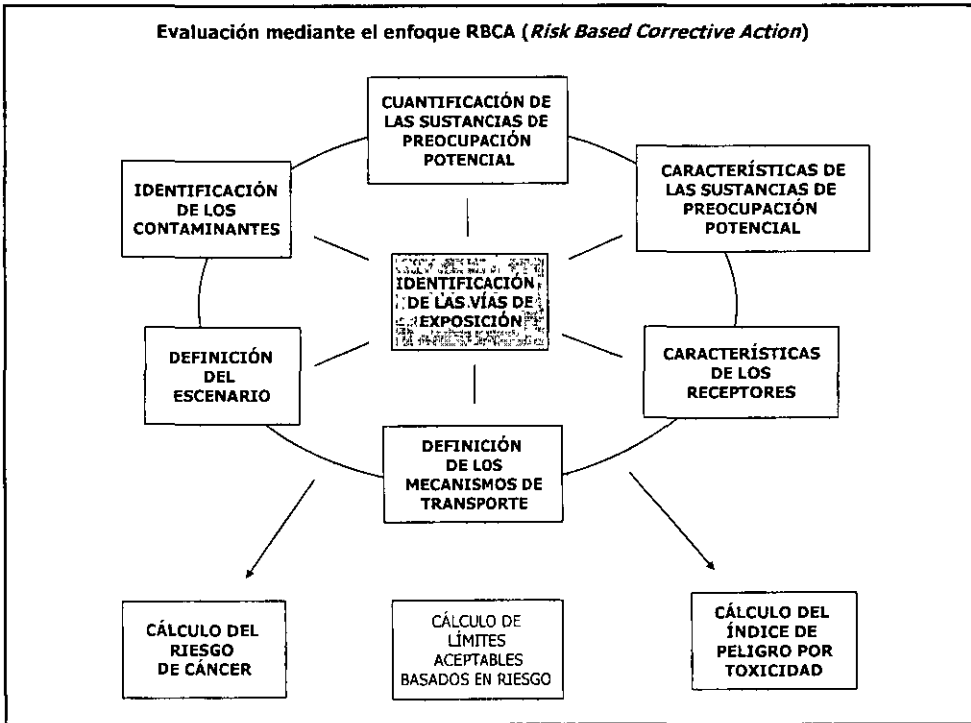
3. Suelo (arcilloso)

- Porosidad total (0.38)
- Humedad (17%)
- Fracción de aire (0.01)
- Densidad real y aparente (1.5 / 2.8 kg/l)
- Conductividad hidráulica (1.75 E-6 m/a)
- Fracción de carbono orgánico (0.010)
- pH suelo/agua (8.5)



CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES
(según el uso del suelo: industrial/comercial; residencial)

- ✓ Peso corporal promedio: **70 kg**
- ✓ Exposición: **jornadas de trabajo de 8 horas al día**
- ✓ Duración de la exposición: **toxicidad crónica: 70 años; toxicidad aguda: 30 años**
- ✓ Área superficial de la piel que podría estar en contacto: **5,800 cm²**
- ✓ Factor de adherencia de la piel: **1**
- ✓ Ingestión diaria de agua (**2 l**) y de suelo (**100 mg**)
- ✓ Exposición dérmica e ingestión de agua en aguas superficiales
- ✓ Consumo de pescado...



Identificación de las vías de exposición según el medio afectado y las características del "escenario"

I: AGUAS

1. Exposición a contaminantes por ingestión de agua subterránea

uso del suelo: **industrial/comercial, residencial**

puntos de exposición: **en el sitio, en las cercanías, fuera del sitio**

distancias a los puntos de exposición: **0, 200, 1000**

identificación del medio afectado: **suelo, agua subterránea**

- **lixiviación del suelo contaminado al agua subterránea**

2. Exposición a contaminantes en aguas superficiales

por contacto dérmico: **natación**

por ingestión: **consumo de pescado**

protección de la vida acuática

Identificación de las vías de exposición según el escenario afectado

II: SUELO

1. Exposición a contaminantes del suelo superficial

por ingestión directa: **únicamente trabajador de la construcción**

por contacto dérmico: **únicamente trabajador de la construcción**

2. Exposición a contaminantes en suelo subsuperficial (subsuelo)

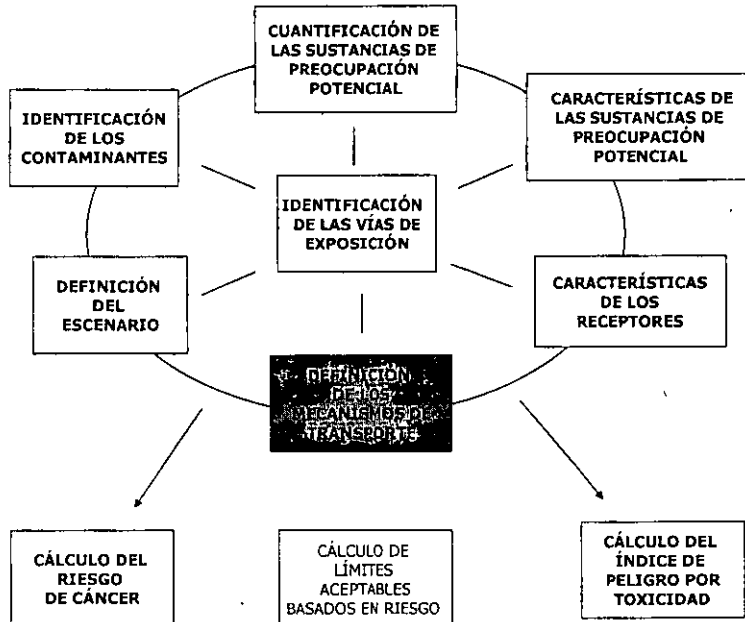
por afectación del agua subterránea

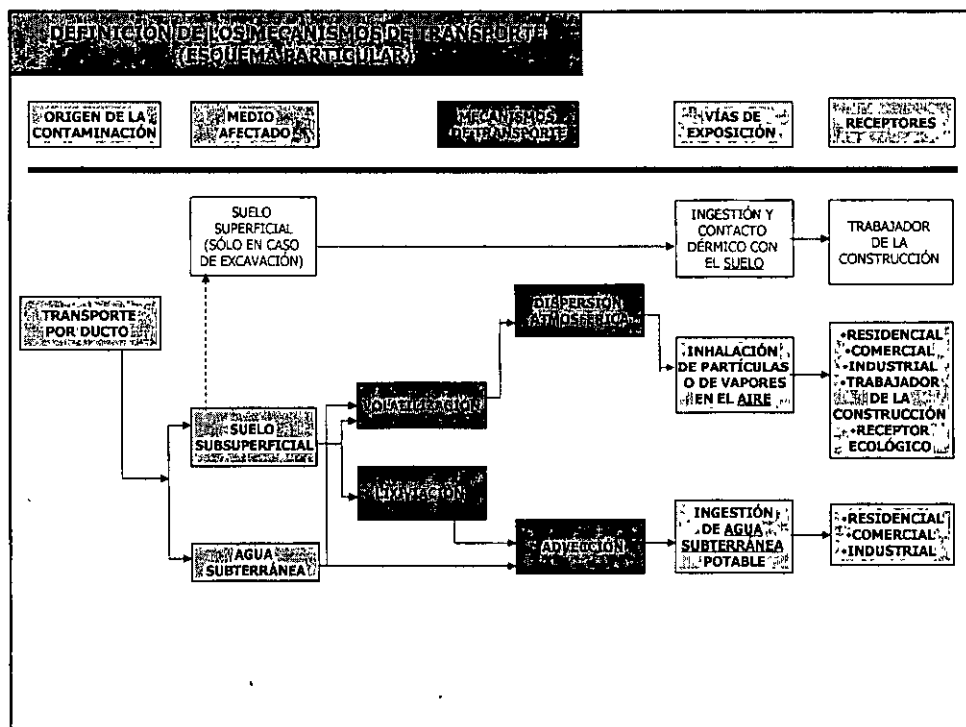
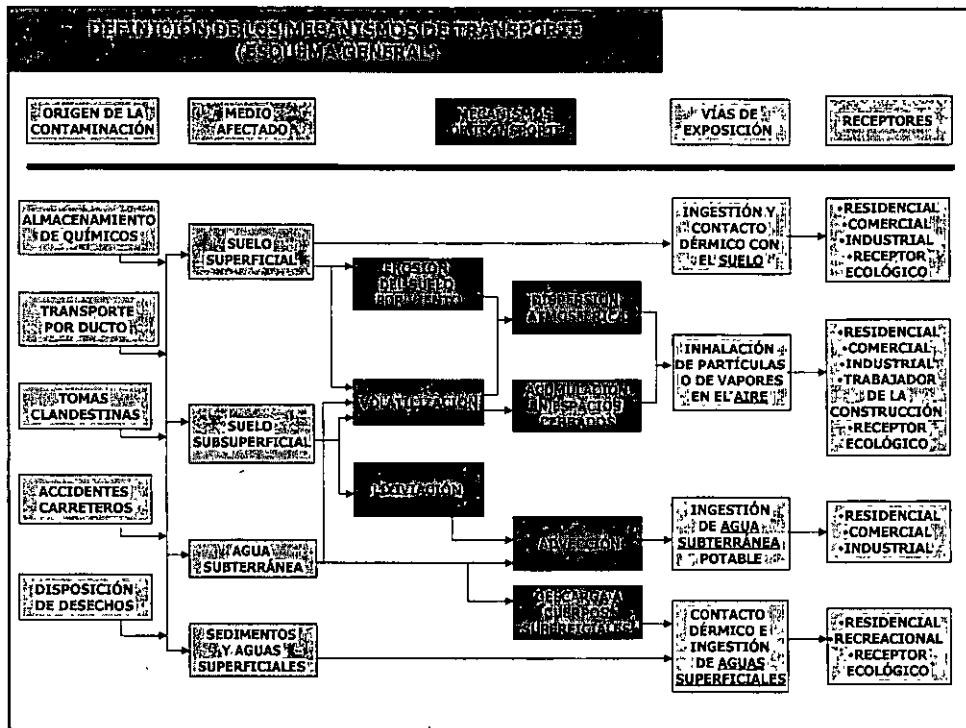
Identificación de las vías de exposición según el escenario afectado

III. AIRE:

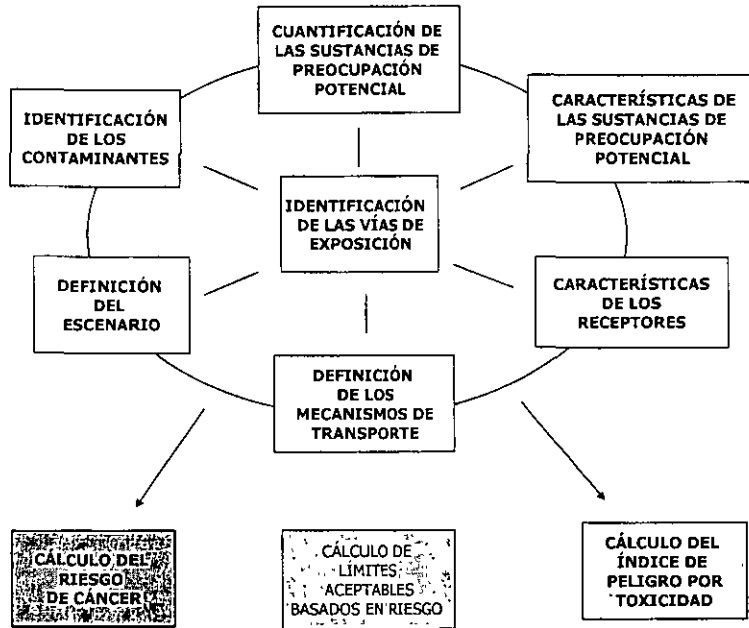
- 1. Inhalación en ambiente abierto (solo en caso de excavación)
 - de partículas provenientes de suelo superficial afectado
 - de vapores provenientes del subsuelo afectado
 - de vapores provenientes del agua subterránea contaminada
 - uso del suelo: **Industrial/comercial, residencial**
 - punto de exposición: **en el sitio, en las cercanías, fuera del sitio**
 - distancias a los puntos de exposición: **0, 200, 1000**
- 2. Inhalación en ambiente cerrado
 - de vapores provenientes del subsuelo afectado
 - de vapores provenientes del agua subterránea contaminada únicamente en el sitio

Evaluación mediante el enfoque RBCA (Risk Based Corrective Action)





Evaluación mediante el enfoque RBCA (Risk Based Corrective Action)



Concentraciones promedio de exposición por vía de exposición de hidrocarburos en suelo que podrían lixiviar a las aguas freáticas

Hidrocarburo	Máxima concentración de hidrocarburos en espacios abiertos que podrían ser inhalados por individuos (mg/m ³)		Máxima concentración de hidrocarburos en aguas freáticas que podrían ser consumidas por individuos (mg/kg-día)	
	En el sitio	En el sitio	En la zona comercial	En la zona residencial
Benceno	4.0 E-11	3.2 E-7	1.9 E-9	6.5 E-9
Tolueno	1.4 E-10	1.1 E-6	6.7 E-9	1.9 E-8
Etilbenceno	5.0 E-09	4.9 E-5	3.0 E-7	8.4 E-7
Xilenos (suma de isómeros)	5.6 E-10	5.1 E-6	3.1 E-8	8.6 E-8
Acenafeno	9.3 E-12	1.9 E-8	5.7 E-10	1.6 E-9
Acenafteño	3.3 E-12	3.4 E-8	2.1 E-10	5.8 E-10
Antraceno	4.7 E-12	1.4 E-8	2.7 E-10	7.6 E-10
Benzo(a)antraceno	3.4 E-14	2.9 E-10	1.8 E-12	6.0 E-12
Benzo(b)fluoranteno	2.9 E-14	4.0 E-10	2.5 E-12	8.3 E-12
Benzo(k)fluoranteno	8.1 E-14	1.1 E-9	6.9 E-12	2.3 E-11
Benzo(a)pireno	2.7 E-14	2.3 E-10	1.4 E-12	4.7 E-12
Benzo(ghi)perileno	2.0 E-13	2.7 E-10	1.7 E-12	4.7 E-12
Criseno	1.2 E-13	1.5 E-9	9.1 E-12	3.1 E-11
Dibenzo(a,h)antraceno	7.6 E-14	4.0 E-10	2.5 E-12	8.3 E-12
Fluoranteno	3.4 E-11	3.5 E-7	2.1 E-9	6.0 E-9
Fluoranteno	1.4 E-12	1.6 E-8	9.6 E-11	2.7 E-10
Fluoreno	2.2 E-11	2.2 E-7	1.3 E-9	3.7 E-9
Indeno(1,2,3-cd)pireno	8.7 E-17	7.5 E-12	4.6 E-14	1.5 E-13
Naftaleno	1.3 E-09	1.4 E-5	6.3 E-8	2.3 E-7
Pireno	1.6 E-12	1.7 E-8	1.0 E-10	2.9 E-10

Hidrocarburos disueltos en aguas freáticas

Hidrocarburo	Máxima concentración de hidrocarburos volátiles en espacios abiertos que podrían ser inhalados por individuos (mg/m ³)		
	En el sitio	En la zona comercial	En la zona residencial
Benceno	5.2 E-9	5.2 E-9	8.8 E-9
Tolueno	4.4 E-9	4.4 E-9	6.2 E-9
Etilbenceno	1.5 E-7	1.5 E-7	2.1 E-7
Xilenos (suma de isómeros)	1.2 E-8	1.2 E-8	1.7 E-8

Hidrocarburo	Máxima concentración de hidrocarburos volátiles en espacios cerrados que podrían ser inhalados por individuos (mg/m ³)	
	En el sitio	En la zona comercial
Benceno	3.9 E-7	3.9 E-7
Tolueno	3.3 E-7	3.3 E-7
Etilbenceno	1.2 E-5	1.2 E-5
Xilenos (suma de isómeros)	9.1 E-7	9.1 E-7

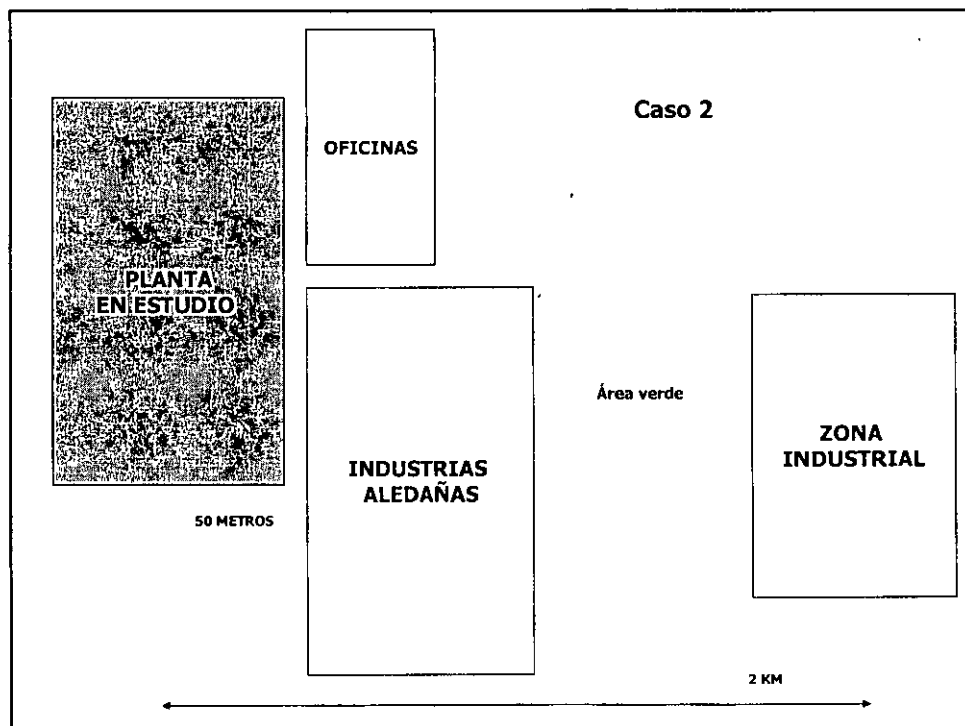
Hidrocarburo	Máxima concentración de hidrocarburos en aguas freáticas que podrían ser consumidos por individuos (mg/m ³)		
	En el sitio	En la zona comercial	En la zona residencial
Benceno	8.2 E-7	4.6 E-10	1.5 E-9
Tolueno	6.7 E-7	3.7 E-10	1.0 E-9
Etilbenceno	2.3 E-5	1.3 E-8	3.6 E-8
Xilenos (suma de isómeros)	1.9 E-6	1.1 E-9	3.0 E-9

Resumen del riesgo por toxicidad crónica y aguda debido a hidrocarburos en suelo que podían lixiviarse a las aguas freáticas

Receptor / Escenario	Toxicidad crónica (efectos carcinógenos)		Toxicidad aguda (efectos no-carcinógenos)	
	Probabilidad	Riesgo	Índice	Peligro
Valores definidos previamente				
Valor aceptable (acumulado)	1.0 E-5 esto es 1 de cada 100,000 individuos			
Vía de exposición: Inhalación de vapores				
En el sitio	4.4 E-13 esto es 1 de cada 2.27 millones de individuos	No	4.0 E-7	No
Vía de exposición: Ingestión de aguas freáticas				
En el sitio	1.6 E-8 esto es 1 de cada 82.5 millones de individuos	No	8.6 E-4	No
En la zona comercial	9.8 E-11 esto es 1 de cada 10,200 millones de individuos	No	5.2 E-6	No
En la zona residencial	3.3 E-10 esto es 1 de cada 3,030 millones de individuos	No	1.5 E-5	No

Receptor / Escenario	Toxicidad crónica (efectos carcinogénicos)		Toxicidad aguda (efectos no-carcinogénicos)	
	Probabilidad	Riesgo	Índice	Peligro
Valores definidos previamente				
Valor aceptable (acumulado)	1.0 E-5 esto es 1 de cada 100,000 millones de individuos		1	-
Via de exposición: Inhalación de vapores en espacios abiertos				
En el sitio	4.3 E-11 esto es 1 de cada 23.26 millones de individuos	No	2.6 E-6	No
En la zona comercial	4.3 E-11 esto es 1 de cada 23.26 millones de individuos	No	2.6 E-6	No
En la zona residencial	7.3 E-11 esto es 1 de cada 13.7 millones de individuos	No	3.7 E-6	No
Via de exposición: Inhalación de vapores en espacios cerrados				
En el sitio	3.2 E-9 esto es 1 de cada 312 millones de individuos	No	2.0 E-4	No
Via de exposición: Ingestión de aguas freáticas				
En el sitio	2.4 E-8 esto es 1 de cada 41.7 millones de individuos	No	1.0 E-3	No
En la zona comercial	1.3 E-11 esto es 1 de cada 76.9 millones de individuos	No	5.6 E-7	No
En la zona residencial	4.5 E-11 esto es 1 de cada 22.2 millones de individuos	No	1.6 E-6	No

Resumen del riesgo por toxicidad crónica y aguda debido a hidrocarburos disueltos en aguas freáticas

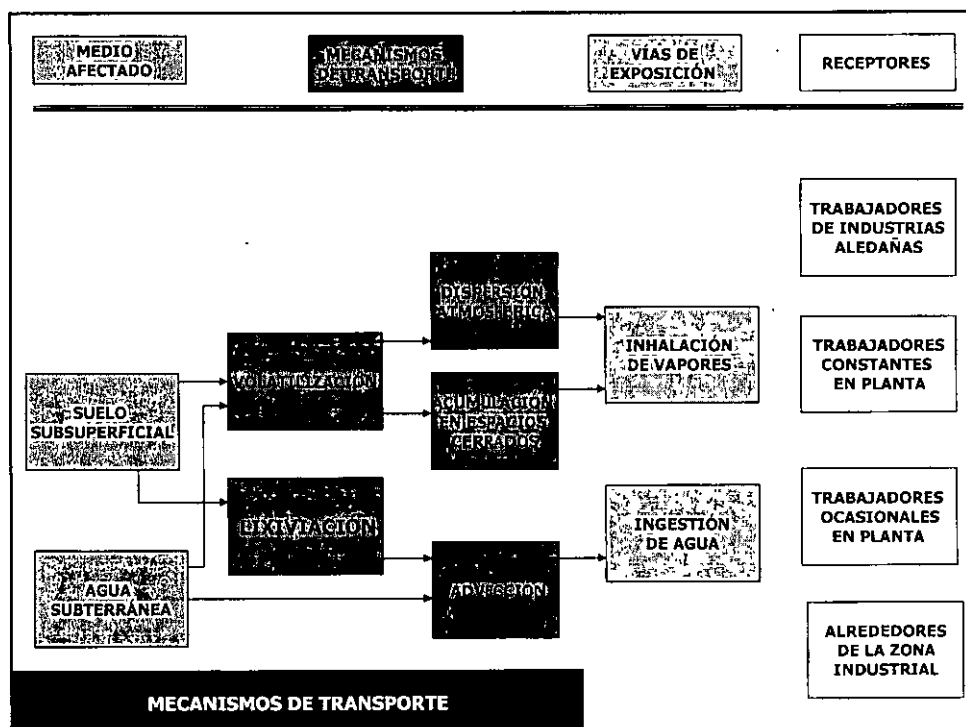
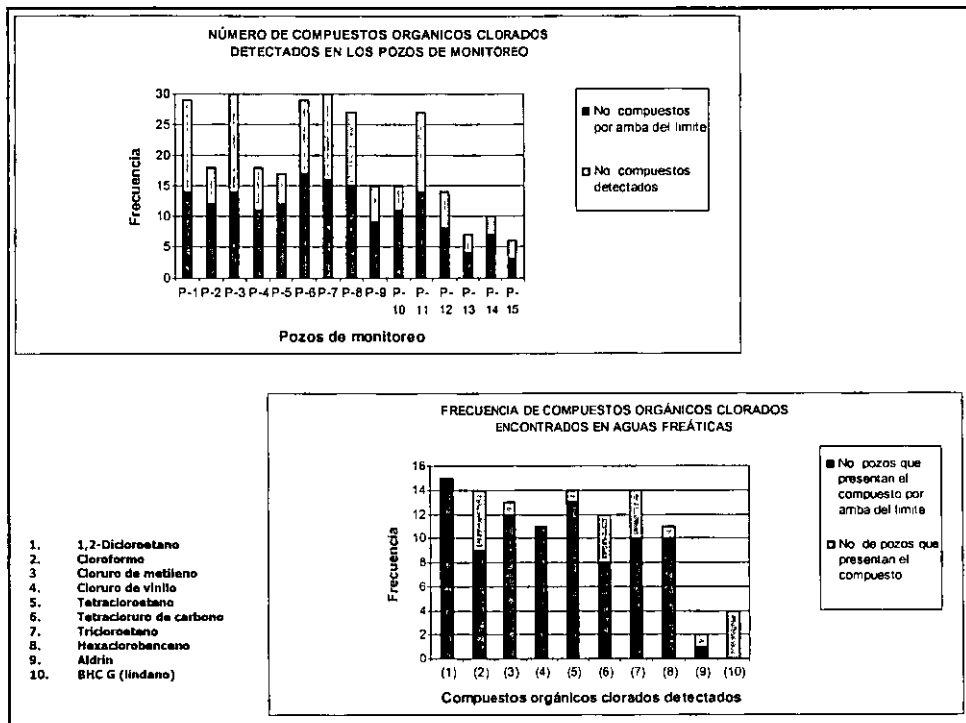


**SITIO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS TÍPICOS
E HIDROCARBUROS CLORADOS**



SUSTANCIAS DETECTADAS EN AGUA SUBTERRÁNEA

COMPUESTO	CLASIFICACIÓN USEPA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO mg/L	SOLUBILIDAD EN AGUA mg/L	VOLATILIDAD C _o . Ley Henry (adimensional)
Xilenos	D	0.030	198	0.29
Etilbenceno	D	0.016	515	0.26
Tolueno	D	0.013	169	0.325
Benceno	A	0.044	1750	0.229
Hexaclorobenceno	B2	0.00095	0.006	0.0619
<i>trans</i> -1,2-dicloroetano		6.2	600	0.219
<i>cis</i> -1,2-dicloroetano	D	1.2	800	1.32
1,2-dicloroetano	B2	88 0	8690	0.0495
1,1-dicloroetano	C	0.38	5500	0.635
1,4-diclorobenceno	C	0.023	145	0.066
1,3-diclorobenceno	C	0.018	123	0.134
1,2-diclorobenceno	D	0.015	150	0.08
Cloroformo	B2	0.56	9640	0.14
Clorobenceno	D	0.13	472	0.153
Tetracloruro de carbono	B2	0.13	762	1.24
Cloruro de vinilo	A	5.0	254	3.55
Tricloroetano	B2	0.81	1,000	0.414
1,1,2-tricloroetano	C	10.0	5,930	0.0305
1,1,1-tricloroetano	D	0.09	1,260	0.709
Tetracloroetano	B2	1.1	200	0.759
1,1,1,2-tetracloroetano	C	0.55	718	0.0825
Cloruro de metileno	B2	0.072	13,000	0.0903
Acefteno		0.0025	3.93	0.318
Naftaleno	D	0.039	31	0.0199
Lindano	B2	0.0001	6.8	0.000577
Aldrin	B2	0.0001	0.0784	0.0206



FACTORES DE RIESGO POR CÁNCER

Hidrocarburo	VÍA DE EXPOSICIÓN								
	INHALACIÓN DE HIDROCARBUROS PROVENIENTES DE SUELO Y SUBSUELO				INGESTIÓN Y CONTACTO DÉRMICO CON SUELO		INGESTIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA		
	TRABAJADORES PERMANENTES EN PLANTA	TRABAJADORES OCASIONALES EN PLANTA	TRABAJADORES PERMANENTES EN OBRAS	TRABAJADORES OCASIONALES EN INDUSTRIAS ALEJADAS	TRABAJADORES PERMANENTES EN PLANTA	TRABAJADORES OCASIONALES EN PLANTA	TRABAJADORES PERMANENTES EN PLANTA	EN INDUSTRIAS ALEJADAS	EN LOS ALREDORES DE LA ZONA INDUSTRIAL
Factores de riesgo por sustancia. Riesgo aceptable 1 E-6 (uno en 1,000,000 de individuos puede ser afectado por cáncer)									
Xileno*									
Tolueno*									
Etilbenceno*									
Benceno	7.0E-6	3.9E-11	6.9E-7	7.0E-9	1.7E-10	4.8E-12	4.5E-6	2.0E-8	1.6E-9
Hexaclorobenceno	2.5E-6	1.2E-12	1.8E-7	2.6E-9	1.3E-12	7.2E-14	5.3E-6	2.4E-8	5.9E-9
1,2-trans dicloroetano*									
1,2-cis dicloroetano*									
1,2-dicloroetano	2.1E-6	9.4E-8	1.3E-9	2.1E-5	6.6E-7	1.9E-8	2.8E-2	1.2E-4	3.1E-5
1,1-dicloroetano*									
1,4-diclorobenceno	1.2E-9	1.5E-11	7.2E-8	1.2E-9	8.8E-10	2.6E-11	2.0E-6	6.7E-9	2.2E-9
1,3-diclorobenceno*									
1,2-diclorobenceno*									
Cloroforno	2.1E-7	1.4E-9	1.6E-5	2.1E-7	3.0E-9	8.6E-11	1.2E-5	5.3E-8	1.3E-8
Clorobenceno*									
Tetracloruro de carbono	1.3E-7	9.0E-10	1.2E-5	1.3E-7	1.7E-8	4.9E-10	6.1E-5	2.7E-7	6.6E-8

Nota: las sustancias marcadas con * no son carcinógenas a humanos, por ello las celdas quedaron vacías y no fue posible calcular el riesgo de cáncer para las tres vías de exposición

Hoja 1 de 2

FACTORES DE RIESGO POR CÁNCER

Hidrocarburo	VÍA DE EXPOSICIÓN								
	INHALACIÓN DE HIDROCARBUROS PROVENIENTES DE SUELO Y SUBSUELO				INGESTIÓN Y CONTACTO DÉRMICO CON SUELO		INGESTIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA		
	TRABAJADORES PERMANENTES EN PLANTA	TRABAJADORES OCASIONALES EN PLANTA	TRABAJADORES PERMANENTES EN OBRAS	TRABAJADORES OCASIONALES EN INDUSTRIAS ALEJADAS	TRABAJADORES PERMANENTES EN PLANTA	TRABAJADORES OCASIONALES EN PLANTA	TRABAJADORES PERMANENTES EN PLANTA	EN INDUSTRIAS ALEJADAS	EN LOS ALREDORES DE LA ZONA INDUSTRIAL
Factores de riesgo por sustancia. Riesgo aceptable 1 E-6 (uno en 1,000,000 de individuos puede ser afectado por cáncer)									
Cloruro de vinilo	9.7E-5	1.0E-7	9.6E-3	9.7E-5	2.0E-6	6.0E-8	3.3E-2	1.5E-4	3.7E-6
Tricloroetano	1.1E-7	6.8E-11	6.8E-6	1.1E-7	4.8E-9	1.4E-10	3.1E-5	1.4E-7	3.5E-8
1,1,2-tricloroetano	1.0E-6	1.8E-8	6.3E-5	1.0E-6	9.6E-8	2.8E-9	2.0E-3	9.1E-6	2.3E-6
1,1,1-tricloroetano*									
tetracloroetano	2.4E-9	1.7E-10	2.2E-6	2.4E-9	1.7E-9	4.9E-10	1.9E-4	8.6E-7	2.2E-7
1,1,2-tetracloroetano	3.1E-7	2.5E-8	2.3E-6	3.1E-7	1.1E-7	3.2E-9	3.8E-4	1.7E-6	4.2E-7
Cloruro de metileno	6.8E-10	1.6E-10	3.3E-6	6.8E-10	2.8E-9	7.6E-11	1.9E-6	8.3E-9	2.1E-9
Acenafeno*									
Naftaleno*									
Lufteno	2.8E-11	7.8E-13	5.1E-10	2.8E-11	6.2E-11	1.6E-12	4.8E-7	2.0E-9	5.1E-10
Aldrin	7.1E-10	9.2E-12	2.0E-8	7.1E-10	1.3E-11	7.7E-13	6.1E-6	2.7E-8	8.8E-9
Factores de riesgo acumulado (por todos los hidrocarburos juntos). Riesgo aceptable 1 E-6 (uno en 100,000 individuos puede ser afectado por cáncer)									
Acumulado	1.2E-4	2.3E-7	1.1E-4	1.2E-4	3.0E-6	8.6E-8	6.4E-2	2.8E-4	7.1E-6

Hoja 2 de 2

RESUMEN DEL ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD HUMANA

Vía de exposición / Receptor / Escenario	Carcinogenicidad		Toxicidad	
	Probabilidad	Riesgo	Índice	Peligro
Valor aceptable	1 de 100,000	-	1	-
Inhalación de vapores provenientes de suelo y manto freático				
Trabajadores permanentes				
En planta	1 de 8,333	SÍ	0.35	NO
En oficinas	1 de 91	SÍ	23	SÍ
Trabajadores ocasionales				
En planta	1 de 4,347,826	NO	0.042	NO
Zona industrial				
Aledaña	1 de 8,333	SÍ	0.35	NO
Ingestión y contacto dérmico con el suelo				
Trabajadores				
Permanentes	1 de 333,333	NO	0.0016	NO
Ocasionales	1 de 11,627,906	NO	0.0012	NO
Ingestión de agua subterránea				
En planta	1 de 16	SÍ	35	SÍ
En industrias aledañas	1 de 3,571	SÍ	0.15	NO
Fuera de la zona industrial	1 de 14,084	SÍ	0.039	NO

DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES PERMISIBLES CON BASE EN EL RIESGO

SUSTANCIA	S U E L O		AGUA SUBTERRÁNEA	
	Límite aceptable con base en riesgo mg/kg	Concentración en suelo (mg/kg) mayor al límite aceptable basado en riesgo ?	Límite aceptable con base en riesgo mg/l	Concentración en agua (mg/L) mayor al límite aceptable basado en riesgo ?
Xilenos	17,000	X	200*	X
Tolueno	620	X	20	X
Etilbenceno	1800	X	10	X
Benceno	0.032	X	0.0099	√
Hexaclorobenceno	0.021	X	0.00018	√
1,2-Transdicloroetano	3.8	X	2.0	√
1,2-Cisdicloroetano	7.4	X	1.0	√
1,2-Dicloroetano	0.0097	√	0.0031	√
1,1-Dicloroetano	0.78	X	0.56	X
1,4-Diclorobenceno	120	X	0.12	X
1,3-Diclorobenceno	250	X	3.1	X
1,2-Diclorobenceno	2200	X	9.2	X
Cloroformo	0.019	X	350	√
Clorobenceno	80	X	20	X
Tetracloruro de carbono	0.029	X	0.0022	√

* concentraciones por arriba de la saturación en suelo o de la solubilidad en agua

DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES ACEPTABLES CON BASE EN EL RIESGO

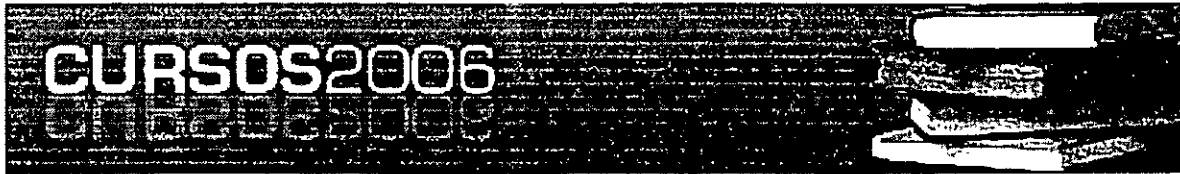
SUSTANCIA	S U E L O		AGUA SUBTERRÁNEA	
	Límite aceptable con base en riesgo mg/kg	Concentración en suelo (mg/kg) mayor al límite permisible basado en riesgo ?	Límite aceptable con base en riesgo mg/l	Concentración en agua (mg/L) mayor al límite permisible basado en riesgo ?
Cloruro de vinilo	0.00079	√	0.00015	√
Tricloroetano	0.17	X	0.026	√
1,1,2-Tricloroetano	0.02	X	0.050	√
1,1,1-Tricloroetano	29.0	X	2.0	X
Tetracloroetano	0.045	X	0.0055	√
1,1,2,2-Tetracloroetano	0.0063	√	0.014	√
Cloruro de metileno	0.036	X	0.038	√
Acenafeno	280*	X	3.9*	X
Nafaleno	37,000	X	31.0*	X
Lindano	0.011	X	0.00022	X
Aldrin	0.00033	X	0.000017	√

* concentraciones por arriba de la saturación en suelo o de la solubilidad en agua

ssavalb@iingen.unam.mx



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES DE HIDROCARBUROS CA 157

TEMA

CONTAMINACIÓN DE SUELOS
Y AGUAS SUBTERRÁNEAS:
ESTADO ACTUAL LEGAL Y NORMATIVO

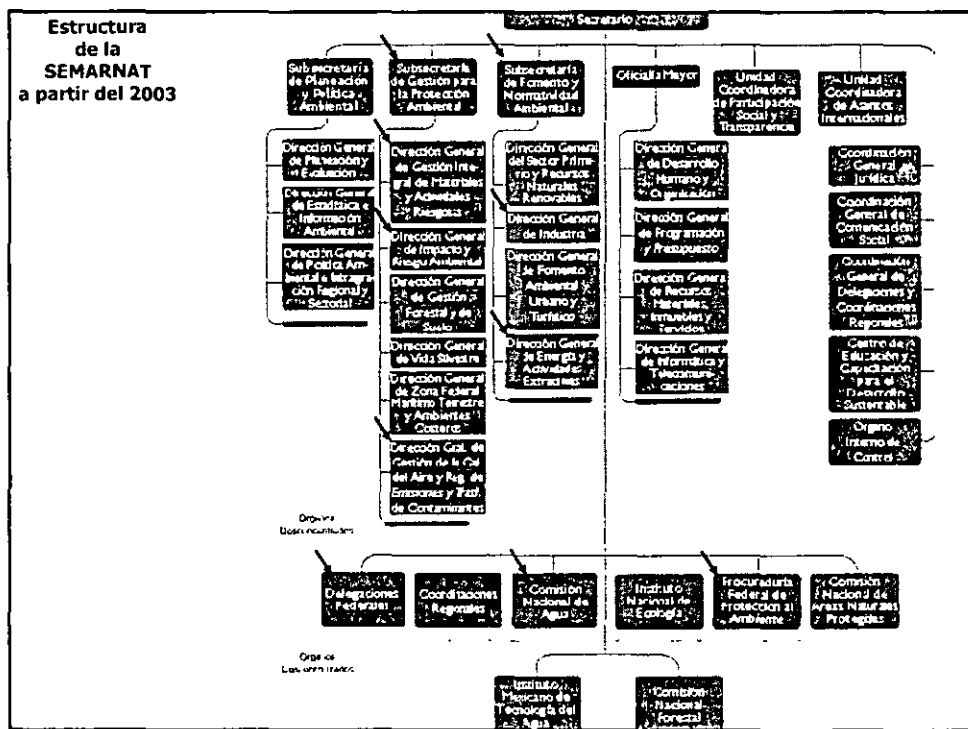
**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS:

ESTADO ACTUAL DEL MARCO LEGAL Y NORMATIVO

Dra. Susana Saval
 Instituto de Ingeniería, UNAM
 2006

ssavalb@ingen.unam.mx
ssavalb@i.unam.mx



REGLAMENTO INTERIOR DE LA SEMARNAT

Versión original: 21 enero 2003

Decreto de reforma: 22 noviembre 2004

Establece:

- **Las facultades de los funcionarios**
- **Atribuciones de las diferentes oficinas**
- **Atribuciones de las delegaciones estatales y coordinaciones regionales**
- **Competencia y organización de los órganos desconcentrados:**

Comisión Nacional del Agua

Instituto Nacional de Ecología

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

**MARCO GENERAL EN ASUNTOS DE
CONTAMINACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS**

- **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**
- **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos**
 - **Ley de Aguas Nacionales**
 - **Ley Federal de Metrología y Normalización**

Reglamentos

Acuerdos

Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Normas Mexicanas (NMX)

MARCO LEGAL

Y

REGLAMENTOS

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

Versión original: 28 enero 1988

**Actualización 1996: incluyó las figuras de
DELITOS AMBIENTALES y de la REPARACIÓN DEL DAÑO
(multas, indemnización, restauración)**

10 Dic 1999: Decreto de modificación

7 Ene 2000: Decreto de modificación

31 Dic 2001: Decreto de modificación

25 Feb 2003: Reformas

28 Dic 2004: Decreto de reforma

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

Definiciones de interés para el tema:

Contaminación

Contaminante

Contingencia ambiental

Control

Criterios ecológicos

Emergencia ecológica

Impacto ambiental, Manifestación de impacto ambiental

Material peligroso

Recurso natural

Residuo, residuo peligroso

Restauración

Título IV. Protección al Ambiente

Capítulo III. Prevención y Control de la Contaminación del Suelo

En los Artículos 134 a 144 se establece el marco de referencia que incluye:

- **Criterios para la prevención y control de la contaminación del suelo y los casos en que aplican**
- **Condiciones de los residuos para prevenir o evitar la contaminación del suelo**
- **Acciones para evitar la contaminación del suelo debido a la disposición de residuos sólidos municipales**
- **Relación con otras leyes y/o normas aplicables**

Título IV. Protección al Ambiente

Capítulo V. Actividades consideradas como Altamente Riesgosas

En los Artículos 145 a 149 establece el marco de referencia que incluye

- **Promover el establecimiento de instalaciones consideradas como riesgosas según los usos del suelo de la zona, gravedad de los posibles efectos y proximidad a poblaciones.**
- **La clasificación de actividades en función de la peligrosidad de los materiales y residuos que genere.**
- **Necesidad de estudios de riesgo ambiental y programas de prevención de accidentes.**

Título IV. Protección al Ambiente

Capítulo VI. Materiales y Residuos Peligrosos

En los Artículos 150 a 153 establece el marco de referencia que incluye

- **La base de la regulación del uso, recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición final de materiales y residuos peligrosos**
- **La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos**
- **La base de las autorizaciones para el manejo, transporte y disposición final de los residuos peligrosos**
- **La base de los programas tendientes a prevenir y reducir la generación de residuos peligrosos, para estimular su reuso y reciclaje**
 - **La atención de los suelos que sean contaminados con materiales y residuos peligrosos**
 - **Lo correspondiente a la importación o exportación de materiales o residuos peligrosos**

**REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA
PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE
RESIDUOS PELIGROSOS**

Versión original: 23 nov 1988

Capítulos

- I. Disposiciones generales**
- II. De la generación de residuos peligrosos**
- III. Del manejo de residuos peligrosos**
- IV. De la importación y exportación de residuos peligrosos**
- V. De las medidas de control y seguridad y sanciones**

ACTIVIDADES RIESGOSAS

**ACUERDO POR EL QUE SE EXPIDE EL PRIMER LISTADO DE ACTIVIDADES
ALTAMENTE RIESGOSAS "TÓXICAS"**

DOF 28 mar 1990

**ACUERDO POR EL QUE SE EXPIDE EL SEGUNDO LISTADO DE ACTIVIDADES
ALTAMENTE RIESGOSAS "INFLAMABLES Y EXPLOSIVAS"**

DOF 4 may 1992

**REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA
PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE
EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL**

Versión original: DOF 30 may 2000

Capítulos:

- I. Disposiciones generales**
- II. De las obras o actividades que requieran autorización en materia de impacto ambiental y de las excepciones.**
- III. Del procedimiento para la evaluación del impacto ambiental**
- IV. Del procedimiento derivado de la presentación del informe preventivo.**
- V. De los prestadores de servicio de evaluación del impacto ambiental.**
- VI. De la participación pública y el derecho a la información.**
- VII. De la emisión de la resolución sobre la evaluación del impacto ambiental.**
- VIII. De los seguros y las garantías.**
- IX. De la inspección, medidas de seguridad y sanciones.**
- X. De la denuncia popular.**

**REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN
AL AMBIENTE EN MATERIA DE
AUDITORÍA AMBIENTAL**

Versión original: DOF 29 Noviembre 2000

Modificaciones: DOF 16 Julio 2003

Capítulos:

- I. Disposiciones generales.**
- II. Desarrollo de Auditorías Ambientales.**
- III. Plan de acción.**
- IV. Certificado como "Industria Limpia" (actualmente de "Cumplimiento Ambiental).**
- V. Auditores Ambientales.**
- VI. Centros regionales.**
- VII. Medidas de seguridad y sanciones.**

**REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA
PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE
PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA**

Versión original: DOF 23 NOV 1988

Contenido:

- I. Disposiciones generales**
- II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera generada por fuentes fijas**
- II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera generada por fuentes móviles**
- III: Del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire**
- IV. De las medidas de control y de seguridad y sanciones**

**REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA
PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE
REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES (RETC)**

Versión original: DOF 3 junio 2004

Objeto: contar con una base de datos que registre las emisiones y transferencia de contaminantes, ordenamiento de observancia general en todo el territorio nacional

Definiciones

Emisión: Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo y subsuelo.

Cédula de Operación Anual (COA): instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos peligrosos, empleado para la actualización de la base de datos del Registro

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

LA SANCIÓN, DE SEIS A 10 AÑOS DE PRISIÓN El robo de gasolina ya es tipificado como delito grave

Las pérdidas de Pemex son por 20 mdp al año: PAN

El robo, hurto, apropiación, adulteración y venta clandestina de gasolina y combustibles en el sector de los ductos petroleros que ocasiona una pérdida anual de 20 mil millones de pesos, así como el pago de multas severas para operar los ductos.

En consecuencia, el Poder del Estado de la República decide incrementar en un 50 por ciento las penas para los que adulterando los ductos petroleros, Pasa y de Procedimientos Penales autorizados a operar actividades petroleras o actividades de suministro de empresas particulares que se dedican al negocio de ductos de Petróleo Mexicano.

Tal es el caso de la actividad de Asesoría Técnica, sobre la cual ya se determinó que el robo, adulteración o manipulado de los ductos petroleros es un delito grave y por tanto se establecen penas de prisión y multas en el artículo 27 de la Ley Penal del Estado de México.

En consecuencia, el Poder del Estado de la República decide incrementar en un 50 por ciento las penas para los que adulterando los ductos petroleros, Pasa y de Procedimientos Penales autorizados a operar actividades petroleras o actividades de suministro de empresas particulares que se dedican al negocio de ductos de Petróleo Mexicano.



El PAN en 2007 se opuso al robo de 200 litros de gasolina en un ducto que se usaba para el transporte de gas, combustibles, derivados y otros productos del combustible.

En marzo de 2006 se incluyó en el Código Penal Federal, el artículo (368 quarter) donde se establece que el robo de combustibles o derivados de instalaciones petroleras es tipificado como delito grave.

La sanción aumentará en un 50% cuando se realice en los ductos o cuando el responsable sea o haya sido servidor público de dicha industria.

LEY GENERAL DE PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS

Versión original: DOF, 8 de octubre del 2003

Su objetivo es garantizar el derecho de toda persona al ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la generación, de la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial; así como prevenir la contaminación de sitios y llevar a cabo su remediación

Conceptos importantes:

Caracterización de sitios contaminados
Evaluación del riesgo ambiental
Gestión integral de los residuos
Inventario de residuos
Remediación
Responsabilidad compartida
Riesgo
Sitio contaminado
Vulnerabilidad

continua

Aspectos de interés sobre el tema:

Título V
Manejo integral de residuos peligrosos

Capítulo III
De las autorizaciones

Capítulo IV
Manejo integral de los residuos peligrosos

Capítulo V
Responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios

Capítulo VI
La prestación de servicios en materia de residuos peligrosos

**REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE
PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS**

Primera versión del anteproyecto y la MIR ingresadas a COFEMER: 27 sep 2005

Solicitud de ampliaciones

Versiones corregidas

Dictamen total final 18 abr 2006

**GUÍAS TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE EMERGENCIAS AMBIENTALES
PROFEPA 1999**

Manual de carácter ambiental que tiene la intención de ofrecer información actualizada acerca de las medidas de prevención, control y mitigación de los efectos adversos que se pueden presentar en caso de fuga, derrame, incendio o explosión de materiales peligrosos y sustancias químicas en general

Contenido

- datos físicos y químicos de las sustancias
 - producción y comercialización
 - manejo de las sustancias
- transporte y comportamiento en el ambiente
 - datos ambientales
 - efectos a la salud humana
 - compatibilidad química
- control de fugas, derrames, incendios y explosiones
 - accidentes previos con las sustancias
- tecnologías de restauración (remediación) de sitios contaminados
 - métodos analíticos
- legislación en materia de salud, seguridad y medio ambiente
- bibliografía, referencias, glosario, anexos, figuras y tablas

www.profepa.gob.mx Profepa - Subprocuraduría de Inspección Industrial

CENTRO DE ORIENTACIÓN PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS AMBIENTALES (COATEA)

LEY DE AGUAS NACIONALES
Versión original: DOF 1 dic 1992

Actualización: DOF 29 abr 2004

considera la contaminación de aguas como
DELITOS AMBIENTALES y obliga a la **REPARACIÓN DEL DAÑO**

Definición de los usos del agua:
Agrícola, ambiental, consuntivo, doméstico, acuacultura, industrial,
pecuario, público urbano

Título séptimo
Prevención y control de la contaminación de las aguas y responsabilidad por
daños ambientales

Capítulo I
Prevención y Control de la Contaminación del Agua
Artículos 85 a 96

Capítulo II
Responsabilidad por el daño ambiental
Artículos 96bis y 96 bis1

... continua

Título segundo
Administración del agua

Capítulo III
Comisión Nacional del Agua (atribuciones)
Artículos 9 a 12

Capítulo V bis 3
Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
Artículo 14 bis 4 (atribuciones)
Imponer medidas técnicas correctivas y de seguridad
de su competencia en términos de la LAN y la LGEEPA

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
Versión original: 12 ene 1994

Título séptimo
Prevención y control de la contaminación de las aguas
Artículos 133 a 156

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 (NOM): Artículos 40 a 51

Sección II. De las Normas Mexicanas (NMX): Artículos 51A a 51B

MARCO NORMATIVO

APLICABLE A SUELOS CONTAMINADOS

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS

Tabla 6.1. Hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante

Tabla 6.2. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo

Tabla 6.3. Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en suelo

NIVELES DE FONDO

ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO AL AMBIENTE

Para pasivos ambientales y otros casos justificables:
Inciso 8.3 y sub-incisos 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3 y 8.3.4

Tabla 6.1. Hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante

HIDROCARBUROS PRODUCTO CONTAMINANTE	FRACCIÓN PESADA	HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS	FRACCIÓN MEDIA	HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS	FRACCIÓN LIGERA	BTEX
Mezclas	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Petróleo crudo	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Combustóleo	XXX	XXX				
Parafinas	XXX	XXX				
Petrolatos	XXX	XXX				
Aceites	XXX	XXX				
Gasóleo			XXX	XXX		
Diesel			XXX	XXX		
Turbosina			XXX	XXX		
Keroseno			XXX	XXX		
Creosota			XXX	XXX		
Gasavión					XXX	XXX
Gasolvente					XXX	XXX
Gasolinas					XXX	XXX
Gasnafta					XXX	XXX

BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos

**CRITERIOS QUE SIRVIERON COMO BASE PARA DEFINIR
EL CONTENIDO DE LA TABLA 6.1**

- Se incluyeron los productos que con mayor frecuencia constituyen un problema de contaminación de suelos
- Se definieron fracciones para clasificar los productos contaminantes tomando como base el número de átomos de carbono de sus hidrocarburos como sigue:

Fracción ligera C5 a C10

Fracción media C10 a C28

Fracción pesada C18 en adelante

- Lo anterior pretende evitar confusiones durante la cuantificación de productos diferentes a la gasolina o al diesel
- La clasificación anterior es la misma que utiliza la industria petrolera para sus diferentes productos comerciales que genera y es la tendencia en países avanzados

Tabla 6.2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA FRACCIONES DE HIDROCARBUROS EN SUELO concentraciones en mg/kg (miligramos por kilogramo) en base seca

FRACCIÓN DE HIDROCARBUROS	USO DE SUELO PREDOMINANTE: AGRÍCOLA (INCLUYE FORESTAL, RECREATIVO Y DE CONSERVACIÓN)	USO DE SUELO PREDOMINANTE: RESIDENCIAL	USO DE SUELO PREDOMINANTE: INDUSTRIAL (INCLUYE COMERCIAL)	MÉTODO ANALÍTICO
LIGERA	200	200	500	Anexo A.1
MEDIA	1,200	1,200	5,000	Anexo A.2
PESADA	3,000	3,000	6,000	Anexo A.3

PARA USOS DE SUELO MIXTO DEBERÁ APLICARSE LA ESPECIFICACIÓN AL MENOR VALOR DE LOS USOS DE SUELO INVOLUCRADOS

Nota: En todos los casos los límites se fijaron tomando como base lo que resulta de la cuantificación según el método especificado

CRITERIOS QUE SIRVIERON COMO BASE PARA LA INTEGRACIÓN DE LA TABLA 6.2

- Se consideraron las **características fisicoquímicas** y el **comportamiento en el ambiente** de los hidrocarburos individuales comúnmente contenidos en la fracción a la que corresponde el producto contaminante
- Aunque la NOM está referida a suelos, se consideraron los posibles impactos al agua subterránea, especialmente de aquellos hidrocarburos más solubles en agua
- Se analizaron las dificultades técnicas y las implicaciones económicas que se han tenido en casos donde se aplicaron los límites máximos permisibles anteriores (NOM-EM-138-ECOL-2002 y Criterios Interinos de Restauración)
- Se tomaron como referencia estudios realizados por Pemex y FNM que incluyeron estudios de riesgo a la salud humana, los cuales arrojaron límites permisibles de contaminación incluso mayores a los ahora definidos
- Como una referencia adicional se revisaron regulaciones de otros países que estuvieron disponibles para consulta en internet

TABLA 6.3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA HIDROCARBUROS ESPECÍFICOS EN SUELO
 concentraciones en mg/kg (miligramos por kilogramo) en base seca

Parte 1: Hidrocarburos monoaromáticos

HIDROCARBUROS ESPECÍFICOS	USO DE SUELO PREDOMINANTE: AGRÍCOLA (INCLUYE FORESTAL, RECREATIVO Y DE CONSERVACIÓN)	USO DE SUELO PREDOMINANTE: RESIDENCIAL	USO DE SUELO PREDOMINANTE: INDUSTRIAL (INCLUYE COMERCIAL)	MÉTODO ANALÍTICO
BENCENO	6	6	15	Anexo A.4
TOLUENO	40	40	100	Anexo A.4
ETILBENCENO	10	10	25	Anexo A.4
XILENOS (suma de isómeros)	40	40	100	Anexo A.4

PARA USOS DE SUELO MIXTO DEBERÁ APLICARSE LA ESPECIFICACIÓN AL MENOR VALOR DE LOS USOS DE SUELO INVOLUCRADOS

TABLA 6.3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA HIDROCARBUROS ESPECÍFICOS EN SUELO
 concentraciones en mg/kg (miligramos por kilogramo) en base seca

Parte 2: Hidrocarburos aromáticos polinucleares

HIDROCARBUROS ESPECÍFICOS	USO DE SUELO PREDOMINANTE: AGRÍCOLA (INCLUYE FORESTAL, RECREATIVO Y DE CONSERVACIÓN)	USO DE SUELO PREDOMINANTE: RESIDENCIAL	USO DE SUELO PREDOMINANTE: INDUSTRIAL (INCLUYE COMERCIAL)	MÉTODO ANALÍTICO
BENZO(A)PIRENO	2	2	10	Anexo A.5
DIBENZO(A,H)ANTRACENO	2	2	10	Anexo A.5
BENZO(A)ANTRACENO	2	2	10	Anexo A.5
BENZO(B)FLUORANTENO	2	2	10	Anexo A.5
BENZO(K)FLUORANTENO	8	8	80	Anexo A.5
INDENO(1,2,3-CD)PIRENO	2	2	10	Anexo A.5

PARA USOS DE SUELO MIXTO DEBERÁ APLICARSE LA ESPECIFICACIÓN AL MENOR VALOR DE LOS USOS DE SUELO INVOLUCRADOS

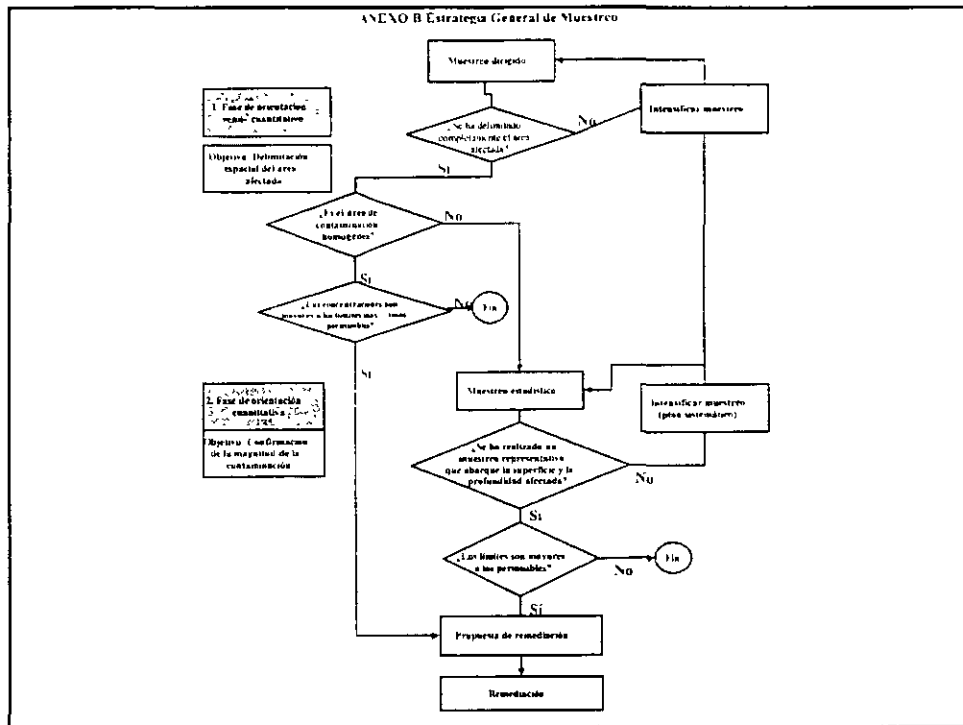
Nota: La determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares deberá realizarse únicamente en los casos que se pretende demostrar que se cumple con los límites permisibles

**CRITERIOS QUE SIRVIERON COMO BASE PARA LA
INTEGRACIÓN DE LA TABLA 6.3**

- Identificación de los hidrocarburos que por sus características podrían constituir un **peligro y/o riesgo** al ambiente y a la salud humana de acuerdo con estudios realizados en otros países
- El tipo de **efectos nocivos al ambiente y a la salud humana** de los hidrocarburos enlistados
- Para el caso de hidrocarburos monoaromáticos fue determinante su solubilidad en el agua y la probabilidad de ser arrastrados hacia el agua subterránea
- En el caso de los hidrocarburos aromáticos polinucleares, los límites de detección reales que se alcanzan durante su análisis en el laboratorio
- Como una referencia adicional se revisaron regulaciones de otros países que estuvieron disponibles para consulta en internet

Tabla 4. Mínimo de puntos de muestreo de acuerdo con el área contaminada

ÁREA CONTAMINADA (ha)	PUNTOS DE MUESTREO
Hasta 0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1.0	20
2.0	25
3.0	27
4.0	30
5.0	33
10.0	38
15.0	40
20.0	45
30.0	50
40.0	53
50.0	55
100.0	60



NIVELES DE FONDO

7.4. Especificaciones técnicas para llevar a cabo el muestreo

7.4.6 i. En los casos en que se sospeche la presencia de hidrocarburos ajenos al problema de contaminación que se esté evaluando, se podrán tomar muestras que sirvan para establecer **niveles de fondo**

8. Especificaciones ambientales para la remediación

8.5. En el caso de que los **niveles de fondo de hidrocarburos sean mayores a los límites máximos permisibles de contaminación** establecidos en las tablas 6.2 y 6.3 de esta NOM, los trabajos de remediación serán realizados **hasta alcanzar los niveles de fondo**

EVALUACIÓN DEL RIESGO AL AMBIENTE

8. Especificaciones ambientales para la remediación

8.3. En caso de pasivo ambientales y otros casos justificables se podrán determinar acciones de remediación específicas al sitio con base en estudios de evaluación del riesgo al ambiente y a la salud conforme a lo establecido en la legislación vigente

8.3.1. La evaluación de riesgo al ambiente y a la salud, tendrá como finalidad establecer cualquiera de las siguientes opciones específicas al sitio:

- a) Acciones de remediación con base en niveles específicos**
- b) Acciones de remediación para disminuir riesgos y la exposición a los contaminantes**
- c) Acciones de monitoreo**

continúa

... continúa

EVALUACIÓN DEL RIESGO AL AMBIENTE

8. Especificaciones ambientales para la remediación

8.3.2. El riesgo al ambiente se evaluará como mínimo con base en la determinación de la dispersión de los contaminantes, la determinación de retención de los contaminantes en el suelo y la exposición y la toxicidad de los contaminantes a los organismos blanco residentes en el sitio

8.3.3. En el caso de que en el sitio existan especies vegetales o animales bajo protección de la legislación ambiental vigente, la evaluación del riesgo al ambiente se realizará con base en un estudio toxicológico a dichas especies

8.3.4. El estudio de evaluación de riesgo a la salud humana se hará con base a una metodología aceptada por la autoridad competente

Debido a que esta evaluación tiene que ver con efectos sobre la salud humana, los resultados deberán ser aceptados por la autoridad competente (COFEPRIS)

entidad mexicana de acreditación, a.c.

Ramas que acredita:

- √ Agua
- √ Residuos, fuentes fijas, ambiente laboral (suelos)
- √ Química
- √ Alimentos (agua potable, agua subterránea)

La ema, a.c. entrega al laboratorio un documento con el número de Acreditación por cada rama indicando la vigencia de la misma, el listado con todas las pruebas acreditadas y de los signatarios autorizados

NOM-133-ECOL-2000 versión original 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

Modificación DOF 5 marzo 2003: -----
Amplía el plazo para la disposición de equipos o residuos conteniendo BPCs

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

**QUE ESTABLECE CRITERIOS PARA
DETERMINAR LAS CONCENTRACIONES DE REMEDIACIÓN
DE SUELOS CONTAMINADOS POR
ARSÉNICO, BERILIO, CADMIO, CROMO HEXAVALENTE, MERCURIO,
NÍQUEL, PLOMO, SELENIO, TALIO Y VANADIO**

Publicación del anteproyecto DOF 11 nov 2005 para consulta pública

Aprobado por COMARNAT en abril del 2006

En espera de publicación oficial de la versión definitiva

**Concentraciones de remediación basadas en la evaluación del
riesgo al ambiente y a la salud**

Especificaciones de muestreo basadas en la **NMX-132-SEMARNAT/SSA1-2006**

Concluido el período de consulta pública, en revisión de comentarios

**Tabla 1. Concentraciones de referencia totales (CR_T)
por tipo de uso de suelo**

Contaminante	Uso de suelo agrícola/residencial mg/kg	Uso de suelo industrial mg/kg
Arsénico	22	260
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plomo	400	750
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	550	7200

Nota

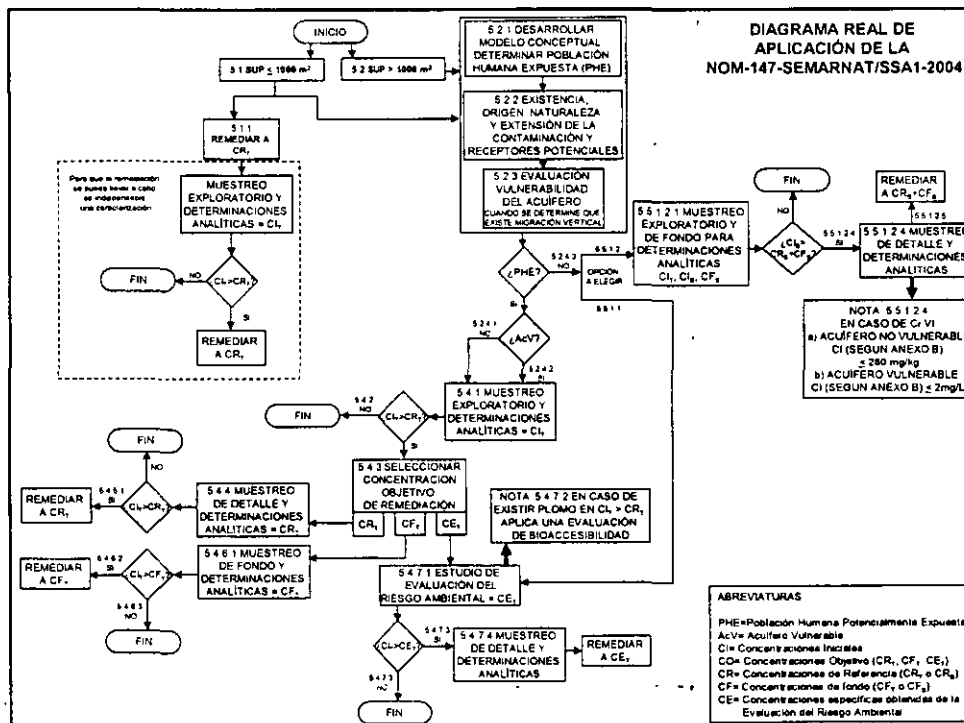
- En caso de que se presenten diversos usos del suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine
- Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos del suelo, se usará el valor residencial
- La norma no aplica a los tramos delimitados por los derechos de vía

Tabla 2. Concentraciones de referencia de contaminantes solubles CR_s

Contaminante	Concentración mg/L
Arsénico	0.500
Berilio	0.075
Cadmio	0.100
Mercurio	0.020
Níquel	0.500
Plomo	0.500
Selenio	0.100
Talio	0.192
Vanadio	0.371

En caso de cromo hexavalente, se aplicarán los siguientes criterios:

- Cuando el acuífero no es vulnerable, el valor de CI (soluble, adsorbida y precipitada) se debe obtener de aplicar el método descrito en el Apéndice Normativo C sección C.2.2 el que expresado en mg/kg, deberá ser menor o igual al valor de CRT señalado en la tabla 1 para suelos de uso agrícola.
- Cuando el acuífero sea vulnerable, el valor de CI (soluble, adsorbida y precipitada) se debe obtener de aplicar el método descrito en el Apéndice Normativo C sección C.2.2 el que expresado en mg/L, deberá ser menor o igual a 2 mg/L.



NMX-132-AA-SCFI-2006

MUESTREO DE SUELO PARA LA DETERMINACIÓN DE METALES Y METALOIDES

Anteproyecto disponible en Internet 6 mar 2006 para consulta pública por 60 días
Portal de Secretaría de Economía

Comentarios en revisión para respuesta a partir del 6 de mayo

Especificaciones para definir:

- **Número de puntos de muestreo por unidad de superficie**
 - **Patrones de muestreo por aplicar**
- **Muestreo exploratorio: superficial y perfiles de suelo**
 - **Muestreo de detalle: a profundidad**
- **Muestreo de fondo: suelo aledaño no contaminado**
 - **Muestreo confirmatorio de una remediación**

NOM-141-SEMARNAT-2003

**QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO PARA CARACTERIZAR LOS JALES, ASÍ
COMO LAS ESPECIFICACIONES Y CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL
SITIO, PROYECTO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y POST-OPERACIÓN
DE PRESAS DE JALES**

DOF 13 septiembre 2004

... continúa

Anexo normativo 2

**Método para evaluar la vulnerabilidad de un acuífero
a la contaminación**

$$V_{aq} = G O D$$

G = Confinamiento hidráulico del agua subterránea (Tabla 1)

O = Granulometría y litología subyacente (Tabla 2)

D = Profundidad del agua subterránea (Tabla 3)

Vulnerabilidad cuando $V_{aq} > 0.25$

**ACUERDO MEDIANTE EL CUAL SE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO PARA
LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD PARA NORMAS OFICIALES
MEXICANAS EXPEDIDAS POR LA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES**

DOF enero 2006

**Establece el procedimiento a seguir por la autoridad o por terceros
debidamente acreditados y aprobados, para determinar el grado de
cumplimiento de las normas expedidas por la SEMARNAT que no cuentan
con un procedimiento de evaluación de la conformidad específico.**

**Es de observancia obligatoria para la SEMARNAT y la PROFEPA, así como
para las Unidades de Verificación, Organismos de Certificación y
Laboratorios de Prueba, que evalúen el grado de cumplimiento de las
NOMs expedidas por la SEMARNAT.**

NOM-021-RECNAT-2000
DOF 31 diciembre 2002

**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
físicoquímicos de suelos agrícolas

Referencia de otras normas relacionadas con suelo,
principalmente para determinación de humedad

NOM-052-SEMARNAT-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 DOF 22 octubre 1993
Actualización de nomenclatura publicada en el
DOF 29 noviembre 1994

Propuesta de actualización
**PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA
PROY-NOM-052-SEMARNAT-2001**

**QUE ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS, EL PROCEDIMIENTO DE
IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y EL LISTADO DE LOS
RESIDUOS PELIGROSOS**

publicado en el DOF 26 julio 2002

En espera

NOM-053-SEMARNAT-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-SEMARNAT-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 29 noviembre 1994

NOM-025-SCT2/1994

DOF 22 SEP 1995

**DISPOSICIONES ESPECIALES PARA LAS SUSTANCIAS,
MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS DE LA
CLASE 1 EXPLOSIVOS**

NOM-115-SEMARNAT-2003

**QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL QUE
DEBEN OBSERVARSE EN LAS ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS TERRESTRES PARA EXPLORACIÓN Y
PRODUCCIÓN EN ZONAS AGRÍCOLAS, GANADERAS Y ERIALES, FUERA DE
ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS O TERRENOS FORESTALES**

DOF 27 ago 2004

NOM-116-SEMARNAT-2003

**QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
DURANTE PROSPECCIONES SISMOLÓGICAS TERRESTRES**

2004

NOM-117-SEMARNAT-2003
DOF

**QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
DURANTE ACTIVIDADES DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
SISTEMAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN POR DUCTO**

2004

MARCO NORMATIVO
APLICABLE A AGUAS SUBTERRÁNEAS
Y
CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES

NOM-127-SSA1-1994 (2000)
modificación 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

HIDROCARBUROS	LÍMITE PERMISIBLE mg/l
benceno	0.010
tolueno	0.700
etilbenceno	0.300
xilenos	0.500

NMX-230-SSA1-2002
DOF 12 jul 2005

**SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO.
REQUISITOS SANITARIOS QUE SE DEBEN CUMPLIR EN LOS SISTEMAS DE
ABASTECIMIENTO PÚBLICOS Y PRIVADOS DURANTE EL MANEJO DEL
AGUA. PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO**

Nota importante

Esta NMX debe utilizarse para aplicar la NOM-127-SSA1-1994,
pero no considera aspectos de aseguramiento de calidad para toma de
muestras en las que se van a analizar BTEX ni otros compuestos volátiles.

**CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
CECCA-001/89**

Niveles máximos en agua (mg/L)

Compuesto	Fuente de abastecimiento de agua potable	Protección de la vida acuática	
		Agua dulce	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	0.000008	0.00001	0.00003

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

**QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA LA
PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS DURANTE EL MANTENIMIENTO Y
REHABILITACIÓN DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA Y PARA
EL CIERRE DE POZOS EN GENERAL**

Propuesta de modificación ingresada a
COFEMER – MIR junio 27 del 2003

MARCO NORMATIVO
APLICABLE AL AMBIENTE LABORAL

NOM-010-STPS-1999

Aclaración y fe de erratas publicadas el 21 de agosto del 2000

**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**

**límites máximos permisibles de exposición,
clasificación de sustancias con base en sus
características carcinógenas y listado de procedimientos
para la determinación de sustancias químicas en el
medio ambiente laboral**

LÍMITE DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS ORGÁNICAS

SUSTANCIA	CLASIFICACIÓN COMO CARCINÓGENO	LMPE ¹ EN JORNADA NORMAL mg/m ³	LMPE QUE NO DEBE SER EXCEDIDO ² mg/m ³
Benceno	A2 sospechoso	3.2	16.0
Tolueno	A4 no clasificable	188	-
Etilbenceno	-	435	545
Xilenos	A4 no clasificable	435	655
Naftaleno	A4 no clasificable	50	75

¹ LMPE: Límite Máximo Permissible de Exposición

² LMPE que no debe ser excedido por más de 15 min, una vez durante la jornada normal

NOM-0030-SEGOB/2000

2003

**SEÑALES Y AVISOS PARA PROTECCIÓN CIVIL.
COLORES, FORMAS Y SÍMBOLOS A UTILIZAR**

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

Su reglamento DOF 14 enero 1999

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

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, el listado con todas las pruebas acreditadas y de los signatarios autorizados

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-085-ECOL-1994; PRY-NOM-098-ECOL-2000; NOM-052-ECOL-1993;
NOM-053-ECOL-1993; NOM-010-STPS-1999; (NOM-EM-138-ECOL-2002)

√ SECRETARÍA DE SALUD

alimentos (agua potable)

NOM-127-SSA1-1994 (2000);

√ 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

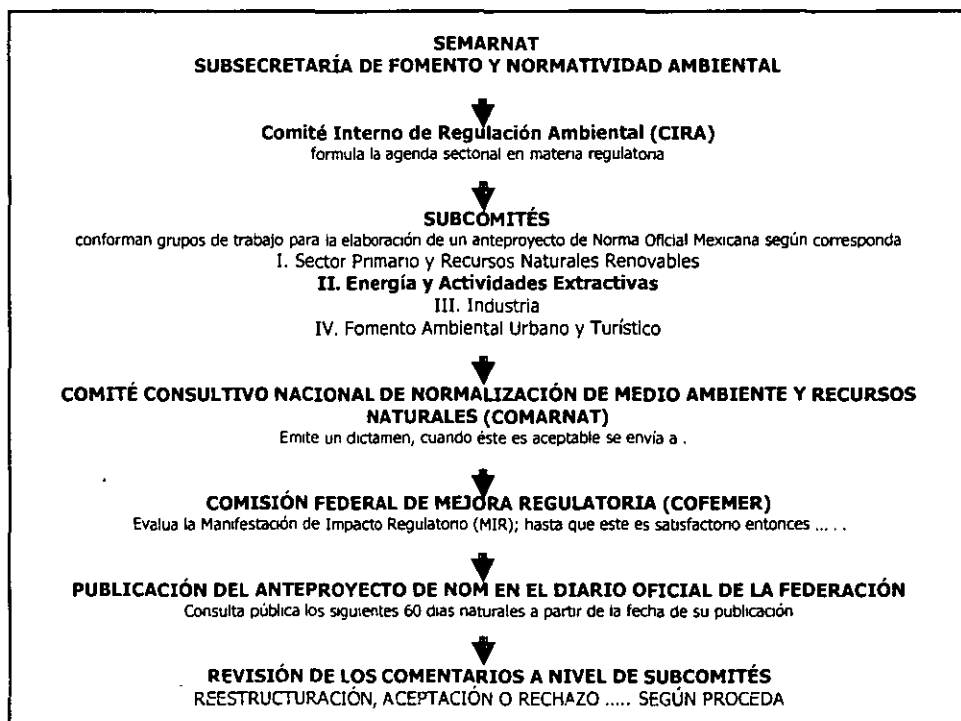
OTROS INSTRUMENTOS LEGALES

En casos de Gestión

- Código Federal de Procedimientos Penales
- Ley Orgánica de la Administración Pública
- Ley de Procedimientos Administrativos
- Reglamento para el transporte de Residuos Peligrosos

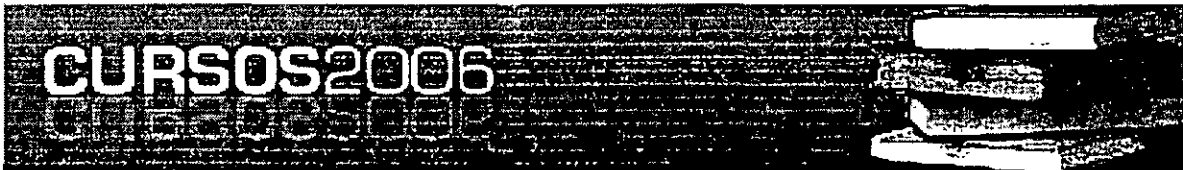
En casos de accidentes químicos:

- Protección Civil
- Ley General de Población





FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS
CA 157

TEMA

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

Estado de Nuevo León, **José Natividad González Parás**.- Rúbrica.- El Secretario General de Gobierno, **Napoleón Cantú Cerna**.- Rúbrica.- El Secretario de Finanzas y Tesorero General del Estado, **Rubén Eduardo Martínez Dondé**.- Rúbrica.- El Procurador General de Justicia del Estado, **Luis Carlos Treviño Berchermann**.- Rúbrica.- El Secretario de Seguridad Pública del Estado, **José Domingo Ramírez-Garrido Abreu** - Rúbrica.

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

JUAN RAFAEL ELVIRA QUESADA, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Ernesto Enriquez Rubio, Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización, de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV y 39 fracciones I y XXI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones I, II, V, VI y XI, 6o., 36, 37, 37 Bis, 134 fracciones I, II, III y V, 136, 139 y 152 Bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 2o. fracción X, 7o. fracción II, 68, 69, 70, 73, 77, 78 y 79 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; 3 fracción XIII, 13 apartado A fracción IX, 116, 117, 118 fracciones I y VII, 182, 278 fracciones III y IV, 280 y 282 de la Ley General de Salud; 38 fracciones II, III y VII, 40 fracciones X y XI, 41, 43, 44, 46 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28, 31, 33 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 8 fracciones V y VI del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 2 Apartado C fracción X del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud; y 3 fracciones I inciso I, II y XI, 10 fracciones IV y VIII, 12 fracciones I y III del Reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.

CONSIDERANDO

Que el Proyecto de Norma Oficial Mexicana fue aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión celebrada el 21 de mayo de 2003, y que de conformidad con el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó el 19 de marzo de 2004, para consulta pública a efecto de que los interesados, dentro de los 60 días naturales contados a partir de la fecha de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**, presentaran sus comentarios ante el citado Comité, sito en Boulevard Adolfo Ruiz Cortines número 4209, quinto piso, Fraccionamiento Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, código postal 14210, Distrito Federal, o en el correo electrónico aescamilla@semarnat.gob.mx.

Que durante el plazo mencionado la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estuvo a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité antes señalado.

Que de conformidad con 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 y que las respuestas a los comentarios y modificaciones antes citados fueron publicados en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de marzo de 2005.

Que 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 de Medio Ambiente y Recursos Naturales en sesión de fecha 30 de noviembre de 2004 aprobó para publicación definitiva la presente Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación, hemos tenido a bien expedir la siguiente:

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS Y LAS ESPECIFICACIONES PARA SU CARACTERIZACION Y REMEDIACION

Prefacio

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron:

- SECRETARIA DE ENERGIA
- SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
- SECRETARIA DE SALUD
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA
Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
- PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE
Subprocuraduría de Inspección Industrial
Subprocuraduría de Auditoría
- COMISION NACIONAL DEL AGUA
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION
- CONFEDERACION DE CAMARAS INDUSTRIALES
- ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ)
- ONEXPO NACIONAL, A.C.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Instituto de Geografía
Instituto de Ingeniería
- INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
- COLEGIO DE INGENIEROS PETROLEROS
- COLEGIO DE INGENIEROS AMBIENTALES DE MEXICO
- ASOCIACION NACIONAL DE RESTAURADORES AMBIENTALES, A.C.
- AGENCIA DE COOPERACION TECNICA ALEMANA-GTZ
- PETROLEOS MEXICANOS
Dirección Corporativa de Seguridad Industrial y Protección Ambiental
Pemex Exploración y Producción
Pemex Refinación
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- FERROCARRILES NACIONALES DE MEXICO EN LIQUIDACION
- OPERADORA INTERGRUPO, S A. DE C.V

Y en la elaboración del Anexo A. Métodos Analíticos para la determinación de hidrocarburos en suelos, participaron:

- INTERTEK TESTING SERVICES DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- LABORATORIOS ABC, QUIMICA INVESTIGACION Y ANALISIS, S.A. DE C.V.
- CONTROL QUIMICO NOVAMANN INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.

INDICE

0. Introducción
1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Abreviaturas
6. Límites máximos permisibles
7. Especificaciones para la caracterización
8. Especificaciones ambientales para la remediación
9. Evaluación de la conformidad

10. Grado de concordancia con normas internacionales

11. Bibliografía

12. Observancia de esta Norma

Anexo A

Anexo B

0. Introducción

El Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, tiene como primer objetivo detener y revertir la contaminación de los recursos naturales, agua, aire y suelo, con el propósito de garantizar su conservación para las generaciones futuras.

Los derrames de hidrocarburos, por las sustancias que involucran, pueden poner en peligro los lugares donde se producen, la integridad de los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

Cuando un derrame de hidrocarburos permanece sin ser atendido puede causar daños constantes y crecientes al suelo y a otros recursos naturales.

La falta de especificaciones ambientales para la restauración de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos constituye uno de los principales factores de incertidumbre sobre la efectividad de los resultados de la remediación.

Ante la situación descrita, el 20 de agosto de 2002 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, la Norma Oficial Mexicana de Emergencia: Límites máximos permisibles de contaminación en suelos por hidrocarburos, caracterización del sitio y procedimientos para la remediación, la cual fue prorrogada por seis meses más, el 20 de febrero de 2003.

Con el propósito de dar certidumbre en las acciones de caracterización y remediación a los causantes de la contaminación he tenido a bien expedir la presente Norma Oficial Mexicana.

1. Objetivo

Establecer los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

2. Campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para quienes resulten responsables de la contaminación con hidrocarburos en suelos.

3. Referencias

NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

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, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y las que a continuación se mencionan:

4.1 Cadena de custodia

Registro que acompaña a las muestras desde su obtención hasta su entrega al laboratorio de pruebas y análisis.

4.2 Características del sitio

Características o propiedades físicas, químicas, mecánicas y dinámicas de un suelo y de la(s) sustancia(s) distribuidas en él, así como los procesos que controlan el comportamiento y transporte del contaminante en el medio en el que se encuentra alojado y que proporcionan la comprensión de éstos para poder predecir su comportamiento futuro en el sitio.

4.3 Derrame

Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos que se presente en suelo.

4.4 Dilución de suelo contaminado

Acción de adicionar un material determinado a un suelo contaminado, con el propósito específico de reducir la concentración de uno o más contaminantes.

4.5 Hidrocarburos

Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.

4.6 Hidrocarburos de fracción ligera

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre cinco y diez átomos de carbono (C₅ a C₁₀).

4.7 Hidrocarburos de fracción media

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre diez y veintiocho átomos de carbono (C₁₀ a C₂₈).

4.8 Hidrocarburos de fracción pesada

Mezcla de hidrocarburos cuyo peso molecular sea mayor a C₁₈

4.9 Laboratorio de pruebas

Laboratorio con métodos acreditados y aprobados conforme a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

4.10 Medidas de urgente aplicación

Acciones que conducen a inactivar una fuente de contaminación y a detener la migración de los contaminantes en el medio ambiente.

4.11 Métodos analíticos

Los métodos propuestos en el Anexo A de esta Norma, mediante los cuales se harán los análisis para determinar el grado de contaminación de suelos contaminados con hidrocarburos.

4.13 Muestra duplicada

Una de dos o más muestras o submuestras que se obtienen separadamente en el mismo sitio, al mismo tiempo y con el mismo procedimiento de muestreo

4.14 Muestreo dirigido

Muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación.

4.15 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.

4.16 Nivel de fondo

Concentración en el suelo de los hidrocarburos regulados que no son atribuibles a la fuente de contaminación que se está considerando y que se encuentran de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada.

4.17 Pasivo Ambiental

Sitio contaminado, que no ha sido remediado, en el que pueden, además, encontrarse depósitos o apilamientos de residuos sólidos, de manejo especial o peligrosos, los cuales deben de ser manejados conforme a la legislación vigente.

4.18 Punto de muestreo

Es el lugar específico donde se toma la muestra.

4.19 Sitio de muestreo

Es el área a muestrear.

4.20 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.

4.21 Suelo contaminado con hidrocarburos:

Aquel en el cual se encuentran presentes hidrocarburos que por sus cantidades y características afecten la naturaleza del suelo

5. Abreviaturas**5.1 BTEX**

B, benceno; T, tolueno; E, etilbenceno; X, xilenos (suma de isómeros)

5.2 HAP

Hidrocarburos aromáticos polinucleares.

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.- Hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante

PRODUCTO CONTAMINANTE	HIDROCARBUROS					
	FRACCION PESADA	HAPs	FRACCION MEDIA	HAPs	FRACCION LIGERA	BTEX
Mezclas	X	X	X	X	X	X
Petróleo crudo	X	X	X	X	X	X
Combustóleo	X	X				
Parafinas	X	X				
Petrolatos	X	X				
Acetes	X	X				
Gasóleo			X	X		
Diesel			X	X		
Turbosina			X	X		
Keroseno			X	X		
Creosota			X	X		
Gasavión					X	X
Gasolvente					X	X
Gasolinas					X	X
Gasnafta					X	X

6.2 Los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2.- Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo

FRACCION DE HIDROCARBUROS	Uso de suelo predominante ¹ (mg/kg base seca)			Método analítico
	Agrícola ²	Residencial ³	Industrial	
Ligera	200	200	500	Anexo A.1
Media	1,200	1,200	5,000	Anexo A.2
Pesada	3,000	3,000	6,000	Anexo A.3

1. Para usos de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados.

2. Agrícola incluye suelo forestal, recreativo, y de conservación.

3. Industrial incluye comercial.

Tabla 3.- Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en suelo

Hidrocarburos específicos	Uso de suelo predominante ¹ (mg/kg base seca)			Método analítico
	Agrícola ²	Residencial ³	Industrial	
Benceno	6	6	15	Anexo A.4
Tolueno	40	40	100	Anexo A.4
Etilbenceno	10	10	25	Anexo A.4
Xilenos (suma de isómeros)	40	40	100	Anexo A.4
Benzo[a]pireno ⁴	2	2	10	Anexo A.5
Dibenzo[a,h]antraceno ⁴	2	2	10	Anexo A.5
Benzo[a]antraceno ⁴	2	2	10	Anexo A.5
Benzo[b]fluoranteno ⁴	2	2	10	Anexo A.5

Benzo[k]fluoranteno ⁴	8	8	80	Anexo A.5
Indeno (1,2,3-cd)pireno ⁴	2	2	10	Anexo A.5

1. Para usos de suelo mixto, deberá aplicarse la especificación al menor valor de los usos de suelo involucrados.
2. Agrícola incluye suelo forestal, recreativo y de conservación.
3. Industrial incluye comercial.
4. La determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares deberá realizarse únicamente en los casos que se pretende demostrar que se está cumpliendo con los límites máximos permisibles

7. Especificaciones para la caracterización

Para la caracterización del sitio se debe recabar información que sirva de base para conocer la dimensión de la afectación.

En caso de derrames o fugas, la caracterización se debe realizar después de haber tomado las medidas de urgente aplicación.

La caracterización del sitio debe contener como mínimo los siguientes elementos:

- Descripción del sitio y de la afectación
- Estrategia de muestreo
- Plan de muestreo
- Informe

7.1 Descripción del sitio y de la afectación

7.1.1 Se debe localizar con coordenadas geográficas UTM la zona de afectación en un plano a escala que permita su ubicación a nivel regional y local.

7.1.2 Se deben determinar las características del sitio que permitan evaluar la distribución del contaminante y del grado de afectación e indicar el uso de suelo y la topografía del mismo.

7.1.3 Cuando se trate de un derrame reciente el responsable de la contaminación debe indicar la cantidad aproximada y el tipo de contaminantes derramados.

7.1.4 Cuando se trate de un pasivo ambiental se debe realizar una recopilación de los antecedentes históricos sobre las actividades y sucesos que originaron la contaminación.

7.1.5 La caracterización debe incluir un plan de muestreo que se debe realizar conforme a lo establecido en numeral 7.3.

7.2 Estrategia de muestreo

Para ayudar a la comprensión de los numerales de este apartado, se incluye el Anexo B.

7.2.1 Se podrá aplicar una estrategia de muestreo por métodos dirigidos o estadísticos, siempre y cuando los resultados permitan delimitar la distribución horizontal y vertical de los contaminantes en el suelo, de conformidad con los límites establecidos en las tablas 2 y 3 de la presente Norma.

7.2.2 Cuando se aplique el muestreo dirigido se deben tomar como mínimo el número de puntos de muestreo en superficie establecidos en la tabla 4.

7.2.3 Cuando el muestreo dirigido no permita delimitar la distribución horizontal y vertical de la zona afectada, ni el tipo de contaminantes y su concentración, se debe realizar una estrategia de muestreo considerando métodos estadísticos.

7.2.4 La selección de los puntos de muestreo debe considerar las características del sitio.

Tabla 4.- Mínimos de puntos de muestreo de acuerdo con el área contaminada

AREA CONTAMINADA (ha)	PUNTOS DE MUESTREO
HASTA 0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15

0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1.0	20
2.0	25
3.0	27
4.0	30
5.0	33
10.0	38
15.0	40
20.0	45
30.0	50
40.0	53
50.0	55
100.0	60

7.3 Plan de muestreo

7.3.1 El responsable del muestreo debe integrar un Plan de Muestreo, en el que:

- Se establezcan y definan las responsabilidades del personal involucrado en cada procedimiento
- Se sustente la ubicación y el número de los puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de las muestras.
- Se describa la técnica de muestreo, el equipo de muestreo y las medidas de seguridad
- Se establezcan las medidas de aseguramiento de calidad del muestreo incluyendo la cadena de custodia.
- Se especifiquen los recipientes, la preservación y el transporte de la muestra.

7.4 Especificaciones técnicas para llevar a cabo el muestreo

7.4.1 Para la toma de muestras se debe apegar al Plan de muestreo elaborado, las desviaciones al mismo se deben justificar y documentar.

7.4.2 Las muestras a tomar en un suelo contaminado siempre serán simples (material colectado en un solo punto de muestreo).

7.4.3 En el muestreo estadístico no se puede tomar muestras en los mismos puntos que los utilizados en el muestreo dirigido.

7.4.4 Evitar el uso de fluidos de perforación y la utilización de equipos y recipientes para las muestras que ocasione la pérdida de hidrocarburos volátiles y la contaminación cruzada.

7.4.5 Durante la perforación para la obtención de muestras de suelo no se debe ocasionar la contaminación de acuíferos.

7.4.6 Como un procedimiento de aseguramiento de calidad, se tomará y analizará una muestra duplicada por cada diez muestras tomadas.

- i. En los casos en que se sospeche la presencia de hidrocarburos ajenos al problema de contaminación que se esté evaluando, se podrán tomar muestras que sirvan para establecer niveles de fondo.
- ii. Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre, debe entregarse al laboratorio junto con las muestras de suelo para calibrar el equipo de análisis y facilitar la identificación del tipo de hidrocarburo presente.

7.5 Especificaciones sobre la integridad, identificación y manejo de las muestras

7.5.1 Para seleccionar el recipiente apropiado deben observarse las especificaciones contenidas en la tabla 5 de esta Norma Oficial Mexicana.

7.5.2 Los recipientes deben ser nuevos o libres de contaminantes.

7.5.3 Cuando se requiera analizar hidrocarburos de fracción ligera y BTEX la muestra se debe tomar en recipientes independientes del resto de las fracciones.

Tabla 5.- Recipientes para las muestras, temperaturas de preservación y tiempo máximo de conservación por tipo de parámetro

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación
Hidrocarburos Fracción Ligera	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón (Cartucho con sello que asegure la representatividad de las muestras hasta su análisis)	4°C	14 días
BTEX		4°C	7 días
Hidrocarburos Fracción Media	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón (Cartucho con sello que asegure la representatividad de las muestras hasta su análisis)	4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Pesada		4°C	14 días
HAP		4°C	14 días

1 /El tiempo máximo de conservación 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

7.5.4 Cada muestra deberá ser sellada y etiquetada inmediatamente después de ser tomada y debe ser entregada para su análisis a un laboratorio de pruebas acreditado.

7.5.4.1 No se deben analizar muestras cuyos sellos han sido violados.

7.5.4.2 Todos los sellos deben contar con el número o clave única de la muestra.

7.5.4.3 Todas las etiquetas deben contar con la siguiente información como mínimo: nombre de la persona que tomó la muestra, fecha y hora de muestreo, nombre de la empresa, lugar del muestreo, y número o clave única misma que la del sello.

7.6 El informe de la caracterización debe contener como mínimo lo establecido en todos los numerales de este capítulo, así como los resultados de los análisis realizados, los métodos utilizados, la interpretación de los resultados, y se debe anexar la cadena de custodia correspondiente.

8. Especificaciones ambientales para la remediación.

8.1 En el caso de que la concentración de hidrocarburos en todas las muestras de suelo analizadas sean iguales o menores a los límites máximos permisibles de contaminación establecidos en las tablas 2 y 3 del capítulo 6 de esta Norma Oficial Mexicana, no serán necesarios los trabajos de remediación.

8.2 Todo aquel suelo que presente concentraciones de hidrocarburos por arriba de los límites máximos permisibles de contaminación establecidos en las tablas 2 y 3 del capítulo 6 de esta Norma Oficial Mexicana, deben ser restaurados hasta cumplir con el numeral 8.1.

8.3 En caso de pasivos ambientales y otros casos justificables se podrán determinar acciones de remediación específicas al sitio con base en estudios de evaluación de riesgo al ambiente y a la salud conforme lo establecido en la legislación vigente.

8.3.1 La evaluación de riesgo al ambiente y a la salud, tendrá como finalidad establecer cualquiera de las siguientes opciones específicas al sitio:

- a) acciones de remediación con base en niveles específicos,
- b) acciones de remediación para disminuir los riesgos y la exposición a los contaminantes,
- c) acciones de monitoreo.

8.3.2 El riesgo al ambiente se evaluará como mínimo con base en la determinación de la dispersión de los contaminantes, la determinación de la capacidad de retención de los contaminantes en el suelo y la exposición y la toxicidad de los contaminantes a los organismos blanco residentes en el sitio.

8.3.3 En el caso de que en el sitio existan especies vegetales o animales bajo protección de la legislación ambiental vigente, la evaluación del riesgo al ambiente se realizará con base en un estudio ecotoxicológico a dichas especies.

8.3.4 El estudio de evaluación de riesgo a la salud humana se hará con base a una metodología aceptada por la autoridad competente.

8.4 Durante la remediación se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

8.4.1 Se debe evitar la transferencia de contaminantes al suelo limpio, al aire y al agua.

8.4.2 No se deben generar mayores alteraciones ambientales que las producidas por el suceso que provocó la contaminación.

8.4.3 No se debe diluir el suelo contaminado, entendiéndose por ello la mezcla de suelo contaminado con suelo limpio o menos contaminado, cuando por esta acción directa se pretenda lograr concentraciones de hidrocarburos por debajo de los límites establecidos en esta Norma.

8.4.4 Sólo se permite la adición de materia orgánica como co-sustrato cuando ésta sea parte de la técnica de remediación.

8.4.5 Sólo se permite el uso de formulaciones químicas, o de microorganismos que no alteren en detrimento las características y propiedades del ecosistema.

8.4.6 No se deben utilizar microorganismos modificados a través de manipulación genética.

8.4.7 Cuando la técnica de remediación utilizada modifique el pH del suelo, se debe garantizar al final de la remediación que éste sea similar al de la zona aledaña.

8.4.8 Los lixiviados generados durante el tratamiento del suelo contaminado deberán manejarse conforme a la legislación vigente.

8.4.9 Cuando las actividades de limpieza impliquen la construcción de obra civil o hidráulica adicional a la existente se deberá cumplir con la normatividad en materia de impacto ambiental

8.5 En el caso de que los niveles de fondo de hidrocarburos sea mayor a los límites máximos permisibles de contaminación establecidos en las tablas dos y tres del capítulo 6 de esta Norma Oficial Mexicana, los trabajos de remediación serán realizados hasta alcanzar los niveles de fondo.

9. Evaluación de la conformidad

La evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana se realizará de acuerdo a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, además de lo siguiente:

9.1 El procedimiento de evaluación de la conformidad se llevará a cabo por las Unidades de Verificación (UV's) y los laboratorios acreditados y aprobados, y en ausencia de éstos la evaluación se realizará por parte de las autoridades competentes.

9.2 Durante la visita de evaluación, la UV o la autoridad competente comprobarán que se mantiene el cumplimiento de las disposiciones de la presente Norma:

9.2.1 La Secretaría reconocerá las determinaciones analíticas que hayan sido muestreadas y analizadas por un laboratorio acreditado conforme a las disposiciones legales aplicables, y de acuerdo a los métodos establecidos en los anexos A.1 a A.6 de la presente Norma.

10. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración

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

Australian National Environment Protection Council. Guideline on the investigation levels for soil and Groundwater. Australia, 1999.

Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada-wide standards for petroleum hydrocarbons (PHCs) in soil. April, May 2001. Winnipeg, Canada.

Environmental Protection Division of the Prince Edward Island Department of Technology and Environment. Petroleum Contaminated Site Remediation Guideline. Canada, 1999.

Environmental Research Advisory Council of the Canadian Association of Petroleum. Environmentally acceptable endpoints for residual petroleum hydrocarbons in soil. Canada, January 2001.

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 5) 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.

La Agencia de Protección Ambiental (USEPA). Lineamientos Finales para la Evaluación de Exposiciones. FR 57 (104) 22888-22938. 1992.

La Agencia de Protección Ambiental (USEPA). Metas Preliminares para la Región IX (PRGs). 2004. <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg>.

La Agencia de Protección Ambiental (USEPA). 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

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

NMX-AA-052, Protección al Ambiente Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Preparación de Muestras en Laboratorios para su Análisis.

NOM-EM-138-ECOL-2002, Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, publicada el 20 de agosto de 2002 en el **Diario Oficial de la Federación**.

Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados. Ecuador, 2003.

NYC Department of Environmental Conservation, Division of Environmental Conservation Remediation. Spill technology and remediation series. August 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. Editorial Mundi-Prensa, Barcelona.

Seoanez Calvo, Mariano. El gran diccionario del medio ambiente y la contaminación. Mundi-Reusa/Coediciones. México, 1997.

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group. Development of Fraction Specific Reference Doses (RfDs) and Reference Concentrations (RfCs) for Total Petroleum Hydrocarbons (Volume 4) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1998. Grupo de Trabajo para establecer Criterios para el consumo máximo de varias fracciones de hidrocarburos que no hace daño a la salud humana (RfD) y la inhalación máximo del hidrocarburos que no dañará la salud humana. (Volumen 4) Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1998.

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group. Composition of Petroleum Mixtures (Volume 2). Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1998. Grupo de Trabajo para establecer Criterios sobre Hidrocarburos Totales del Petróleo. La composición de mezclas de hidrocarburos de petróleos (Volumen 2). Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1998.

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group. Human Health Risk-based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing The Working Group Approach (Volume 5). Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts. 1997.

12. Observancia

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales 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 establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás disposiciones legales aplicables.

TRANSITORIO

UNICO.- La presente Norma Oficial Mexicana, entrará en vigor 60 días después de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Provéase la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, Distrito Federal, a los seis días del mes de enero de dos mil cinco.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Juan Rafael Elvira Quesada**.- Rúbrica.- El Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización, de Regulación y Fomento Sanitario, **Ernesto Enriquez Rubio**.- Rúbrica

ANEXO A. METODOS ANALITICOS PARA LA DETERMINACION DE HIDROCARBUROS EN SUELOS

En este Anexo se presentan los resúmenes de los métodos analíticos que se deben utilizar para evaluar las concentraciones de los hidrocarburos presentes en los suelos a los cuales se les va a evaluar su conformidad con esta NOM.

Como se observa, no se presentan los métodos completos sino sus principales elementos para obtener resultados confiables y reproducibles, es fundamental que los laboratorios de ensayo que apliquen estos métodos utilicen las referencias bibliográficas como base para establecer sus propios protocolos de trabajo, los cuales deben cumplir con las especificaciones de este Anexo y con todas las especificaciones de control de calidad y de desempeño de los métodos de referencia

Las muestras deben ser perfectamente homogeneizadas y cribadas con un tamiz de ± 1.0 mm en campo, lo anterior evitando en lo posible la pérdida de los compuestos volátiles antes de su envase final y transporte al laboratorio.

A.1 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS DE FRACCION LIGERA

1.1 Método analítico

El análisis de hidrocarburos de fracción ligera deberá cubrir pesos moleculares entre C5 y C10 y puntos de ebullición entre 60°C y 170°C, que en su mayoría corresponden a sustancias volátiles.

El método de referencia es el EPA 8015B 1996 o versiones posteriores, para Hidrocarburos Rango Gasolina (GRO) modificado con el método de la Ref 2.

La determinación cuantitativa se deberá realizar con un cromatógrafo de gases con columna capilar no polar y detector de ionización de flama o detector selectivo de masas en modo TIC. Como resultado se obtiene un perfil de picos cuya separación está en función de los pesos moleculares de los hidrocarburos presentes.

1.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente los hidrocarburos que están presentes en la muestra de suelo homogeneizada y cribada. Debe utilizarse un sistema de Purga y Trampa, el cual está acoplado al cromatógrafo de gases con la finalidad de introducir los hidrocarburos directamente a la columna de separación, inmediatamente después de haber sido purgados del suelo y concentrados en una trampa especial, con lo cual se reduce la manipulación de la muestra y los tiempos entre la extracción y el propio análisis.

La técnica de Purga y Trampa consiste en hacer pasar una corriente de gas inerte a temperatura ambiente, a través de la muestra suspendida en agua reactivo y calentada a 40°C. Los hidrocarburos ligeros se desorben del suelo, pasan a la fase gaseosa y son entonces captados por un material adsorbente en la trampa del equipo. Posteriormente, este material se calienta y se le hace pasar a contracorriente, un gas inerte que desorbe los hidrocarburos, arrastrándolos hacia la columna del cromatógrafo.

1.3 Calibración

De acuerdo al numeral 7.4.6 de la Norma, cuando exista producto libre, éste deberá entregarse junto con la muestra para calibrar el equipo y cuantificar la cantidad de producto derramado.

Para la calibración del equipo se deberá utilizar una mezcla estandarizada de compuestos puros que simulan una gasolina. Se deberán cumplir los requisitos de calidad para métodos analíticos establecidos por la normatividad correspondiente.

SOLUCION PATRON DE CALIBRACION DE HIDROCARBUROS FRACCION LIGERA (en metanol)	
Compuesto	Concentración mg/L
pentano	100
2 metilpentano	100
MTBE	100
2,2,4 trimetilpentano	100
benceno	100
tolueno	100
n-nonano	100
n-decano	100
etilbenceno	100
m,p,o-xilenos	100
1,2,4 trimetilbenceno	100
n-butilciclohexano	100
naftaleno	100
Total	1,300

La curva de calibración debe iniciar al menos en 10 mg/kg y hasta el rango lineal del equipo utilizado.

1.4 Cuantificación

La cuantificación deberá realizarse por la suma de áreas de todos los picos que conforman el perfil dentro del intervalo de C5 (pentano) a C10 (naftaleno), a partir de la línea base y no con el método de valle- valle

1.5 Reporte de resultados

Se deberá reportar la concentración de hidrocarburos de fracción ligera en mg/kg base seca, por lo cual será necesario determinar también la humedad de la muestra conforme al método del Anexo A.6 de esta Norma.

1.6 Referencias

1. Evaluation of Proposed Analytical Methods to Determine Total Petroleum Hydrocarbons in Soil and Groundwater prepared by Midwest Research Institute for USEPA Office of Underground Storage Tanks, August 14, 1990.
2. Procedures for the laboratory analysis of hydrocarbon samples in terms of carbon fractions, August 4, 2000 submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F. Prepared by Advanced Infrastructure Management Technologies Oak Ridge, Tennessee 37831-7606, managed by Lockheed Martin Energy Systems, Inc. for the U.S. Department of Energy under contract No. DE-AC05-84OR-21400.
3. EPA 5030 B (1996). Purge and Trap for Aqueous Samples (Revision 2, December 1996).
4. EPA 5035 (1996). Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste Samples (Revision 0, December 1996)
5. EPA 8015 C (2000). Non-Halogenated Organics Using GC/FID (Revision 3, November 2000).
6. Anexo AS-05 Contenido de humedad del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

A.2 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS DE FRACCION MEDIA

2.1 Método analítico

El análisis de hidrocarburos de fracción media deberá cubrir pesos moleculares entre C10 y C28 y puntos de ebullición entre 170°C y 430°C.

El método de referencia es el EPA 8015B 1996 para Hidrocarburos Rango Diesel (DRO) o versiones posteriores, modificado con el método de la Referencia 1.

La determinación cuantitativa se deberá realizar con un cromatógrafo de gases con columna capilar no polar y detector de ionización de flama. Como resultado se obtiene un perfil de picos cuya separación está en función de los pesos moleculares de los hidrocarburos presentes.

2.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente los hidrocarburos que están presentes en la muestra de suelo homogeneizada y cribada, mediante cualquiera de las técnicas que se enlistan a continuación.

Soxhlet. Una muestra de suelo homogeneizada y cribada se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se coloca en un cartucho de celulosa para extraer los hidrocarburos en un equipo tipo Soxhlet. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1).

Sonicación. Una muestra de suelo homogeneizada y cribada se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se somete a sonicación en presencia de un disolvente orgánico de una a tres veces, según el contenido de hidrocarburos. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1). El extracto se separa del suelo por filtración al vacío o por centrifugación.

Los extractos orgánicos se concentran con un concentrador Kuderna Danish a un volumen final entre 1 y 10 ml según la sensibilidad deseada.

2.3 Calibración

De acuerdo al numeral 7.4.6 de la Norma, cuando exista producto libre, éste deberá entregarse junto con la muestra para calibrar el equipo y cuantificar la cantidad de producto derramado.

Para la calibración del equipo se deberá utilizar una mezcla de compuestos puros que simulan un diesel. Se deberán cumplir los requisitos de calidad para métodos analíticos establecidos por la normatividad correspondiente.

SOLUCION PATRON DE CALIBRACION DE HIDROCARBUROS FRACCION MEDIA (en metanol)	
Compuestos	Concentración, mg/L
Decano	1,000
Dodecano	1,000
Tetradecano	1,000
Hexadecano	1,000
Octadecano	1,000
Eicosano	1,000
Docosano	1,000
Tetracosano	1,000
Hexacosano	1,000
Octacosano	1,000
Total	10,000

La curva de calibración debe iniciar al menos en 10 mg/kg y hasta el rango lineal del equipo utilizado.

2.4 Cuantificación

La cuantificación deberá realizarse por la suma de áreas de todos los picos que conforman el perfil dentro del intervalo de C10 a C28, a partir de la línea base y no con el método de valle-valle.

2.5 Reporte de resultados

Se deberá reportar la concentración de hidrocarburos de fracción media en mg/kg base seca, por lo cual será necesario determinar también la humedad de la muestra conforme al método del Anexo A.6 de esta Norma.

2.6 Referencias

1. "Procedures for the laboratory analysis of hydrocarbon samples in terms of carbon fractions", August 4, 2000 submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F. Prepared by Advanced Infrastructure Management Technologies Oak Ridge, Tennessee 37831-7606, managed by Lockheed Martin Energy Systems, Inc. for the U.S. Department of Energy under contract No. DE-AC05-84OR-21400.
2. "Method for Determination of Extractable Petroleum Hydrocarbons (EPH) in Soil and Water" -Draft-February 28, 1990; prepared for Total Petroleum Hydrocarbons Method Committee by Midwest Research Institute.
3. EPA 3540 C (1996). Soxhlet Extraction (Revision 3, December 1996).
4. EPA 3550 C (2000) Ultrasonic Extraction (Revision 3, December 2000).
5. EPA 8015 C (2000). Non-Halogenated Organics Using GC/FID (Revision 3, November 2000).
6. Anexo AS-05 Contenido de humedad del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

A.3 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS DE LA FRACCION PESADA

3.1 Método analítico

El análisis de hidrocarburos de la fracción pesada deberá cubrir pesos moleculares mayores a C18.

Los métodos de referencia son el EPA 9071B para la extracción de los HCFP del suelo con n-hexano y su purificación y determinación gravimétrica por el método EPA 1664A.

La determinación cuantitativa se deberá realizar gravimétricamente a partir del extracto con n-hexano de la muestra de suelo cribada y secada con Na_2SO_4 anhidro y procesada con sílica gel estandarizada.

3.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario que la muestra de suelo homogeneizada y cribada sea extraída con n-hexano mediante cualquiera de las técnicas que se enlistan a continuación.

- Soxhlet. Una muestra de suelo homogeneizada y cribada se mezcla con sulfato de sodio anhidro hasta eliminar el agua contenida. Se coloca en un cartucho de celulosa para extraer los hidrocarburos en un equipo tipo Soxhlet con n-hexano.
- Sonicación. Una muestra de suelo homogeneizada y cribada se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se somete a sonicación en presencia del n-hexano de una a tres veces, según el contenido de hidrocarburos. El extracto se separa del suelo por filtración al vacío o por centrifugación.

3.3 Limpieza de la muestra

Un aspecto importante para la confiabilidad de este análisis radica en la limpieza de la muestra, la cual se deberá hacer con gel de sílice en una proporción de 30 gramos por cada gramo de material extraído, según se refiere en el método EPA 1664A.

Además, se debe someter la muestra en su totalidad a un proceso de homogeneización y cribado antes de iniciar el análisis; este paso es necesario para evitar sesgo en la selección de la submuestra que va a ser destinada para las determinaciones analíticas.

3.4 Calibración

Se debe utilizar una balanza analítica calibrada y se debe estandarizar la gel de sílice como se especifica en el método EPA 1664A.

3.5 Reporte del resultado

Se deberá reportar la concentración de hidrocarburos de fracción ligera en mg/kg base seca, por lo cual será necesario determinar también la humedad de la muestra conforme al método del Anexo A.6 de esta Norma.

3.6 Referencias

1. EPA 1664A (2002). n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-Polar Material) by Extraction and Gravimetry (revision A, July 2002).
2. EPA 9071B n-Hexane Extractable Material (HEM) for Sludge, sediment and Solid Samples , SW 846 Rev III A, 1998.
3. EPA 3540 C (1996). Soxhlet Extraction (Revision 3, December 1996).
4. EPA 3550 C (2000). Ultrasonic Extraction (Revision 3, December 2000).
5. Anexo AS-05 Contenido de humedad del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

A.4 DETERMINACION DE BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO Y XILENOS (SUMA DE ISOMEROS)

4.1 Método analítico

La determinación cuantitativa de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (como la suma de los isómeros *orto-*, *meta-* y *para-*) se debe realizar en un equipo de cromatografía de gases con columnas capilares adecuadas. Pueden utilizarse cualquiera de los siguientes sistemas de detección: espectrometría de masas, o detectores de fotoionización y conductividad electrolítica colocados en serie o si no están en serie, el análisis con doble columna de polaridad diferente en forma simultánea, para la cuantificación y confirmación de los analitos de interés.

El método de referencia es el EPA 8260B 1996 o versiones posteriores para Compuestos Orgánicos Volátiles por HRGC/MSD y Purga y Trampa o el EPA 8021B 1996 o versiones posteriores para Compuestos Volátiles Aromáticos y Halogenados por Cromatografía de Gases usando Detectores de Fotoionización y Conductividad Electrolítica y Concentrador de Purga y Trampa.

4.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente los BTEXs que están presentes en la muestra de suelo homogeneizada y cribada. Debe utilizarse un sistema de Purga y Trampa, el cual esta acoplado al cromatógrafo de gases/espectrómetro de masas con la finalidad de introducir los hidrocarburos directamente a la columna de separación, inmediatamente después de haber sido purgados del suelo y concentrados en una trampa especial, con lo cual se reduce la manipulación de la muestra y los tiempos entre la extracción y el propio análisis.

La técnica de Purga y Trampa consiste en hacer pasar una corriente de gas inerte a temperatura ambiente, a través de la muestra suspendida en agua reactivo y calentada a 40°C. Los hidrocarburos ligeros se desorben del suelo, pasan a la fase gaseosa y son entonces captados por un material adsorbente en la trampa del equipo. Posteriormente, este material se calienta y se le hace pasar a contracorriente, un gas inerte que desorbe los hidrocarburos, arrastrándolos hacia la columna del cromatógrafo donde son separados y transferidos al espectrómetro de masas donde son identificados y cuantificados.

4.3 Calibración

Para la calibración del equipo se deberán utilizar: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (isómeros *orto-*, *meta-* y *para-*) puros certificados o una mezcla de materiales de referencia con certificado de análisis. Se deberán cumplir con los requisitos de calidad para métodos analíticos establecidos por la normatividad correspondiente.

La curva de calibración debe iniciar para cada compuesto en una concentración 10 veces menor al límite máximo permisible más bajo de la NOM-138-SEMARNAT-2003 y hasta el rango lineal de trabajo del método.

4.4 Cuantificación

No se debe utilizar el TIC para cuantificar, la cuantificación deberá realizarse considerando la técnica de Perfil de Extracto de Iones con el área bajo la curva del ión principal de cada compuesto a partir de la línea base.

Se deberá confirmar la identidad de cada compuesto por medio de la comparación del espectro de masas con la biblioteca de espectros del equipo.

4.5 Reporte de resultados

Se deberá reportar la concentración de los hidrocarburos de manera individual, benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (suma de isómeros), en mg/kg base seca, por lo cual será necesario determinar también la humedad de la muestra conforme al método del Anexo A.6 de esta Norma.

Se deberán anexar los TIC de cada uno de los BTEX identificados comparados con la biblioteca de espectros del equipo.

4.6 Referencias

1. EPA 5035 (1996). Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste Samples (Revision 0, December 1996)
2. EPA 8260 B (1996). Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) (Revision 2, December 1996).
3. Anexo AS-05 Contenido de humedad del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

A.5 DETERMINACION DE HIDROCARBUROS POLIAROMATICOS (HPAs)

5.1 Método analítico

Los métodos de referencia son el EPA 8310 1986 o el EPA 8270C 1996 o versiones posteriores, para Hidrocarburos Poliaromáticos modificados con el de la Referencia 1.

La determinación cuantitativa de hidrocarburos poliaromáticos se debe realizar en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución con detector de DAD acoplado con un detector de fluorescencia (EPA 8310 1986) o por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (EPA 8270C 1996)

Cuando existan interferencias que no permitan identificar o cuantificar los HPAs por Cromatografía de Líquidos, se deberá utilizar Espectrometría de Masas para la identificación y cuantificación, los límites de detección aumentarán dependiendo de las interferencias, por lo que deberán estimarse e informarse en el reporte de resultados o aplicar un método de limpieza adecuado al extracto obtenido y analizar ya sea por Cromatografía de Líquidos o por espectrometría de masas

Con estos métodos se pueden identificar y cuantificar 16 HPAs diferentes, aunque los importantes para efectos de aplicación de esta Norma son: benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno.

5.2 Preparación de la muestra

Para el análisis es necesario extraer previamente los hidrocarburos que están presentes en la muestra de suelo homogeneizada y cribada, mediante cualquiera de las técnicas que se enlistan a continuación.

Soxhlet. Una muestra de suelo homogeneizada y cribada se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se coloca en un cartucho de celulosa para extraer los hidrocarburos en un equipo tipo Soxhlet. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1) (v/v).

Sonicación. Una muestra de suelo homogeneizada y cribada se mezcla con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua contenida. Se somete a sonicación en presencia de un disolvente orgánico de una a tres veces, según el contenido de hidrocarburos. El disolvente puede ser una mezcla de acetona/hexano (1:1) (v/v), o bien, cloruro de metileno/acetona (1:1). El extracto se separa del suelo por filtración al vacío o por centrifugación.

En cualquiera de los dos casos, se puede requerir una limpieza para eliminar interferencias.

5.3 Calibración

Para la calibración del equipo se deberá utilizar al menos los siguientes compuestos puros certificados o una mezcla de materiales de referencia certificados: benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno. Se deberán cumplir los requisitos de calidad para métodos analíticos establecidos por la normatividad correspondiente.

En el caso de Cromatografía de Líquidos, se deben programar los detectores para tener las siguientes longitudes de onda de cuantificación en el detector de fluorescencia a los tiempos de retención de cada uno de los compuestos, el detector de DAD debe programarse de 200 a 350 nm con objeto de obtener los espectros UV que ayudarán a identificar los picos de los HPAs detectados y utilizar 270 nm para cuantificar los tres primeros HPAs.

Compuesto	Longitud de Onda UV	Longitud de Onda de Excitación (nm)	Longitud de Onda de Emisión (nm)
Pireno		237	385
Benzo(a)antraceno		277	376
Benzo(b)fluoranteno		255	420
Benzo(k)fluoranteno		255	420
Benzo(a)pireno		255	420
Dibenzo(a,h) antraceno		300	415
Indeno(1,2,3-c ,d) pireno		250	495

La curva de calibración debe iniciar para cada compuesto en una concentración 10 veces menor al límite máximo permisible más bajo de la NOM-138-SEMARNAT-2003 y hasta el rango lineal de trabajo del método.

5.4 Cuantificación

Se deberá considerar el área bajo la curva de cada compuesto a partir de la línea base con la señal de la longitud de onda especificada en la tabla anterior.

En el caso de Espectrometría de Masas, no se debe utilizar el TIC para cuantificar, la cuantificación deberá realizarse considerando la técnica de Perfil de Extracto de Iones con el área bajo la curva del ión principal de cada compuesto a partir de la línea base y se deberá confirmar la identidad de cada compuesto por medio de la comparación del espectro de masas con la biblioteca de espectros del equipo.

5.5 Reporte de resultados

Se deberá reportar la concentración de benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno en mg/kg base seca, por lo cual será necesario determinar también la humedad de la muestra conforme al método del Anexo A.6 de esta Norma.

5.6 Referencias

1. Handbook for the HPLC Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Agilent Technologies, HP Part No. 01050-90300.
2. EPA 3540 C (1996). Soxhlet Extraction (Revision 3, December, 1996).
3. EPA 3550 C (2000). Ultrasonic Extraction (Revision 3, December, 2000).
4. EPA 8270 D (1998). Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) (Revision 4, January 1998).
5. EPA 8310 (1986). Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (Revision 0, September 1986).
6. Anexo AS-05 de la NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

A.6 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

6.1 Método analítico

El método de referencia es el Anexo AS-05 de la NOM-021-RECNAT-2000.

El método se basa en la determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de suelo. Esta masa de agua se referencia de la masa de suelo seco de la muestra. La determinación de la masa de agua se realiza por la diferencia en peso entre la masa de suelo húmedo y la masa de suelo seco. Se considera como suelo seco aquel secado a la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante.

En muestras de suelos con hidrocarburos de la fracción ligera y media, el secado a 105°C puede producir pérdida de masa de dichos hidrocarburos volátiles. Sin embargo, bajo este método, esto es inevitable.

6.2 Preparación de la muestra

Se coloca la muestra en un recipiente de aluminio tarado y se pesa, posteriormente, si la muestra presenta indicios de contener hidrocarburos volátiles que pudieran presentar un riesgo de explosión al

colocar la muestra en la estufa, se debe dejar la muestra al menos 12 horas a temperatura ambiente para que se evaporen estos compuestos volátiles, para después ser secada en la estufa, en caso contrario, los recipientes de aluminio con la muestra homogeneizada y cribada se introducen inmediatamente en la estufa durante ocho horas como mínimo a una temperatura de 105°C posteriormente se registra el peso y se vuelven a introducir los recipientes hasta que se logre un peso constante en las muestras.

6.3 Calibración

Se debe utilizar una balanza calibrada.

6.4 Cuantificación

Se deben tener las muestras a peso constante antes de su cuantificación final, el resultado se debe calcular con el promedio de las dos últimas muestras que se leyeron para obtener el peso constante.

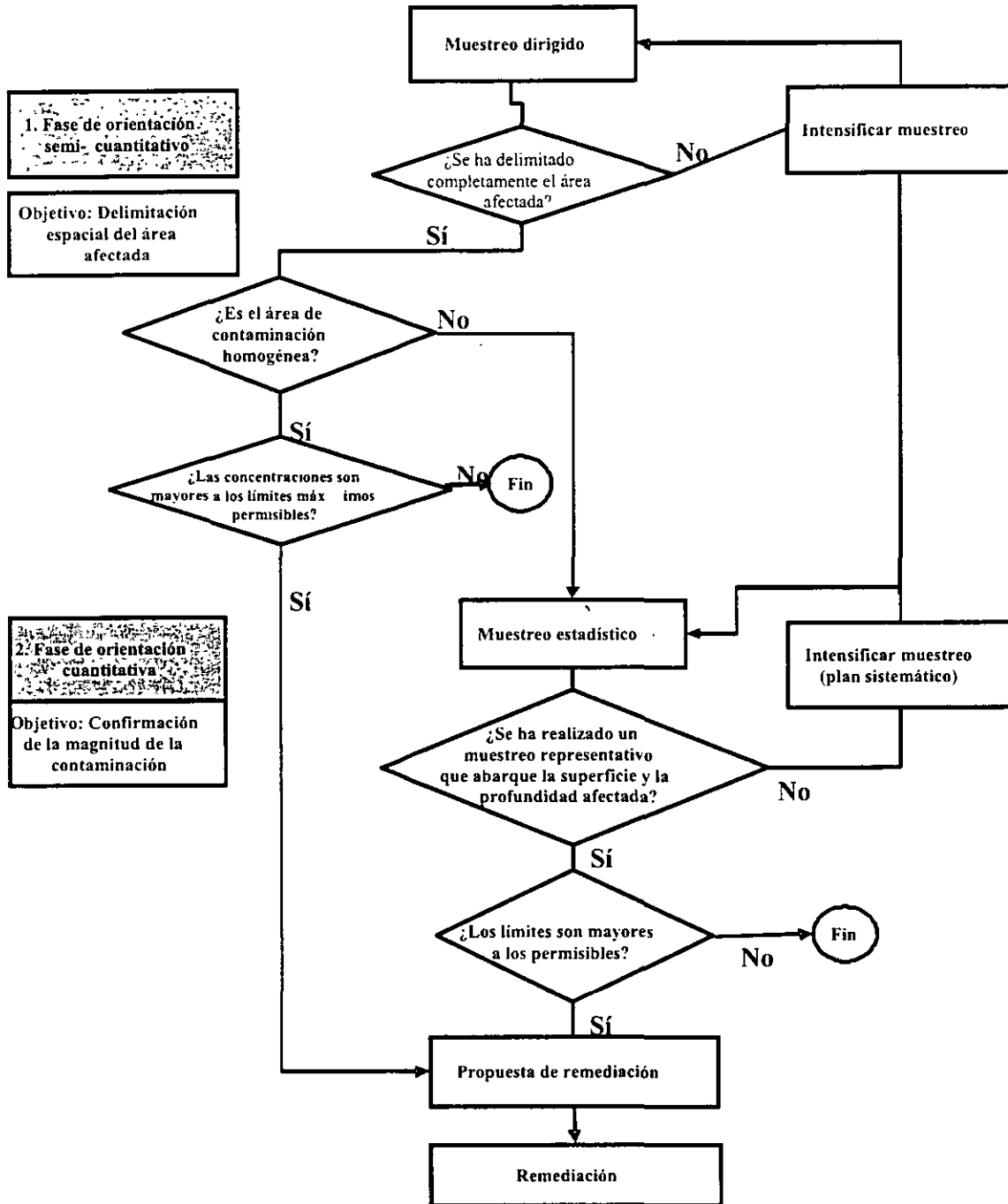
6.5 Reporte de resultados

El resultado se debe expresar en % con tres cifras significativas

6.6 Referencias

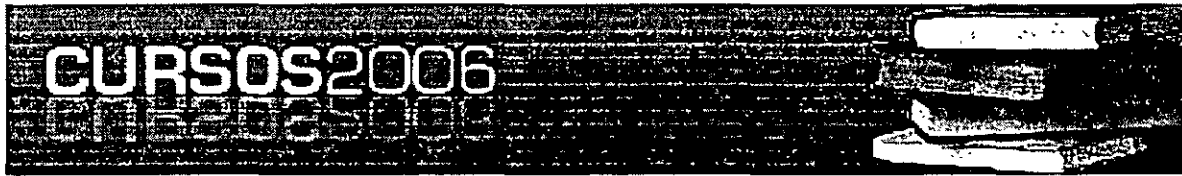
Anexo AS-05 Contenido de humedad del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

ANEXO B Estrategia General de Muestreo





FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA:

ASPECTOS IMPORTANTES DURANTE LA
REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN
EN SITIOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

ASPECTOS IMPORTANTES DURANTE LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN EN SITIOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Dra. Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM
ssavalb@iingen.unam.mx

Información mínima que debe contener el plan de muestreo

- Nombre del responsable del estudio y de la persona que elaboró el plan de muestreo
- Responsabilidad de los involucrados
- Antecedentes de la contaminación (si existen)
- Motivo del muestreo
- Combustibles o hidrocarburos que se presume están presentes
- Fecha programada para el muestreo
- Estrategia de muestreo
- Patrón de muestreo por aplicar
- Plano de localización del sitio conteniendo los puntos de muestreo propuestos
- Número de puntos de muestreo según la estrategia a utilizar
- Profundidades del muestreo
- Identificación o clave que se utilizará para las muestras
- Técnica que se utilizará para la obtención de las muestras
- Equipos, aparatos o herramientas que serán utilizados
- Recipientes que serán utilizados para almacenar las muestras
- Volumen de muestras a obtener
- Medidas de aseguramiento de calidad
- Datos generales del laboratorio que realizará los análisis, incluyendo clave de la acreditación ante la ema y su vigencia
- Información sobre la preservación y traslado de las muestras
- Parámetros por analizar
- Documentos comprobatorios

Información mínima que debe contener la cadena de custodia

Al momento del llenado

- Identificación del sitio
- Motivo del muestreo
- Datos generales del laboratorio que realizará los análisis, incluyendo clave de la acreditación ante la ema y su vigencia
- Identificación o clave de las muestras
- Coordenadas UTM que refieran la localización de las muestras
- Profundidad de las muestras
- Matriz de las muestras (suelo, lodos, sedimentos,)

- Fecha y hora de obtención de las muestras
- Análisis solicitados para cada muestra
- Nombre y firma del responsable de la toma de muestras que es el representante del laboratorio con pruebas acreditadas ante la ema
- Nombre y firma del responsable de la contaminación
- Nombre y firma del responsable del estudio (empresa de consultoría para casos de contaminación y empresa autorizada por la SEMARNAT para casos de remediación)
- Nombre y firma del representante de la Profepa y de alguna otra autoridad involucrada
- Nombre y firma de los involucrados en el traslado de las muestras al laboratorio
- Fecha y hora de los traslados

A su ingreso al laboratorio

- Fecha y hora de recepción de las muestras
- Nombre y firma de quien recibe las muestras
- Número de orden o de recepción de las muestras
- Cuando aplique, comentarios/observaciones sobre las condiciones en que fueron recibidas las muestras

Nota: actualmente una cadena de custodia tiene un peso legal importante, por lo que la información que contenga debe permitir rastreabilidad y en su caso, la reconstrucción de las actividades.

Muestra duplicada

Debe ser interpretada como una muestra que:

- Haya sido obtenida en el mismo punto de muestreo
- A la misma profundidad de muestreo
- Al mismo tiempo que la muestra que se desea duplicar
- Mediante la misma técnica y procedimiento de muestreo
- Se le de el mismo tratamiento que recibe la muestra que se desea duplicar
- Se traslade al laboratorio junto con la muestra que se desea duplicar
- Se analice de manera simultánea a la muestra que se desea duplicar

Es válido obtener una muestra mediante perforación con equipo pesado y dividirla en dos recipientes que se manejan de la misma forma y simultáneamente.

Delimitación de la pluma de contaminación

En el plano horizontal, se debe asegurar haber aplicado una estrategia de muestreo, o en su caso, un patrón de muestreo tal, que haya cubierto toda la zona de estudio para demostrar que las muestras alrededor de la pluma tengan una concentración de hidrocarburos menor a los límites máximos permisibles correspondientes según la fracción de hidrocarburos y el uso de suelo. En el mismo sentido, en el plano vertical, se debe asegurar que las muestras alcanzaron profundidades donde los análisis demostraron concentraciones de hidrocarburos menores a los límites máximos permisibles correspondientes.

Responsabilidades de los involucrados

En el numeral 7.3.1 de la NOM, hay una gran confusión en el término "responsable del muestreo", ya que éste se confunde con el representante del laboratorio acreditado que será el responsable de la toma de muestras. Se considera necesario especificar las funciones de los involucrados, se sugiere lo siguiente:

Para el cumplimiento de la presente NOM, será necesario definir los diferentes involucrados en un estudio de caracterización o remediación, así como sus funciones:

1. Responsable de la contaminación. Es el representante legal de la empresa que ocasionó la contaminación, o el representante de la instalación. En cualquier caso es el que mantiene contacto directo con la autoridad ambiental correspondiente.

2. Responsable del estudio (consultor). Es la persona física o moral que es contratada por el responsable de la contaminación para llevar a cabo estudios de caracterización o remediación de suelos. Para el caso de remediación la empresa debe contar con la autorización para el tratamiento de residuos peligrosos expedida por la SEMARNAT (DGGIMAR). Esta figura es la responsable de elaborar el plan de muestreo y de definir y justificar la localización de los puntos de muestreo.

3. Representante del laboratorio acreditado o Responsable de la toma de muestras. Esta persona debe verificar la representatividad de las muestras en todos los sentidos como una forma de aseguramiento de calidad. Debe llenar la cadena de custodia, así como otros registros que incluyan toda la información necesaria sobre el muestreo.

4. Autoridad ambiental. Es el representante de la Profepa o en su caso de la SEMARNAT, que verifica que lo realizado en campo y el informe del estudio cumplen con lo establecido en la NOM, para definir las acciones que deberán ser tomadas.

Homogeneización y Cribado de las muestras de suelo

La procedencia de esta acción deberá estar determinada por el tipo de producto contaminante y las características del suelo. En su caso el representante del laboratorio acreditado que es el responsable de la toma de muestras será quien tome la decisión sobre la procedencia de esta acción. Se entiende que los procedimientos del laboratorio acreditado consideran los criterios aplicables, para asegurar la calidad y representatividad de las muestras. A continuación se mencionan algunos detalles importantes:

Muestras que no deben ser homogeneizadas, ni cribadas:

- Para análisis de fracción ligera y/o BTEX, independientemente del tipo de suelo, debido a la volatilidad de los hidrocarburos por analizar.
- Para análisis de fracción pesada, independientemente del tipo de suelo, debido a la consistencia "pegajosa" de los productos.
- Para análisis de productos e hidrocarburos de cualquier fracción cuando el suelo se encuentre saturado de agua y que tenga una consistencia lodosa.
- Aquellas muestras a profundidad que se obtengan en liners y que vayan a ser submuestreadas en el laboratorio.

Muestreo de suelos para análisis de fracción ligera y BTEX

Es indispensable que la técnica y el procedimiento de muestreo aseguren que no habrá pérdida de hidrocarburos volátiles, por lo que sólo se aceptarán muestras que se hayan tomado como sigue:

- Mediante el uso de manijas especiales con cartuchos de teflón
- Recuperación de núcleos de suelo en liners de PVC, PETC o aluminio, así como tubos Shelby

En todos los casos, la transferencia a viales se deberá realizar en el propio laboratorio lejos de corrientes de aire que pudieran promover la volatilización de hidrocarburos ligeros.

En ningún caso se aceptarán resultados cuando la toma de muestra se haya hecho a partir del recorte de perforación.

Información mínima que debe contener el informe de caracterización

- Características del sitio o de la instalación
- Estrategia de muestreo
- Plan de muestreo
- Descripción de las actividades de acuerdo al plan de muestreo (distribución y localización de puntos de muestreo)
- Profundidades alcanzadas
- Desviaciones respecto al plan de muestreo y su justificación
- Hidrocarburos identificados, sus concentraciones y localización
- Planos que identifiquen la localización (delimitación) de la zona con hidrocarburos cuyas concentraciones rebasen los límites máximos permisibles aplicables según la fracción y uso de suelo correspondientes
- Reportes de laboratorio

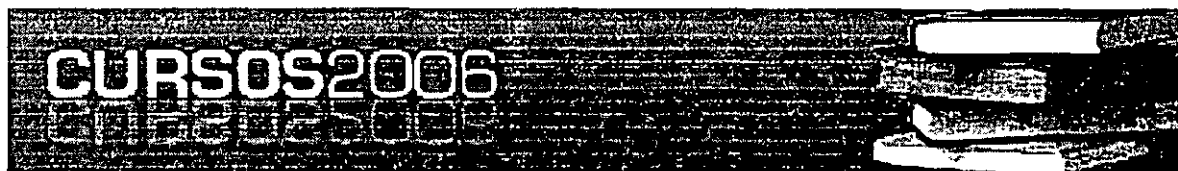
Información mínima sobre las características del sitio

- Nombre de la empresa de consultoría o institución que realiza el estudio
- Fecha de realización
- Nombre completo del sitio o instalación (razón social)
- Uso del suelo predominante
- Planos de localización a nivel regional y local
- Localización referenciada del sitio en coordenadas UTM
- Productos que se manejan o que se derramaron
- Tipo de instalación
- Años de operación de la instalación
- Estado actual de la instalación (activo, inactivo, desconocido)
- Antecedentes de estudios realizados
- Derrames o fugas históricas en la instalación

- Descripción de los alrededores
- Presencia de flora y fauna que pudieran haber sido afectadas (en su caso, referir especies en peligro de extinción)
- Clima (temperatura y lluvias)
- Tipo de terreno: natural, asfalto, concreto
- Topografía y dirección de escorrentías
- Tipo de suelo (estratigrafía)
- Localización de fuentes de abastecimiento aledañas
- Existencia de cuerpos de agua superficiales aprovechables
- Profundidad al nivel del agua subterránea (nivel freático/nivel estático) y dirección del flujo subterráneo



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES DE HIDROCARBUROS CA 157

TEMA

ESTRATEGIAS PARA DEFINIR LA LOCALIZACIÓN
DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO PARA
ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN EN SITIOS
CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA**

ESTRATEGIAS PARA DEFINIR LA LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO PARA ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN EN SITIOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Dra. Susana Saval
Instituto de Ingeniería, UNAM
ssavalb@iingen.unam.mx

Existen dos tipos de estrategias para definir la localización de los puntos de muestreo de suelo: dirigido o estadístico. Para elegir la estrategia por aplicar en un sitio en particular, es muy importante conocer las razones por las cuales se realizará el estudio de caracterización que pueden ser:

- por investigación voluntaria
- para cumplimiento ambiental previa observación de una auditoría
- por requerimiento legal
- posterior a la atención de la emergencia
- inicio de una remediación
- seguimiento de una remediación
- muestreo final confirmatorio de la remediación

Muestreo dirigido

Es aquel que considera puntos determinados por alguna de las siguientes opciones:

1. Por observación directa cuando la contaminación es evidente, por ejemplo derrames de crudo o combustóleo.
2. Tomando como base la distribución de instalaciones, considerando los puntos con mayores probabilidades de afectación, por ejemplo: válvulas de alimentación o drenado, tanques y líneas fuera de operación, presas de lastres, manchas.
3. Por resultados de estudios previos, observaciones de auditorías, requerimientos legales que indiquen la zona de interés. En estos casos es indispensable contar con los documentos comprobatorios.
4. Cuando la afectación no es visible a simple vista, por ejemplo, cuando los combustibles han infiltrado al subsuelo o la fuga se dio en un ducto enterrado, se pueden realizar estudios de gasometría a través de sondeos exploratorios para medición de hidrocarburos volátiles (también conocida como gasometría). Esta técnica es una valiosa herramienta de apoyo, pero también se debe definir previamente el patrón a utilizar para la localización de los sondeos.

Patrones de muestreo

Debido a la variabilidad en las características de los suelos y la consecuente distribución de contaminantes, se han desarrollado técnicas estadísticas para realizar muestreos con la finalidad principal de reducir el número de muestras a obtener y analizar, lo cual reduce el costo del estudio a realizar en un sitio en particular.

La aplicación de un muestreo estadístico depende de dos factores: del **patrón de muestreo** y del **número de puntos de muestreo** que se calcula para cada caso en particular.

Patrones de muestreo. Los patrones de muestreo se refieren a las diferentes formas en las que se pueden distribuir los puntos de muestreo en un sitio. Existen dos tipos de **patrones de muestreo: sistemáticos y no-sistemáticos**. Los primeros son los contemplados en un muestreo estadístico, sin embargo, en el presente texto se describen todos los hasta ahora reportados.

Patrones de muestreo sistemáticos:

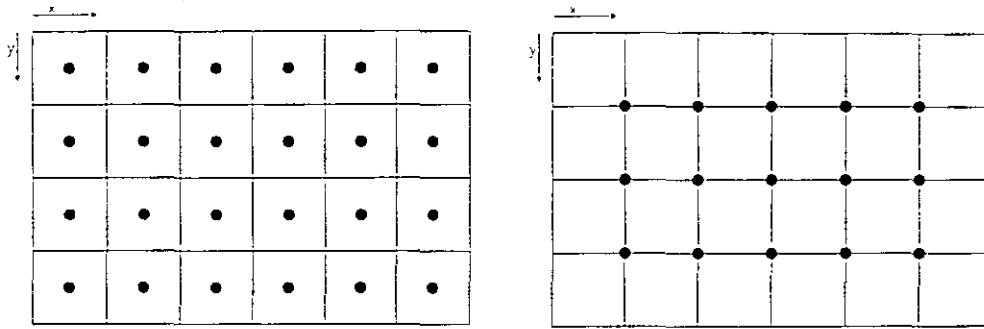
- Rejillas regulares
- Rejillas triangulares
- Sobre una línea
- Aleatorios
- Aleatorios zonificados en una rejilla regular
- Aleatorios desalineados en una rejilla regular

Patrones de muestreo no-sistemáticos:

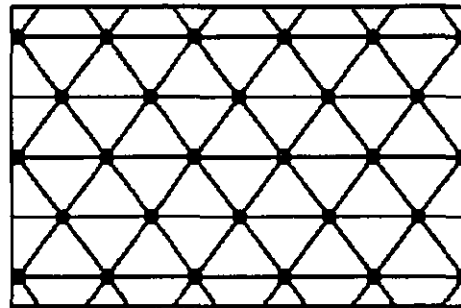
- Rejilla circular
- Diagonal simple
- Diagonales múltiples
- Diagonales cruzadas rotantes
- Irregular en forma de N, S, X o W
- Zigzag
- Zigzag transverso

Descripción de los diferentes patrones de muestreo

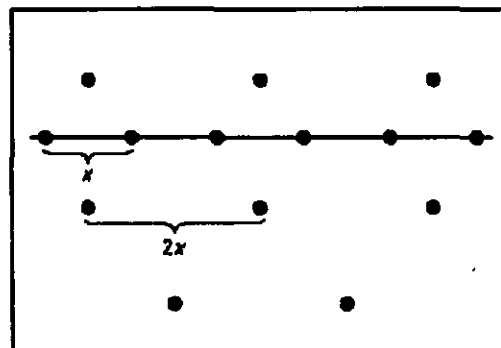
Rejillas regulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera las celdas son más pequeñas. Se marca un punto en cada celda, ya sea al centro o en las intersecciones, pero en todas las celdas los puntos deben quedar en el mismo lugar.



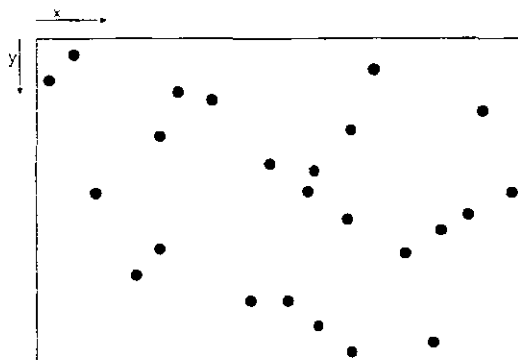
Rejillas triangulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros con las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera la rejilla es más cerrada. Cuando en este patrón se marca un punto en el centro de cada celda, éste queda rodeado por 3 puntos que se encuentran a la misma distancia d_x , entonces se puede calcular el radio no muestreado ($r = (d_x/3) (\sqrt{3})$), así como el área circular no muestreada ($A = \pi r^2 = \pi d_x^2/3$).



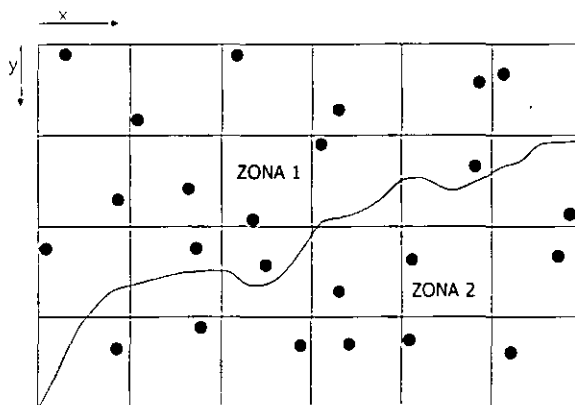
Sobre una línea. En el caso de que la contaminación siga una línea, como en aquellos en los que se hayan roto tuberías, los puntos de muestreo pueden ser marcados para cubrir la zona impactada y las zonas aledañas. Para ello se marca una línea sobre la tubería y se marcan los puntos a una distancia "x" y en líneas auxiliares paralelas se incluyen puntos separados a una distancia "2x". Los puntos de las líneas auxiliares deben estar salteados.



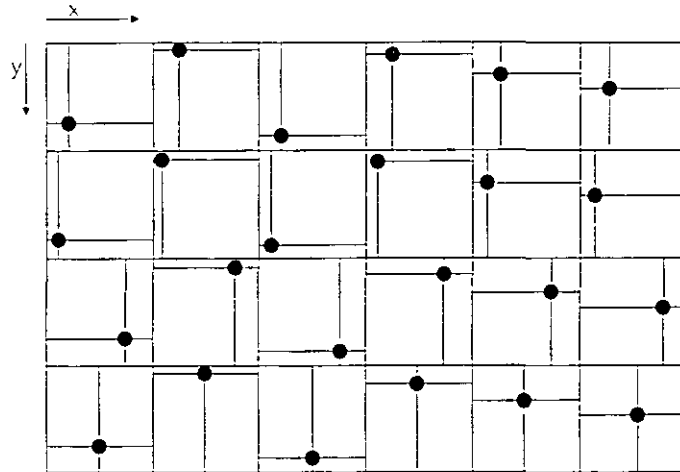
Aleatorio. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas. Este patrón es muy irregular, no sigue ninguna lógica.



Aleatorio zonificado sobre rejilla regular. Comúnmente se conoce como estratificado, pero en este escrito se le llamará zonificado para evitar confusiones con los estratos del suelo. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular y se elige un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda de una tabla de números aleatorios. Este patrón tiene la desventaja de que algunos puntos se pueden traslapar, además de que se hace difícil identificar contaminaciones puntuales.

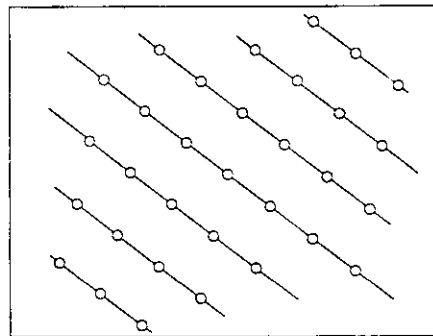
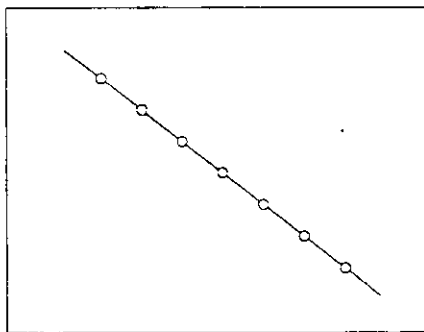


Aleatorio desalineado sobre rejilla regular. El término desalineado significa que no están sobre una línea. Este patrón es similar al "aleatorio zonificado sobre una rejilla regular", la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada "x" se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada "y". El patrón tiene las mismas desventajas que el aleatorio zonificado, en el sentido de que se pueden traslapar algunos puntos, además de que se hace difícil identificar contaminaciones puntuales.

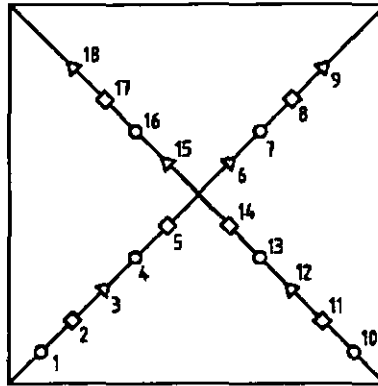


Patrones de muestreo no-sistemáticos

Diagonales. Existen patrones de muestreo en **diagonal simple** y en **diagonales múltiples** con líneas paralelas. En ambos casos los puntos de muestreo se deben ubicar a lo largo de las líneas manteniendo la misma distancia entre ellos. En suelos heterogéneos, estos patrones no permiten resultados confiables.

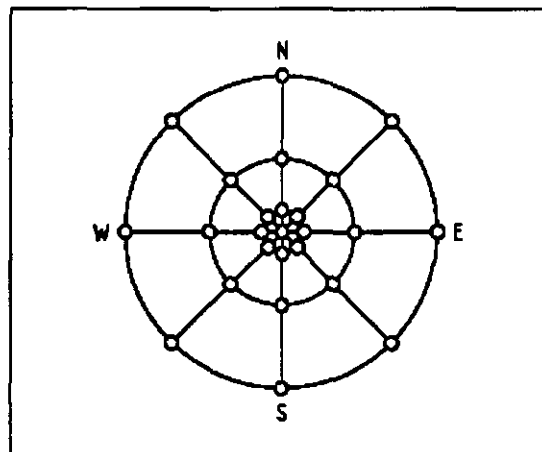


Diagonales cruzadas rotantes. Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo aquellos donde se está dando seguimiento a la atenuación natural. Se deben considerar áreas en forma de cuadrado de 1000 m^2 , que a su vez se puedan dividir en 4 cuadrados. En cada uno se marcan puntos sobre diagonales trazadas como se muestra en la figura, de tal forma que se obtienen 18 muestras por cada 1000 m^2 .



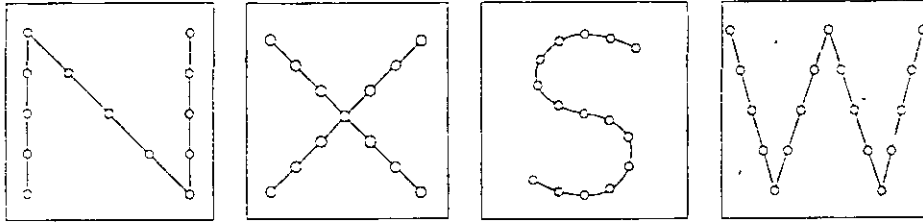
En los muestreos subsecuentes se hace la rotación de las diagonales en el sentido de las manecillas del reloj, manteniendo fijo el punto central, cada vez el giro es de 45°. De esta forma se pueden hacer 8 muestreos consecutivos para cubrir toda el área. Cuando las dimensiones y forma del área de estudio permite dar cabida a más de un cuadrado de 1000 m², es necesario tomar muestras de las intersecciones de los cuadrados, donde los puntos 9 y 10 del primer cuadrado están cercanos a los puntos 1 y 18 del cuadrado siguiente, respectivamente.

Rejilla circular. Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera. Se trazan líneas rectas considerando los 8 puntos cardinales principales y se ubican los puntos de muestreo en las intersecciones. Se espera que con esta rejilla las mayores concentraciones de contaminantes se ubiquen en el centro.

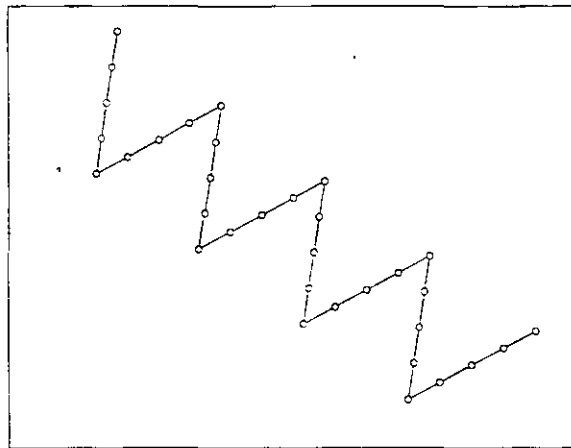


En el caso de muestreos seriados, el patrón de rejilla circular puede rotarse de la misma forma que se planteó en el caso de las diagonales cruzadas rotantes.

Muestreo irregular en forma de N, S, X o W. Se puede aplicar en sitios donde las características del suelo y de la contaminación son relativamente homogéneas, en suelos heterogéneos no son aplicables.



Zig-zag. Al igual que en el caso anterior, se puede aplicar en sitios donde las características del suelo y de la contaminación son relativamente homogéneas, en suelos heterogéneos no son aplicables.



Zig-zag transverso. Al igual que en el caso anterior, se puede aplicar en sitios donde las características del suelo y de la contaminación son relativamente homogéneas, en suelos heterogéneos podrían no considerar zonas de interés a pesar de que haya una mejor distribución en el área de estudio.

Aplicabilidad de los patrones de muestreo

Patrón de muestreo	En caracterización	En remediación
Sistemáticos		
Rejillas regulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas triangulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Sobre una línea	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas a lo largo de tuberías	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas a lo largo de tuberías y se aplique una remediación <i>in-situ</i>
Aleatorio	No-recomendado	No-recomendado
Aleatorio zonificado sobre rejilla regular	No-recomendado, podría subestimar la mancha de contaminación	Recomendado sólo si se asegura homogeneidad en el suelo
Aleatorio desalineado sobre rejilla regular	No-recomendado, podría subestimar la mancha de contaminación	Recomendado sólo si se asegura homogeneidad en el suelo
No-sistemático		
Rejilla circular	Recomendado en sitios donde ocurrieron fugas de tanques de almacenamiento o la fuente es puntual	Recomendado en sitios donde ocurrieron fugas de tanques de almacenamiento o la fuente es puntual y se aplique una remediación <i>in-situ</i>
Diagonal simple	No-recomendado	No-recomendado
Diagonales múltiples	Recomendado sólo si se asegura equidistancia entre los puntos	Recomendado sólo si se asegura homogeneidad en el suelo y equidistancia entre los puntos
Diagonales cruzadas rotantes	Recomendado sólo como una primera aproximación	Recomendado en aquellos sitios donde se va a permitir una atenuación natural
Irregular en forma de N, S, X o W	No-recomendado	No-recomendado
Zigzag	No-recomendado	No-recomendado
Zigzag transverso	No-recomendado	No-recomendado

Definición del número de puntos de muestreo

Para definir el número de puntos de muestreo que estadísticamente aplica al sitio de estudio es necesario contar con información de estudios previos, en caso de que no existen antecedentes, se deberá realizar un muestreo preliminar que permita generar la información requerida que es la siguiente:

- La concentración más alta "R" de los hidrocarburos de interés.
- La varianza "s" a partir de la "R" obtenida de estudios previos, $s^2=(R/4)^2$.
- El error estándar "D" que se va a permitir a la media de la población de muestras.
- El límite de confianza, que generalmente 95%.
- El número "t" que corresponden para la probabilidad del 95% de una distribución t, que arbitrariamente se define para 10 grados de libertad y se modifica por reiteración según el valor que se obtenga en un primer cálculo (los valores de "t" se buscan en libros de estadística).

Cuando se tiene toda la información, se calcula el número de puntos de muestreo "n" mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{t^2 s^2}{D^2}$$

Se obtiene el valor de "n" en un primer cálculo y si éste es mucho más grande que los grados de libertad que se dieron inicialmente, por reiteración se busca en la misma tabla de probabilidad de una distribución t, el nuevo valor de "t" y con éste se repite el cálculo. El número que se obtenga corresponde al número de puntos de muestreo que aplica para las condiciones previamente establecidas.

Si el número de puntos de muestreo se considera alto por el costo que representa, se puede disminuir mediante un aumento del error estándar (D) o por disminución del límite de confianza a 90%. Sin embargo, esto repercutirá en la calidad de los resultados.

Es conveniente mencionar que mediante este cálculo únicamente se define la distribución de los puntos de muestreo en un plano horizontal, las profundidades a muestrear se deben establecer para demostrar que se alcanzó el fondo de la contaminación.

Tabla de probabilidad de la distribución "t" con grados de libertad

TABLE B

Probability Points of the *t* Distribution with *v* Degrees of Freedom

<i>v</i>	Tail Area Probability						
	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Glosario de los conceptos estadísticos utilizados:

Media: es el promedio aritmético de un parámetro en toda la población de muestras.

Varianza: es la dispersión de un parámetro con respecto a la media.

Desviación estándar: es la raíz cuadrada de la varianza.

Coefficiente de variabilidad: es la desviación estándar expresada en porcentaje respecto a la media.

Error estándar: indica la confiabilidad de la media.

Límite de confianza: es el intervalo de concentraciones representativas de un parámetro, expresado en porcentaje.

Bibliografía

Bautista Z.F., Cram H.S. y Sommer C.I., 2004. Suelos, Cap. 2 del libro Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales, UNAM, UAY, CONACyT, INE, Eds. Bautista Z.F., Delfín G.H., Palacio P.J.L. y Delgado C.M.C.

Navarro A.J., 2004. Cap. 1 Introducción al diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas. Cap. 1 del libro Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales, UNAM, UAY, CONACyT, INE, Eds. Bautista Z.F., Delfín G.H., Palacio P.J.L. y Delgado C.M.C.

Crépin J. and Johnson R.L., 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis, Chapter 2: Soil Sampling for Environmental Assessment. Canadian Society of Soil Science. Eds. Carter M.R., Lewis Publishers, USA.

Environmental Protection Agency, 1986. Sampling Plan. Chapter 9. www.epa.gov/sw-846pdfs/chap9.pdf

Environmental Protection Agency, 1992. Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies. EPA/600/R-92/128.

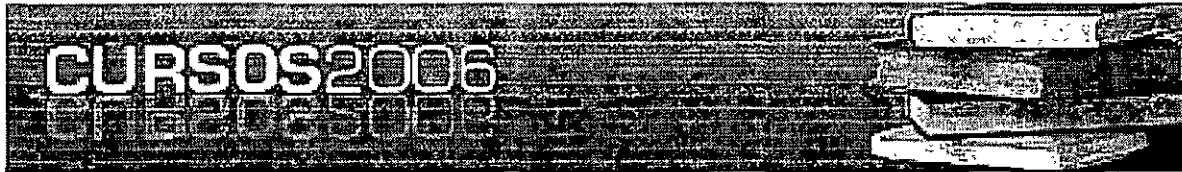
Environmental Protection Agency, 1996. Soil Screening Guidance: User's Guide. Publication 9355.4-23, second edition.

International Standard ISO 10381-1, 2002. Soil Quality-Sampling- Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.

Petersen R.G. and Calvin L.D., 1986. Sampling, Chap. 2: Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods, Second Edition, Ed. Klute A., Number 9 (Part 1) Series Agronomy, American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

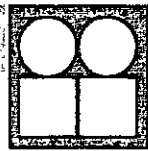
RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

CA 157

TEMA

BIOPLAS

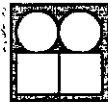
EXPOSITOR: M. EN I. RAÚL LÓPEZ BRAVO
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

BIOPILAS

M. en I. RAÚL LÓPEZ BRAVO
GRUPO CARACTERIZACIÓN Y BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS Y ACUIFEROS
COORDINACIÓN DE BIOPROCESOS AMBIENTALES



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

BIOPILAS

Las **biopilas** son conocidas como bioceldas, biomontículos o pilas de composteo. Se utilizan para reducir la concentración de contaminantes orgánicos, **principalmente hidrocarburos**, en un suelo excavado a través de la biodegradación.

Esta tecnología consiste en formar pilas de suelo contaminado y estimular la actividad microbiana aerobia dentro del suelo por medio de aireación y/o adición de nutrientes, minerales y humedad.

El aumento en la actividad microbiana da como resultado la degradación de los contaminantes orgánicos a través de la respiración microbiana.

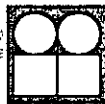


**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Contaminante + Microorganismos + Oxígeno + Nutrientes

↓
Condiciones óptimas
(pH, temperatura, humedad)

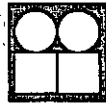
Bióxido de carbono + Biomasa



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

VENTAJAS DE LAS BIOPILAS

- Fácil de diseñar e implementar.
- Tiempo de tratamiento corto: usualmente de 6 meses a 2 años en condiciones óptimas.
- Efectiva para contaminantes orgánicos con tasas de biodegradación bajas.
- Puede ser diseñada como un sistema cerrado y controlar las emisiones a la atmósfera.
- Puede ser utilizada para diversas condiciones de sitios y productos del petróleo.
- El costo es competitivo con otras tecnologías.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

DESVENTAJAS DE LAS BIOPILAS

- La reducción de la concentración > 95% y concentración del contaminante < 0.1 ppm es muy difícil de alcanzar.
- Puede no ser efectiva para altas concentraciones del contaminante (> 50,000 ppm de HTP)
- Concentraciones significativas de metales pesados (> 2,500 ppm) pueden inhibir el crecimiento microbiano.
- Los contaminantes volátiles tiende a evaporarse más que a biodegradarse durante el tratamiento.
- La generación de vapores durante el proceso puede requerir un tratamiento a priori antes de descargarlos a la atmósfera.

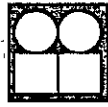


**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

FACTIBILIDAD DE LAS BIOPILAS

El proceso de evaluación para esta tecnología se divide en las siguientes etapas.

- **Etapas 1: Evaluación de la factibilidad de la biopila.** En la cual se identifican los factores del suelo, del contaminante y climáticos que contribuyen a la efectividad de la biopila.
- **Etapas 2: Evaluación del diseño de la biopila.** Donde se determina si todos los parámetros de diseño han sido adecuadamente definidos y especificados.
- **Etapas 3: Evaluación de los planes de operación y monitoreo.** En la cual se establece si los planes de inicio, operación y monitoreo son suficientes.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Evaluación de la factibilidad de la biopila

La factibilidad de la biopila depende de varios parámetros que se agrupan en tres categorías:

- **Características del suelo:** densidad de la población microbiana, pH del suelo, textura del suelo, contenido de humedad, concentración de nutrientes y temperatura del suelo.
- **Características del contaminante:** volatilidad, estructura química, concentración y toxicidad.
- **Condiciones climáticas:** temperatura ambiente, precipitación y viento.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Características del suelo

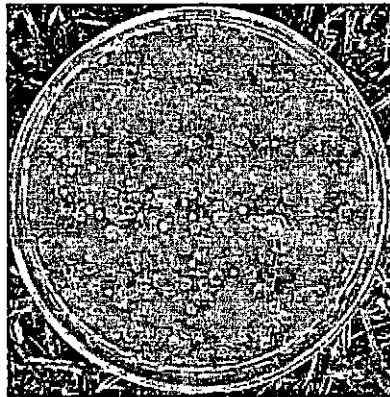
El suelo se define, de acuerdo a la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, como material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

El suelo contiene normalmente un gran número de microorganismos incluyendo bacterias, algas, hongos, protozoarios y actinomicetos. De estos microorganismos, las bacterias son las más numerosas y el grupo bioquímicamente activo.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Densidad de la población microbiana



Bacterias heterótrofas

> 1000 UFC/g
suelo seco

< 1000 UFC/g
suelo seco

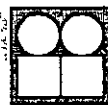
Efectividad de la biopila

Generalmente efectiva

Puede ser efectiva, se necesita evaluar si hay condiciones de toxicidad

Método analítico:

Conteo en placa de bacterias heterótrofas



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

pH del suelo



pH del suelo

Efectividad de la biopila

$6 < \text{pH} < 8$

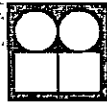
Generalmente efectiva

$6 > \text{pH} > 8$

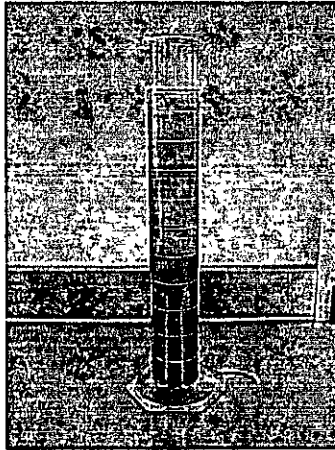
Se requiere ajustar el pH del suelo de la biopila

Método analítico:

Determinación del pH del suelo, relación suelo:agua de 1:2.5



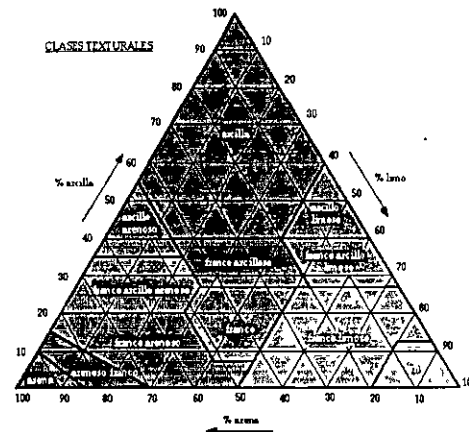
Textura del suelo

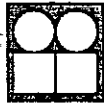


La textura del suelo afecta la permeabilidad, contenido de humedad y la densidad aparente del suelo. Para asegurar que la adición de oxígeno, la distribución de nutrientes y el contenido de humedad del suelo se mantengan dentro de las condiciones óptimas debe considerarse la textura.

Método analítico:

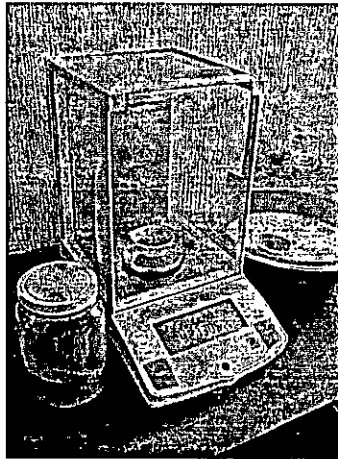
Determinación de la textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos





**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Contenido de humedad



Contenido de humedad	Efectividad de la biopila
40 % < capacidad de campo < 85 %	Efectiva
Capacidad de campo < 40 %	Necesita de adición periódica de agua para el apropiado crecimiento de las bacterias
Capacidad de campo > 85 %	Se requiere de un sistema de drenado especial o una cubierta impermeable



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Concentración de nutrientes

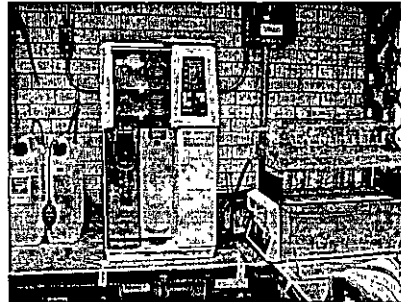
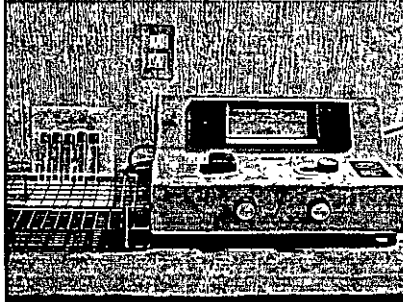


Los microorganismos requieren de nutrientes inorgánicos como nitrógeno y fósforo para soportar el crecimiento celular y sostener el proceso de biodegradación.

La proporción típica de carbono: nitrógeno:fósforo necesario para la biodegradación es de **100:10:1** o **100:1:0.5**, dependiendo del contaminante específico y los microorganismos involucrados en el proceso de biodegradación.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

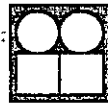


Método analítico:

Determinación de fósforo por el método de Bray I (Suelos neutros)

Determinación de fósforo por el método de Olsen (Suelos alcalinos)

Determinación de nitrógeno total Kjeldahl



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Calculo de la cantidad de nutrientes requeridos

Ejemplo, considere un volumen de suelo contaminado de 40 m^3 , la concentración promedio de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) de $1,500 \text{ mg/Kg}$ y la densidad aparente del suelo de 1.75 g/cm^3 ($1,750 \text{ Kg/m}^3$).

La masa del suelo contaminado es igual al producto del volumen y la densidad aparente:

$$\text{Masa del suelo} = 40 \text{ m}^3 (1,750 \text{ Kg/m}^3) = 70,000 \text{ Kg}$$

La masa de los hidrocarburos es igual al producto de la masa del suelo contaminado y la concentración promedio de HTP en el suelo:

$$\begin{aligned} \text{Masa de Hidrocarburos} &= 70,000 \text{ Kg} (1,500 \text{ mg/Kg}) = 105,000,000 \text{ mg} \\ &= 105 \text{ Kg} \end{aligned}$$



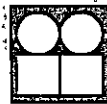
**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

El contenido de carbono disponible para la biodegradación es aproximadamente el 90 % en peso de los hidrocarburos totales del petróleo.

La masa de carbón disponible es igual al producto de la masa de hidrocarburos y el por ciento

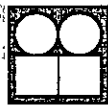
$$\text{Masa de carbón disponible} = 105 \text{ Kg} (90 / 100) = 94.5 \text{ Kg}$$

Usando la proporción de C:N:P de 100:10:1, la masa de nitrógeno requerida es de 9.450 Kg y la masa de fósforo de 0.945 Kg.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

La Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 establece las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, a partir de sus características específicas de constitución, formación y distribución.



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Temperatura del suelo

Temperatura del suelo
10 °C < temperatura del suelo
< 45 °C

Efectividad de la biopila
Efectiva

10 °C > temperatura del suelo
> 45 °C

No efectiva: la actividad microbiana disminuye durante las temperaturas extremas estacionales pero se restaura durante los periodos dentro de los cuales el intervalo de temperatura es optimo.
En áreas con temperaturas extremas se requiere de control de temperatura cerrado, inyección de aire caliente (o frio) o bacterias especiales.



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Características del contaminante

Los hidrocarburos se definen, de acuerdo a la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, como compuestos químicos constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno, éstos son el componente principal del petróleo.

Los hidrocarburos se dividen entre grupos principales:

- **Fracción ligera.** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre cinco y diez átomos de carbono (C_5 a C_{10}).
- **Fracción media.** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre diez y veintiocho átomos de carbono (C_{10} a C_{28}).
- **Fracción pesada.** Mezcla de hidrocarburos cuyo peso molecular sea mayor a C_{18} .



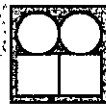
**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Volatilidad

Los constituyentes ligeros (más volátiles) del petróleo (e.g., gasolina) tienden a ser removidos por evaporación durante el proceso de aeración (i.e., inyección o extracción de aire y volteo de las biopilas) y, en menor grado, a ser degradados por respiración microbiana.


Los productos de hidrocarburos intermedios (e.g., diesel, keroseno) contienen menor porcentaje de constituyentes volátiles. La biodegradación de estos productos es más significativa que la evaporación.

Los productos pesados (no volátiles) del petróleo (e.g., aceites lubricantes y de calentamiento) no se evaporan durante la aeración de la biopila, el mecanismo dominante es la biodegradación de estos productos.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Estructura química

Biodegradabilidad	Constituyentes	Productos en los cuales los constituyentes son encontrados
Más degradables	Butano, pentano, octano	Gasolina
	Nonano	Diesel
	Dimetilpentano	
	Benceno	Gasolina
	Tolueno	
	Etilbenceno	
	Xileno	
	Propilbenceno	Diesel, keroseno
	Dodecanos	Diesel
	Tetradecanos	Lubricantes
	Naftaleno	Diesel
	Fluoranteno	Keroseno
	Acenantrenos	Lubricantes
	Menos degradables	



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Concentración y toxicidad:

Concentración del contaminante

Efectividad de la biopila

Contaminante < 50,000 ppm y
metales pesados < 2,500 ppm

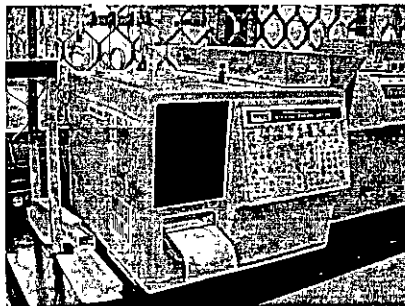
Efectiva, sin embargo si la conc.
del contaminante es > de 10,000
ppm, entonces el suelo puede ser
mezclado con suelo limpio para
reducir su conc. ▸

Contaminante > 50,000 ppm y
metales pesados > 2,500 ppm

Inefectiva; existen condiciones
tóxicas o inhibitorias para el
crecimiento de las bacterias. La
dilución por mezcla con suelo
limpio es necesaria.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**



Método analítico:

Hidrocarburos base gasolina y base
diesel. Cromatografía de gases-
ionización de flama extraídos con
cloruro de metileno (USEPA 8015 B).

Hidrocarburos recuperables de
petróleo. Espectrometría en infrarrojo,
extraídos con hexano (USEPA 418.1).

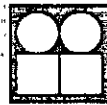
Hidrocarburos monoaromáticos totales.
Cromatografía de gases-espectrometría
de masas con purga y trampa (USEPA
8260 C).

Metales pesados. Espectrofotometría
de absorción atómica. (NOM-052-
ECOL/1993 y NOM-053-ECOL/1993).

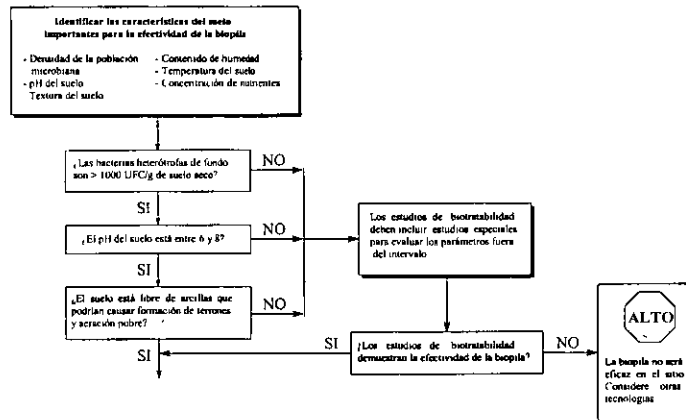


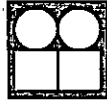
Condiciones Climáticas

- La temperatura ambiente es importante ya que esta afecta la temperatura del suelo, impactando la actividad microbiana y por lo tanto la biodegradación
- Las precipitaciones pueden aumentar el contenido de humedad del suelo y causar erosión. Si la precipitación anual es mayor de 762 mm, es necesario tapar la biopila con una cubierta de plástico y contar con un sistema de recolección de lixiviados.
- La erosión del suelo de la biopila ocurre durante los periodos de viento, esto puede controlarse cubriendo la biopila o agregando agua,

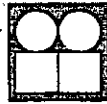
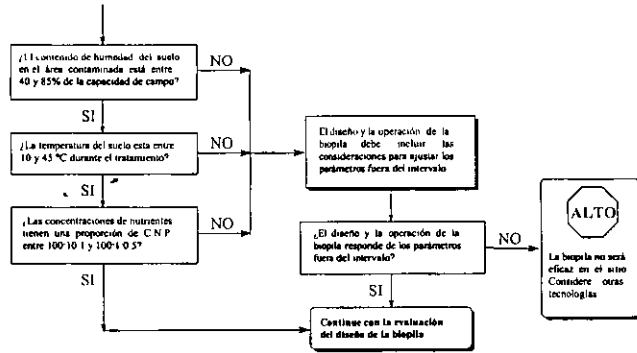


Evaluación de la factibilidad de la biopila

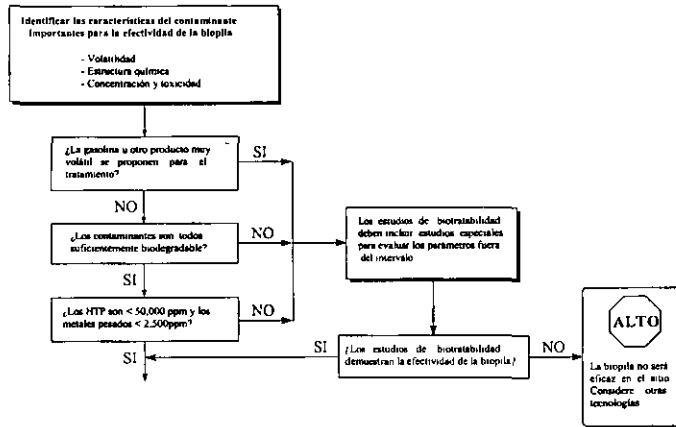




INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM



INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM





Identificar las condiciones del clima importantes para la efectividad de la biopila

- Temperatura ambiente
- Precipitación
- Viento

¿Las temperaturas ambiente entre 10 y 43 °C son durante por lo menos 4 meses por año?

SI

NO

¿La precipitación anual es menor de 762 mm?

SI

NO

¿El sitio está sujeto a polo luz o vientos poco frecuentes?

SI

NO

El diseño y la operación de la biopila debe incluir las consideraciones para ajustar los parámetros fuera del intervalo

¿El diseño y la operación de la biopila responde de los parámetros fuera del intervalo?

SI

NO

¿La probabilidad que la biopila sea eficaz en el sitio
Preceda evaluar el diseño

ALTO
La biopila no será eficaz en el sitio
Considere otras tecnologías

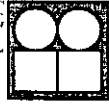


Evaluación de la biotratabilidad

Los estudios de biotratabilidad son necesarios si la toxicidad del contaminante o las condiciones naturales del suelo no conducen la actividad biológica.

Los estudios de biotratabilidad son realizados en el laboratorio y proveen información sobre la biodegradabilidad del contaminante, capacidad de los microorganismos autóctonos a degradar el contaminante, condiciones de crecimiento microbiano optimas, tasas de biodegradación y disponibilidad de nutrientes naturales y minerales.

Si los estudios de biotratabilidad no demuestran efectividad, estudios piloto o ensayos en campo son necesarios antes de la implementación de la biopila, o otra técnica de remediación debe ser evaluada.

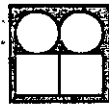


**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Evaluación del diseño de la biopila

Los principales elementos para el diseño de la biopila son:

- Terreno requerido y configuración
- Base
- Sistema de aeración
- Sistema de drenaje
- Sistema de irrigación
- Control de erosión del suelo

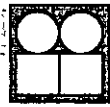


**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Terreno requerido y configuración

El terreno requerido se determina dividiendo el volumen del suelo a tratar por la altura propuesta de la biopila. La altura típica de las biopilas varía entre 0.90 y 3.00 m. Se requiere de una área adicional alrededor de las biopilas para las pendientes laterales de la pila, la berma de contención y el acceso.

La configuración de la biopila está determinada por la distribución y el acceso al terreno. El sistema de biopila puede incluir una pila simple o múltiples pilas.

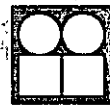


Base

La base de la biopila puede ser de arcillas compactadas o de concreto dependiendo si las instalaciones se consideran temporales o permanentes.

La base de la biopila tiene tres funciones importantes:

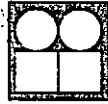
- Proporcionar un soporte estable a la biopila.
- Sirve como barrera para evitar la migración de contaminantes hacia el subsuelo o el agua subterránea.
- Proporcionar una pendiente del 2 % para evitar encharcamientos de los lixiviados en la base de la biopila.



Sistema de aireación

Las biopilas deben airearse adecuadamente para mantener una biodegradación óptima de los contaminantes. La aireación puede ser tanto activa como pasiva.

- El sistema de aireación pasiva es el más simple. Este método reduce el capital y los costos de operación, ya que no requiere de compresores o bombas; también reduce de manera potencial la evaporación de la fracción volátil de los contaminantes.
- El sistema de aireación activa utiliza dos modalidades: inyección o extracción de aire. Ambas modalidades utilizan tubos perforados.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Sistema de drenaje

El sistema de drenaje consta de una berma o estructura instalada alrededor de la pila que sirve como canal colector de los lixiviados generados y de tubos colectores, los cuales recolectan los lixiviados en el interior de la biopila.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Sistema de irrigación

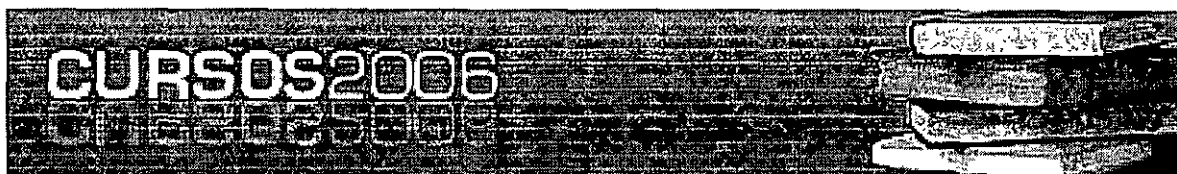
El contenido de agua en la biopila es uno de los factores críticos para una biodegradación exitosa de los contaminantes. Periódicamente debe añadirse agua al suelo debido a que ésta se pierde como resultado de la evaporación, la cual se incrementa durante la aireación de la biopila.

El agua puede agregarse al suelo durante el almacenamiento del mismo, en la construcción de la biopila o por medio de un sistema de irrigación ubicado en la parte superior de la biopila.

Se debe evitar agregar el agua en exceso, ya que al saturar el suelo ocupa los espacios vacíos disminuyendo la eficiencia de la aireación e incrementa la lixiviación de los contaminantes y de los nutrientes.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

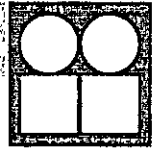
CA 157

TEMA

CASO DE ESTUDIO:

“ BIORREMEDIACIÓN DE UN SUELO ARENOSO
CONTAMINADO CON GASOLINA Y DIESEL
EN BIOPILAS “

EXPOSITOR: M. EN I. RAÚL LÓPEZ BRAVO
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA



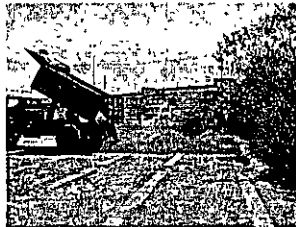
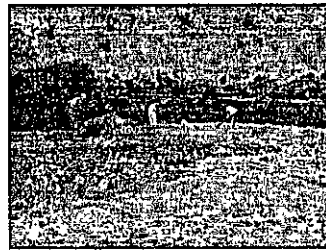
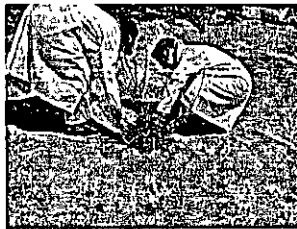
**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

**CASO DE ESTUDIO: BIORREMEDIACION DE UN
SUELO ARENOSO CONTAMINADO CON GASOLINA Y
DIESEL EN BIOPILAS**



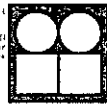
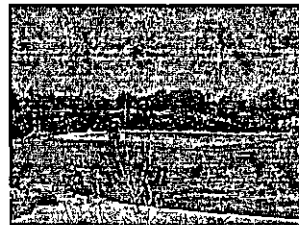
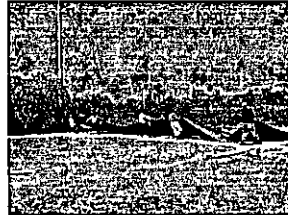
**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

PREPARACIÓN DE LA BASE DE LA BIOPILA



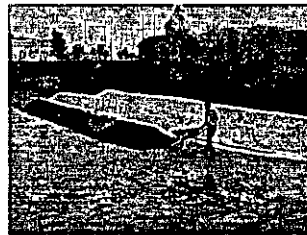
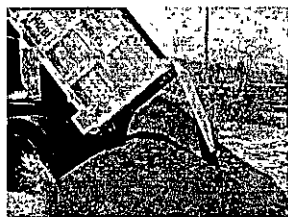
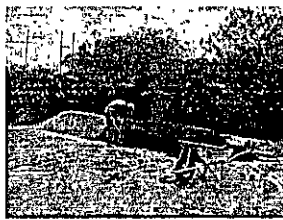


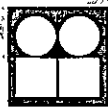
**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

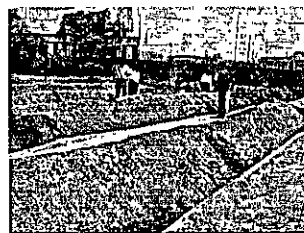
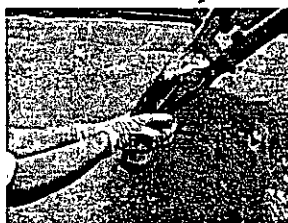
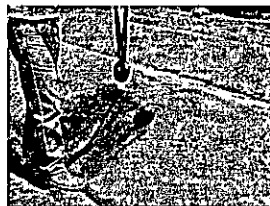
Construcción de las biopilas





**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Muestreo inicial



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Características del suelo

Muestra	Humedad %	pH	Nitrógeno mg/kg de suelo	Fósforo mg/kg de suelo	Bacterias heterótrofas UFC/g suelo	Bacterias degradadoras UFC/g suelo
Biopila 1A	18.54	7.7	1230	125	1.7×10^7	4.0×10^5
Biopila 2A	19.40	7.7	1200	115	2.9×10^7	3.2×10^6
Biopila 3A	19.88	7.6	1300	127	5.6×10^6	4.9×10^6
Biopila 4A	20.37	7.7	1400	143	2.6×10^7	7.7×10^5
Biopila 5A	22.40	7.6	1200	117	2.4×10^7	1.6×10^6



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

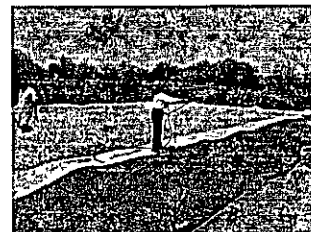
Concentración de hidrocarburos al inicio del tratamiento

Muestra	Hidrocarburos base gasolina mg / kg base seca	Hidrocarburos base diesel mg / kg base seca
Biopila 1A	400	150
Biopila 2A	1200	350
Biopila 3A	2100	600
Biopila 4A	1800	500
Biopila 5A	2200	600
Límite permisible	200	1200



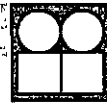
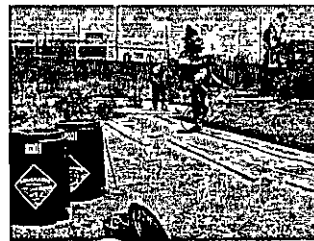
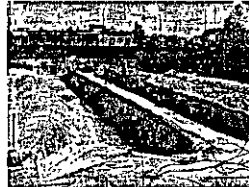
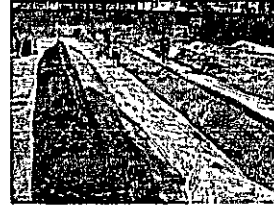
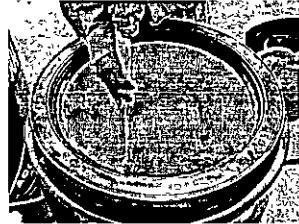
**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Operación y mantenimiento de las biopilas





**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**



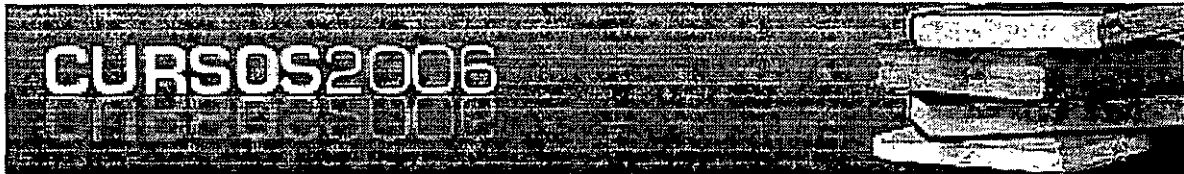
**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Resultados del tratamiento

Muestra	Porcentaje de reducción de hidrocarburos
Biopila 1A	75.5
Biopila 2A	88.0
Biopila 3A	90.5
Biopila 4A	90.5
Biopila 5A	89.6



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



CURSOS ABIERTOS

RESTAURACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CON CONTAMINANTES
DE HIDROCARBUROS

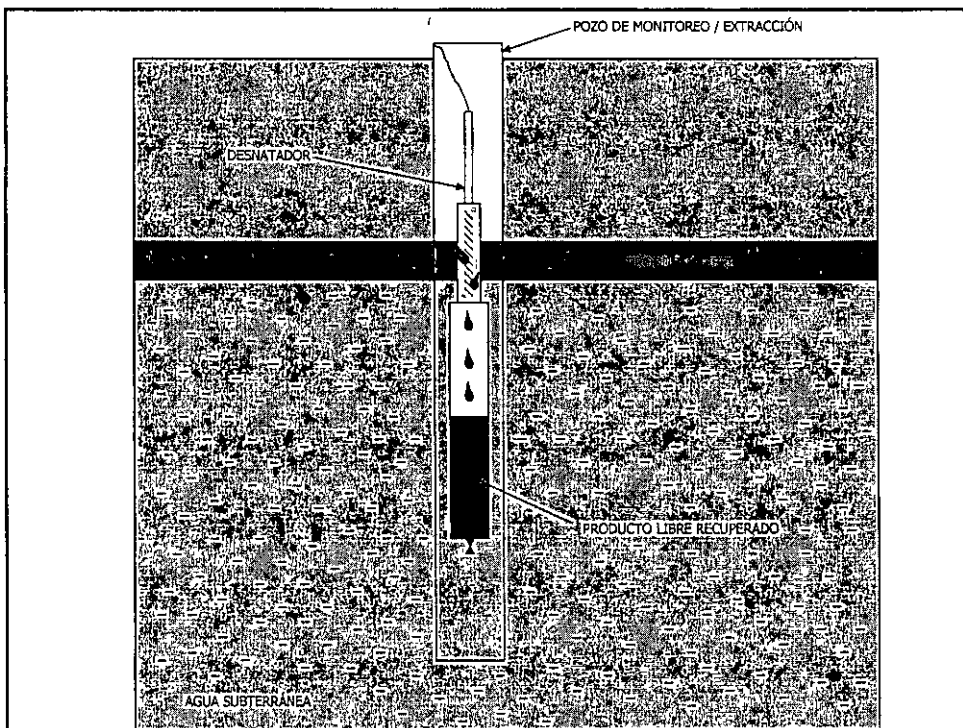
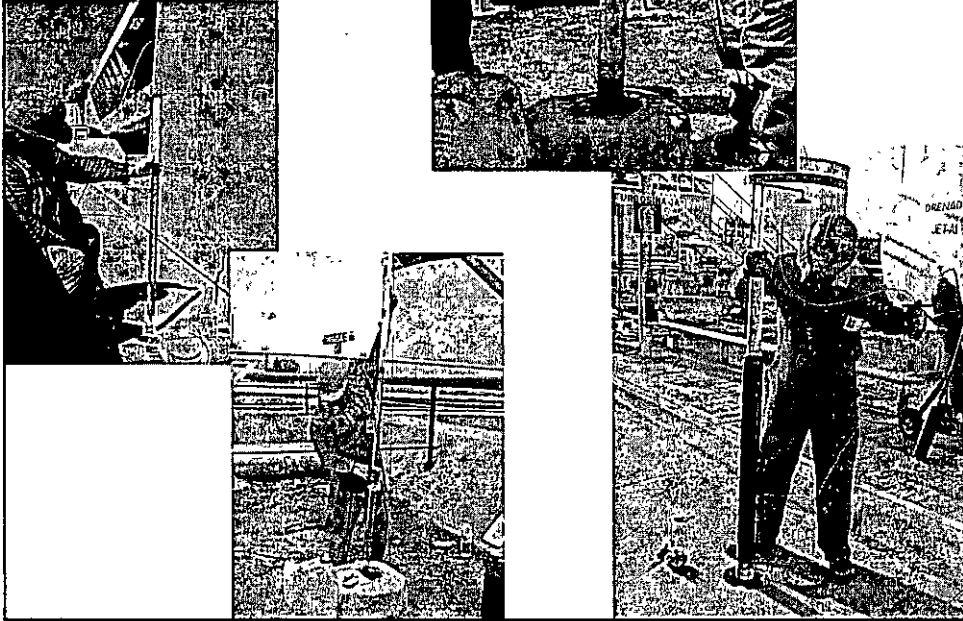
CA-157

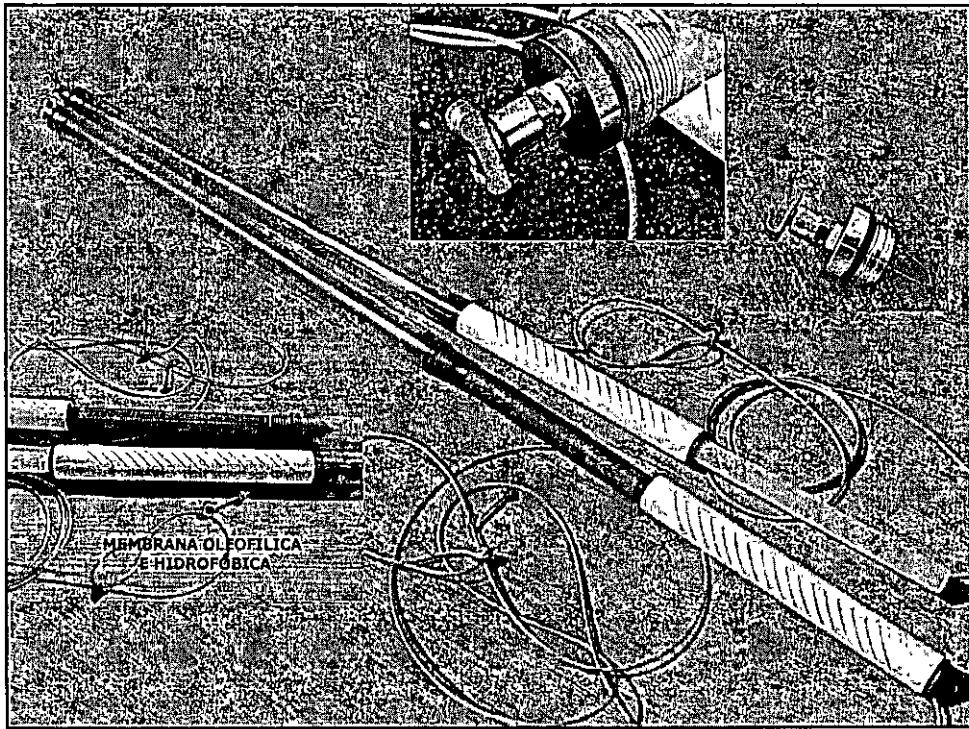
TEMA

COMPLEMENTO

EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHÓRQUES
DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006
PALACIO DE MINERÍA

**REMEDIACIÓN PASIVA:
CON AYUDA DE DESNATADORES
(SKIMMERS)**





REMEDIACIÓN PASIVA

VENTAJAS

- ✓ Bajo costo
- ✓ Mínimo espacio requerido para la labor
- ✓ Lo puede realizar personal de la propia institución
- ✓ Recuperación únicamente de producto libre, no de agua subterránea
- ✓ Acumulación del producto libre en función de las condiciones naturales
- ✓ Solución segura

DESVENTAJAS

- ✓ Largos tiempos

ssavalb@iingen.unam.mx