



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

TRATAMIENTO Y MANEJO DE SUELOS CONTAMINADOS

Del 11 al 13 de Septiembre de 2006

APUNTES GENERALES

CI - 186

Instructora: Dra. Susana Saval Bohorquez
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Palacio de Minería, Calle de Tacuba No. 5, Primer piso, Delegación Cuauhtémoc, CP 06000, Centro Histórico, México D.F.,
APDO Postal M-2285 • Tels. 5521.4021 al 24, 5623.2910 y 5623.2971 • Fax. 5510.0573

SEPTIEMBRE DE 2006

TEMARIO

1.- MARCO DE REFERENCIA

2.- CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

3.- REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

4.- EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL EN SITIOS CONTAMINADOS

**DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM
SEPTIEMBRE DEL 2006**

MARCO DE REFERENCIA

Aspectos a revisar:

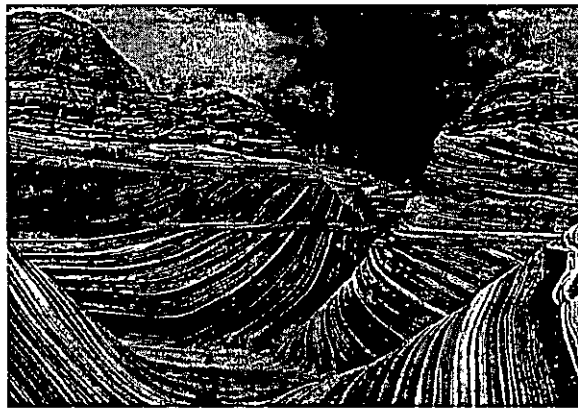
1. Rocas
2. Suelo
3. Agua subterránea
4. Hidrocarburos
5. Metales asociados a hidrocarburos

Dra. Susana Saval



Rocas

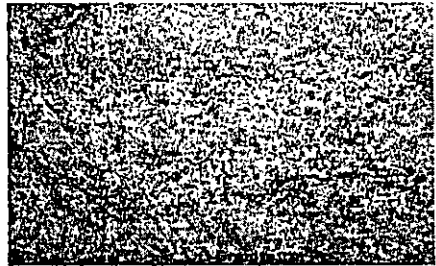
Estructuras sólidas constituidas principalmente por minerales a partir de las cuales se genera el suelo





**ROCAS IGNEAS
INTRUSIVAS**

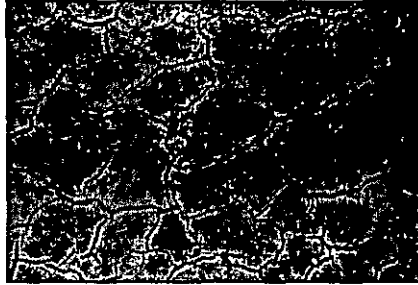
Granito



Basaltos



ARCILLA

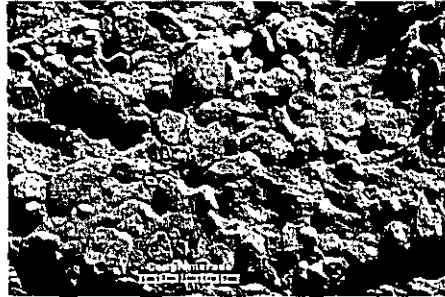


**MATERIALES
SEDIMENTARIOS
SUELTOS**

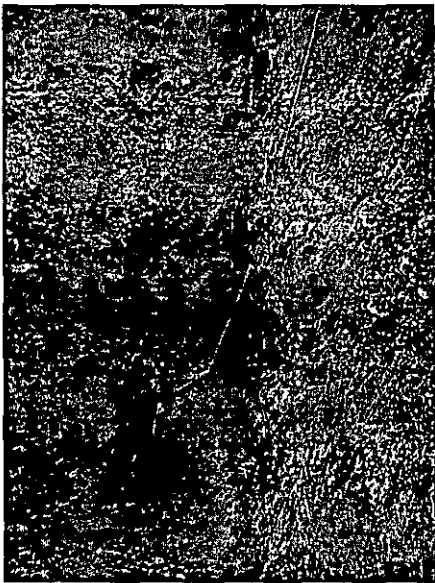
ARENA



GRAVAS

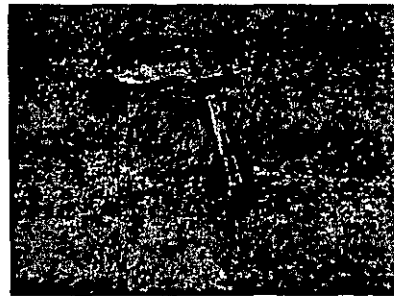


ROCAS SEDIMENTARIAS



Aluviones

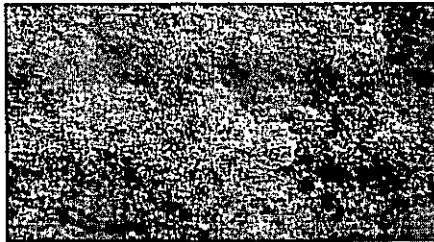
Gravas con arenas y arcillas



Arena con arcilla

PRINCIPALES ROCAS METAMÓRFICAS

esquisto
gneiss
marmol



Mármol

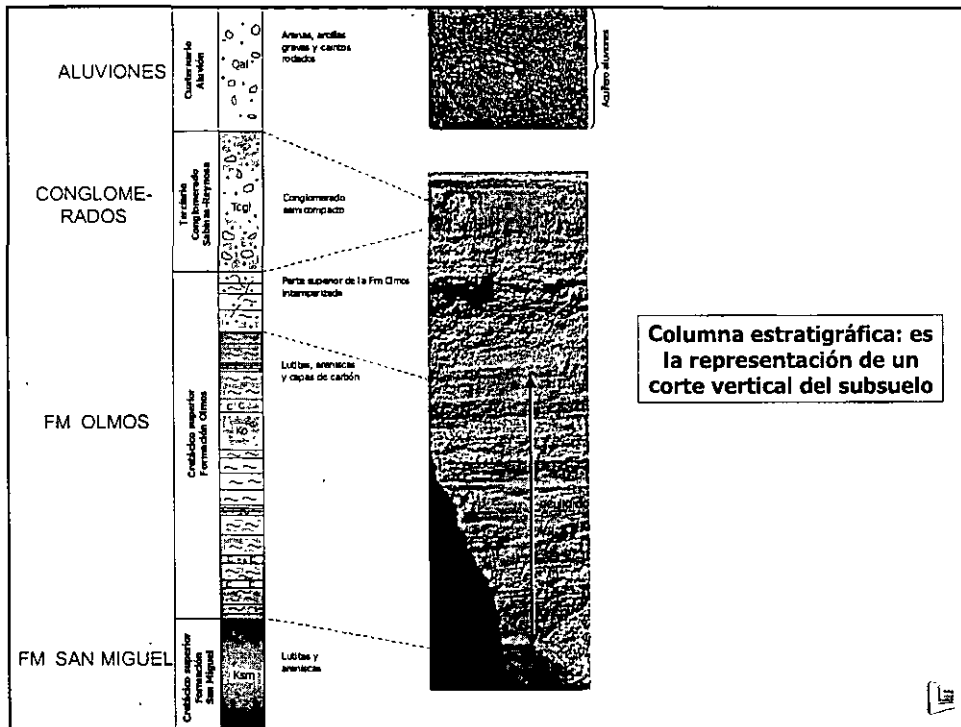


Esquisto



Gneiss

ROCAS
METAMÓRFICAS



Horizonte

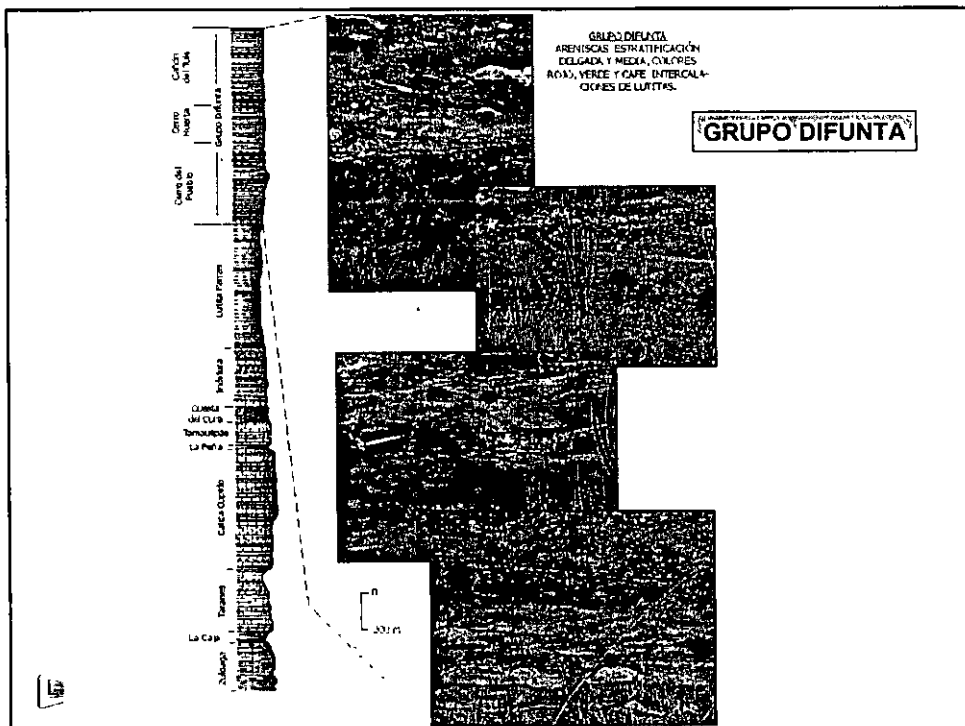
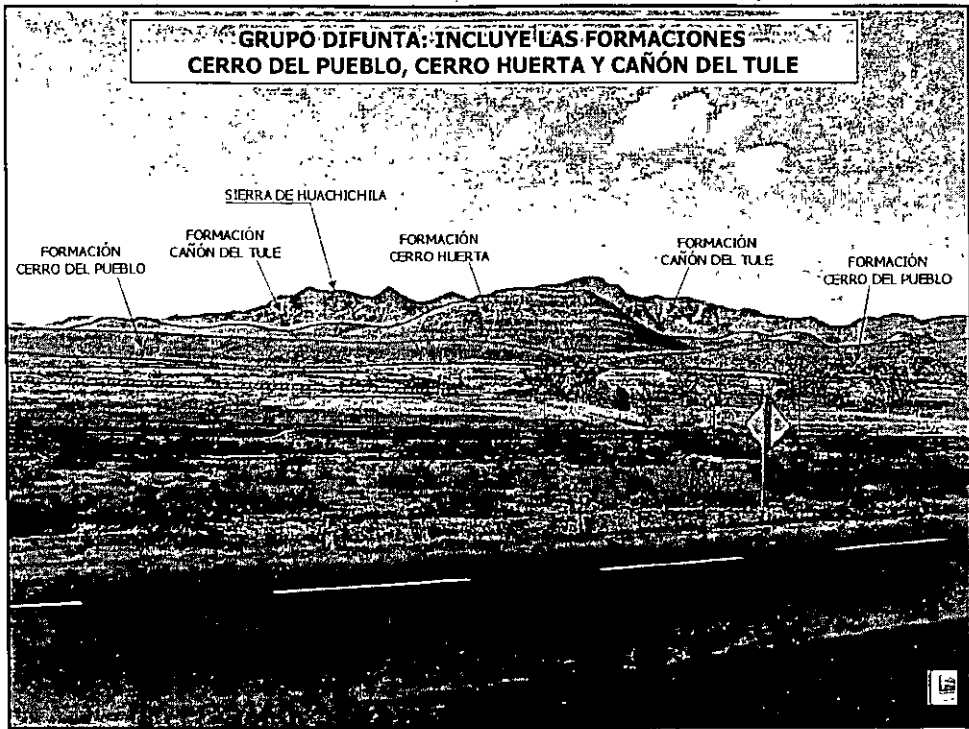
NOM-145-SEMARNAT-2003

Nivel estratigráfico reconocible en rocas por un rasgo característico como fósiles de flora y fauna, y su litología.

Litología

Pearl, 1986

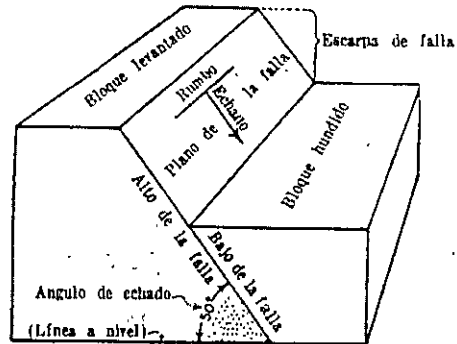
Mineralogía, tamaño de los granos, textura, y otras propiedades físicas de suelos granulares, sedimentos o rocas.



Falla geológica

NOM-083-SEMARNAT-2003

Cuando se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.



Representación esquemática de una sección en planta
(en un plano geológico)



Para referir una falla también se puede utilizar la simbología f — f

Suelos



SUELO, definiciones

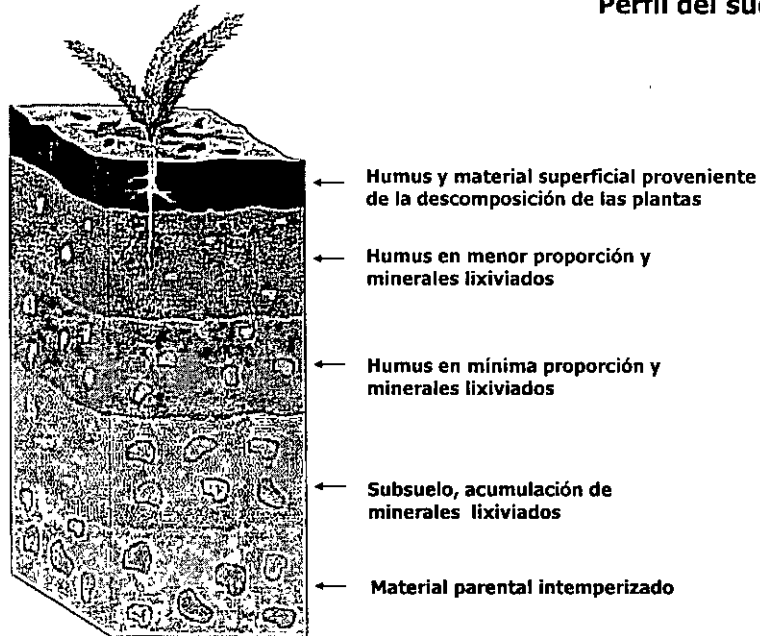
NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

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.

NOM-021-SEMARNAT-2000

Colección de cuerpos naturales formados por sólidos (minerales orgánicos), líquidos y gases, sobre la superficie de los terrenos. Presenta, ya sea, horizontes o capas, que se diferencian del material de origen como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones, y transformaciones de energía y materia; o por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural.

Perfil del suelo

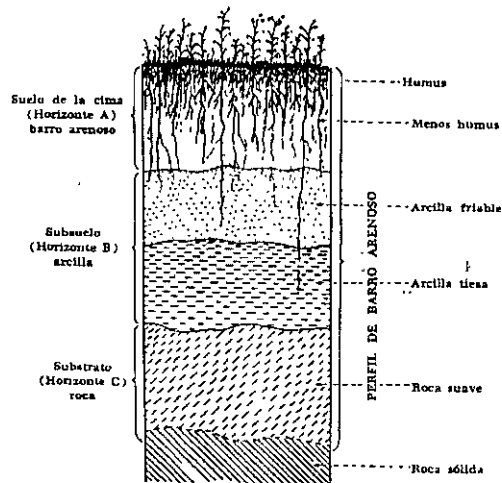


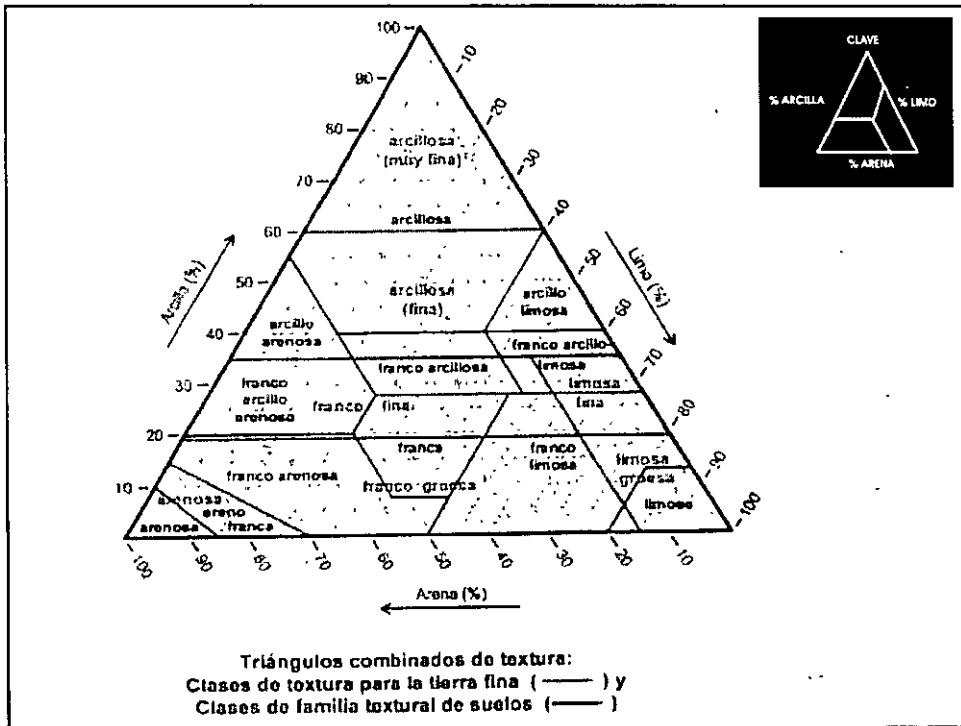
Nebel, 1993

Horizonte de suelo

NOM-021-SEMARNAT-2000

Capas del suelo paralelas a la superficie de la tierra que tienen características distintivas producto de los procesos físicos, químicos y biológicos, de formación del suelo.





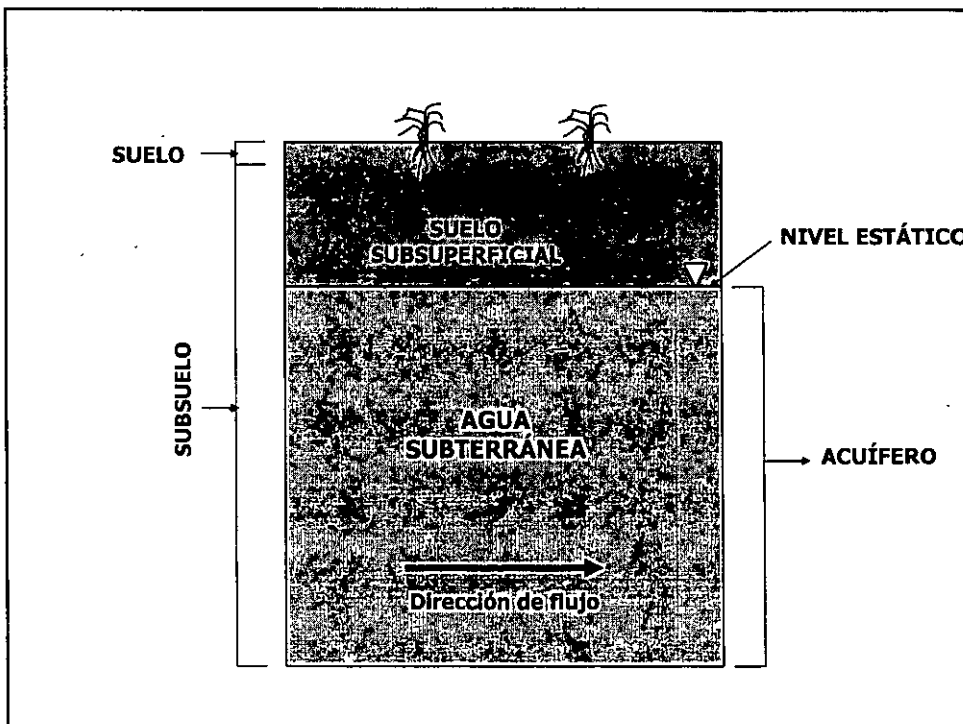
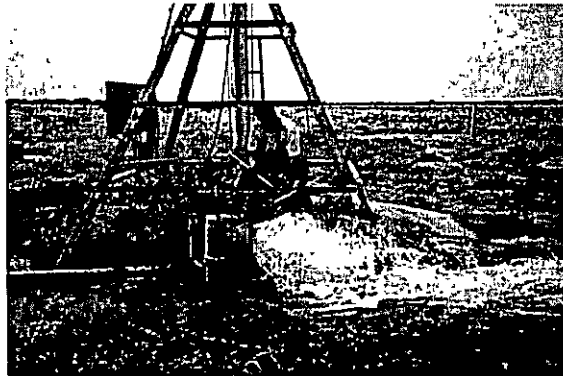
TAMAÑO DE PARTÍCULA Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS

TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO DE PARTÍCULA mm
Arcilla	< 0.002
Limo	0.002 - 0.02
Arena fina	0.02 - 0.2
Arena media	0.2 - 2.0
Grava	≥ 10
Grava con arena	mezcla

TIPO DE MATERIAL	MATERIA ORGÁNICA (%)
Arcilla	70
Limo	8 - 28
Arena	< 1 - 8

Agua subterránea

Agua en la zona de saturación del subsuelo que se mantiene a una presión igual o mayor a la atmosférica



Zona vadosa o zona no-saturada

Zona entre la superficie del terreno y el nivel del agua subterránea, donde los fluidos se mantienen a presión menor a la atmosférica.

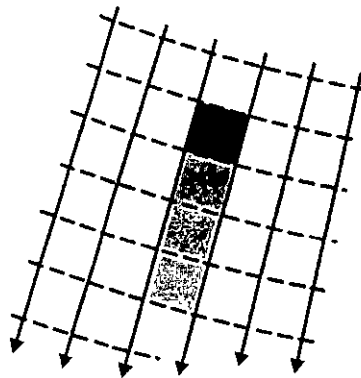
Zona saturada

Zona donde los espacios vacíos del material geológico están llenos del agua subterránea. La parte superior de esta zona corresponde al nivel freático o estático, según corresponda.

Zona de capilaridad

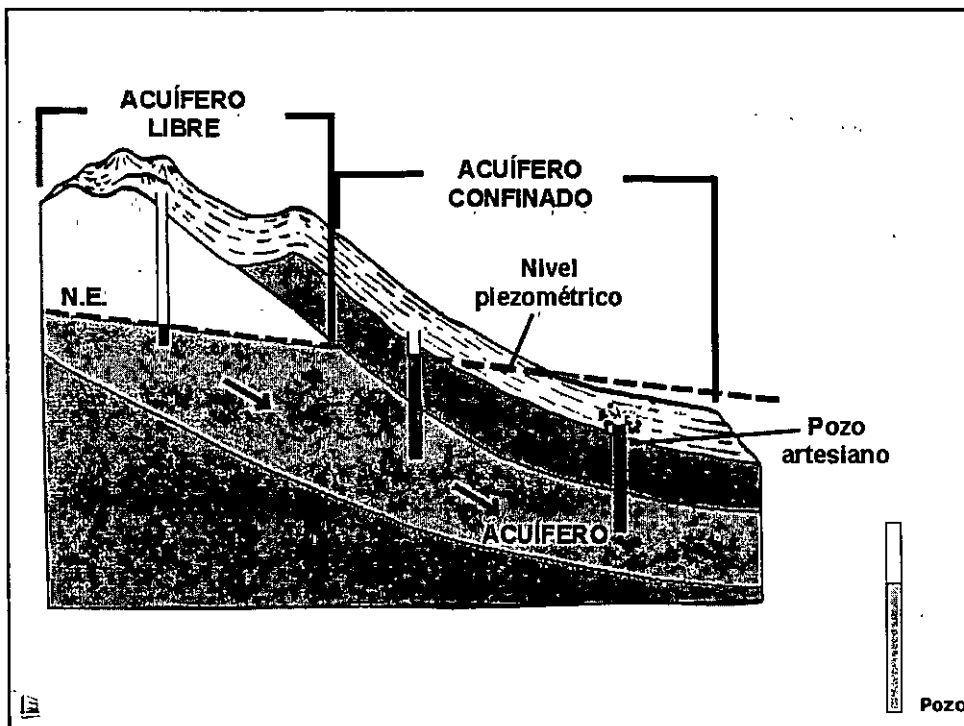
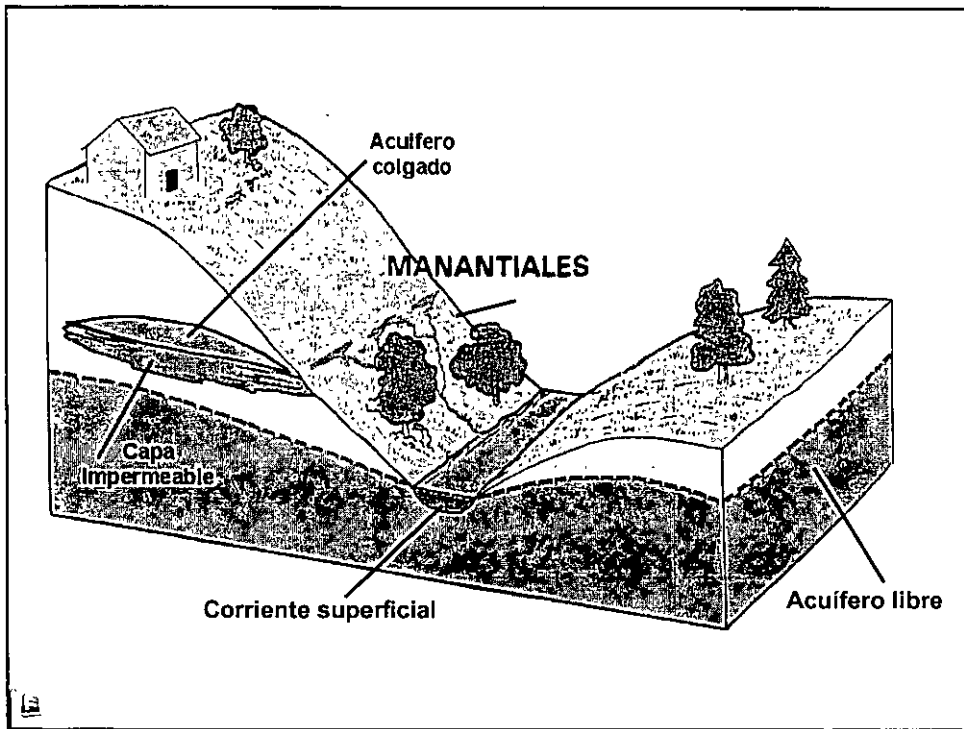
Franja de suelo inmediatamente arriba del nivel del agua subterránea, en la cual los poros están saturados de agua a una presión menor a la atmosférica.

Flujo del agua subterránea



ADVECCIÓN

Movimiento natural del flujo del agua



MEDICIÓN DE NIVELES

Nivel estático

En un acuífero libre, es la medida que se obtiene de la superficie del terreno a la parte superior del acuífero (en inglés "water table"; en sudamérica se le dice "napa").

Nivel piezométrico

Es el nivel que corresponde a los acuíferos confinados, en los que el agua está a una presión mayor a la atmosférica.

Nivel dinámico

Es el que se obtiene en un pozo en operación, también se le denomina nivel de bombeo. Es una medida mayor al nivel estático debido a la formación del cono de abatimiento.

Nivel freático

Es el nivel que presentan los acuitardos y acuíferos someros, es decir, cercanos a la superficie, están sometidos a la misma presión que la atmosférica. Sus aguas también se les denomina aguas freáticas o manto freático. El término proviene de las freatofitas, plantas cuyas raíces alcanzan la zona saturada cercana a la superficie.

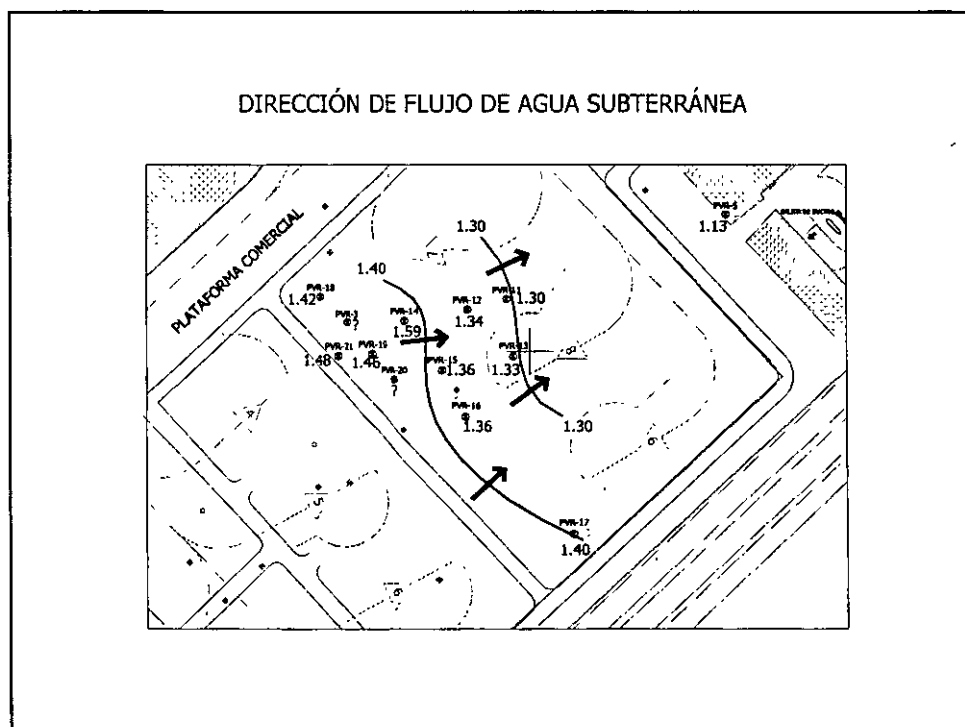
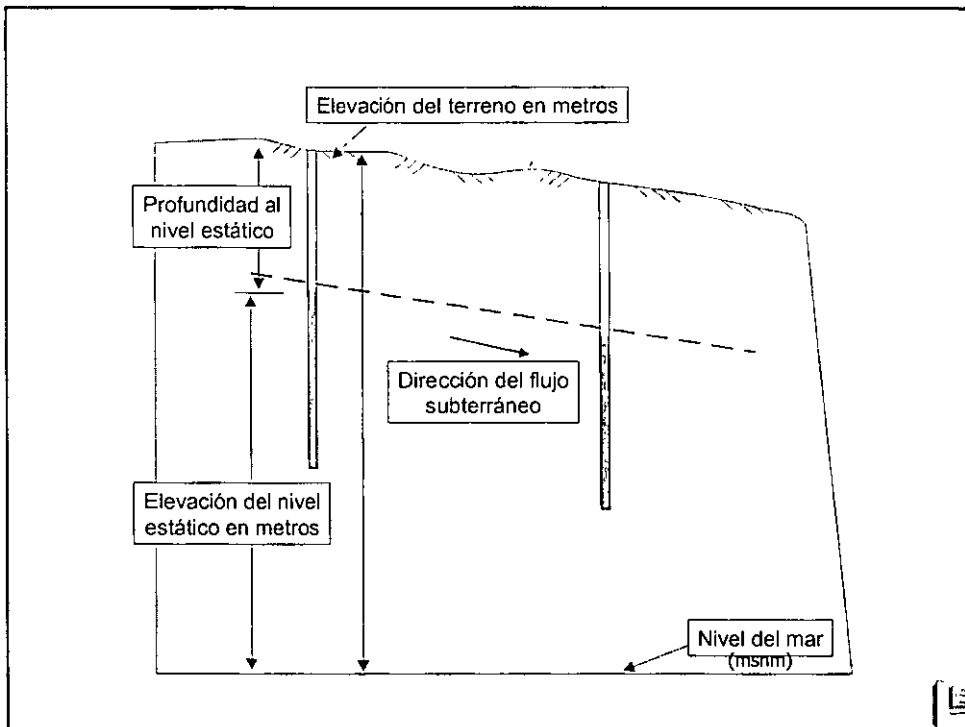
ACUITARDO

Es una zona de acumulación de agua, generalmente cercana a la superficie, que se forma por la presencia de una capa de material poco permeable de espesor importante que se encuentra por arriba del acuífero.

La presencia de un acuitardo es común en zonas de antiguos lagos.

Un acuitardo se distingue de un acuífero porque rinde caudales de agua muy limitados, que no pueden satisfacer necesidades de abastecimiento, debido a la baja permeabilidad del material. Por esta baja permeabilidad, el flujo vertical de agua de un acuitardo hacia el acuífero se da de una manera muy lenta.

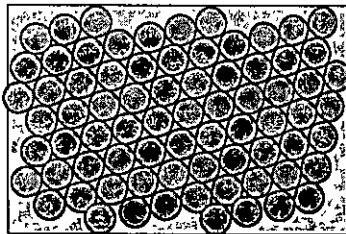
En zonas urbanas e industriales, un acuitardo constituye una barrera natural para reducir el paso de contaminantes hacia el subsuelo y por consiguiente, constituye una protección del acuífero, hasta que se alcanza su capacidad de retención de contaminantes.



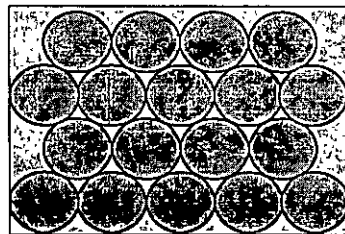
POROSIDAD

Es el porcentaje que corresponde a los espacios libres (poros) de un material geológico.

Entre más pequeño sea el diámetro de partícula, existe mayor porosidad.



Porosidad
>

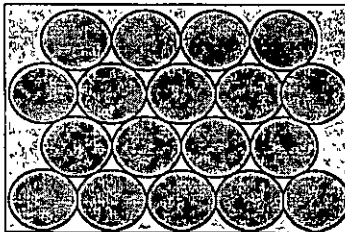


PERMEABILIDAD

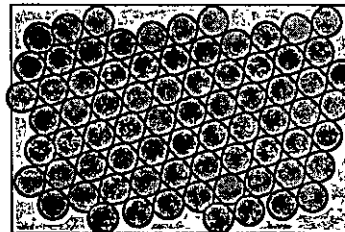
NOM-003-CNA-1996

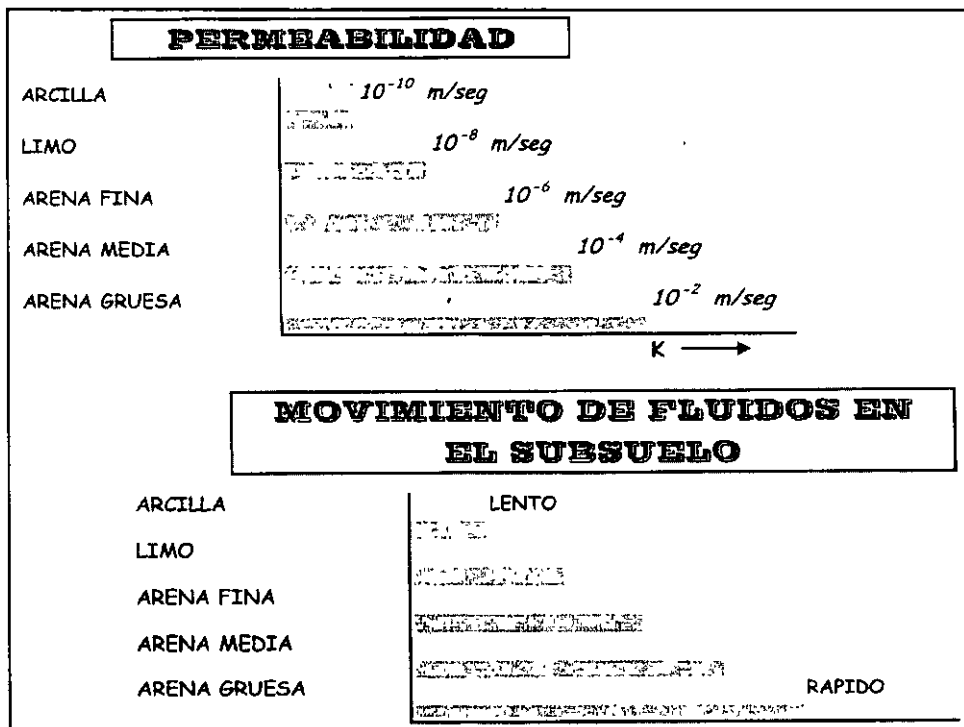
Es la capacidad de un material para transmitir un fluido.

Representa el grado de conectividad de los poros del suelo, entre mayor sea el tamaño de partícula hay mayor conectividad y mayor permeabilidad



Permeabilidad
>





VULNERABILIDAD DE UN ACUÍFERO

Es el riesgo de que un acuífero pueda ser contaminado.

La vulnerabilidad está en función de las características de los materiales que conforman el subsuelo.

- Tipo de acuífero
- Permeabilidad y tipo de material
- Profundidad al nivel del agua subterránea

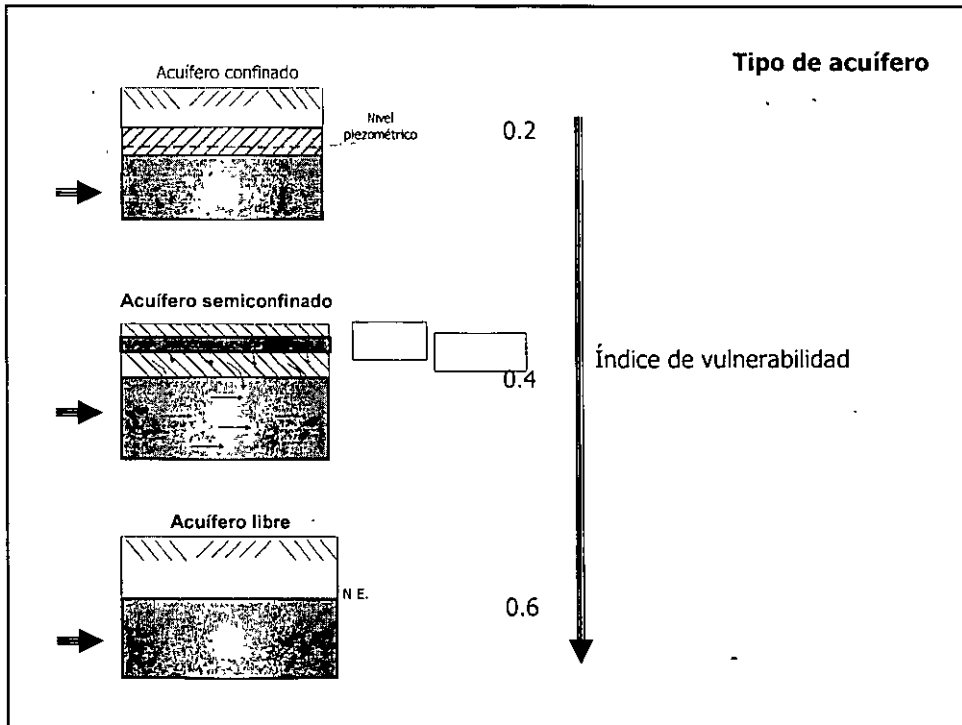
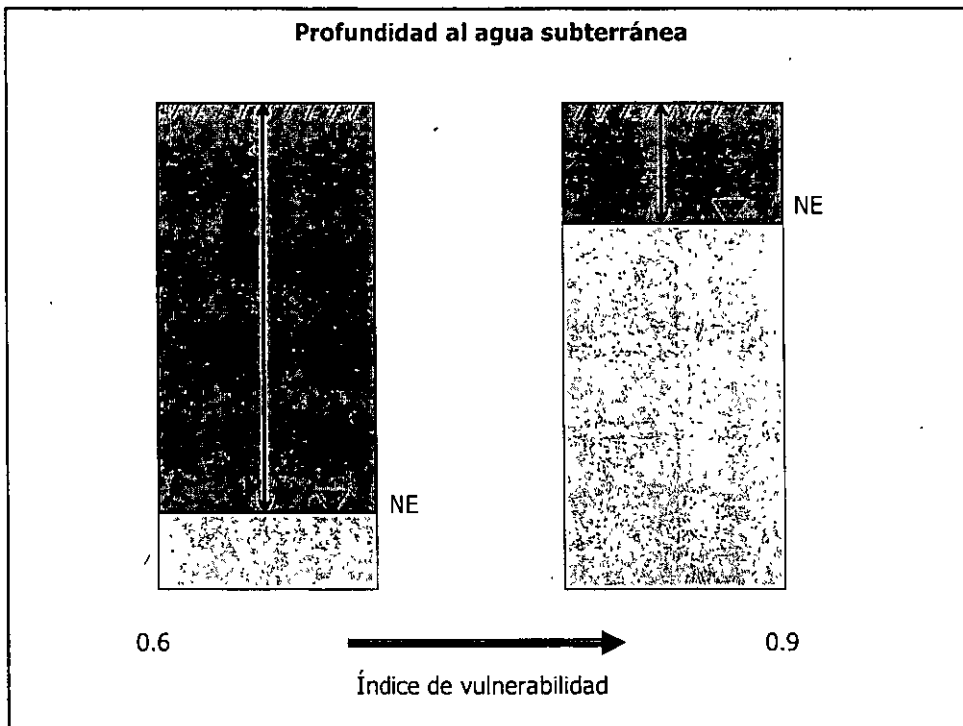


Tabla 2. Granulometría y litología sobreyacente

No consolidadas Sedimentos	Consolidadas		Índice
	Rocas porosas	Rocas densas	
Arcillas lacustres/esturianas Suelos residuales	-	-	0.4
Limos aluviales	Lutitas	-	0.5
Arenas aluviales	Limotita, toba volcánica	Formaciones ígneas/ metamórficas y volcánicas antiguas	0.6
Arena eólica	Areniscas	-	0.7
Gravas aluviales	-	Lavas recientes	0.8
-	Caliche	-	0.9
-	-	Calcretitas y calizas carstificadas	1.0

Nota: Se usará la litología de mayor capacidad atenuante o predominante de la zona no-saturada



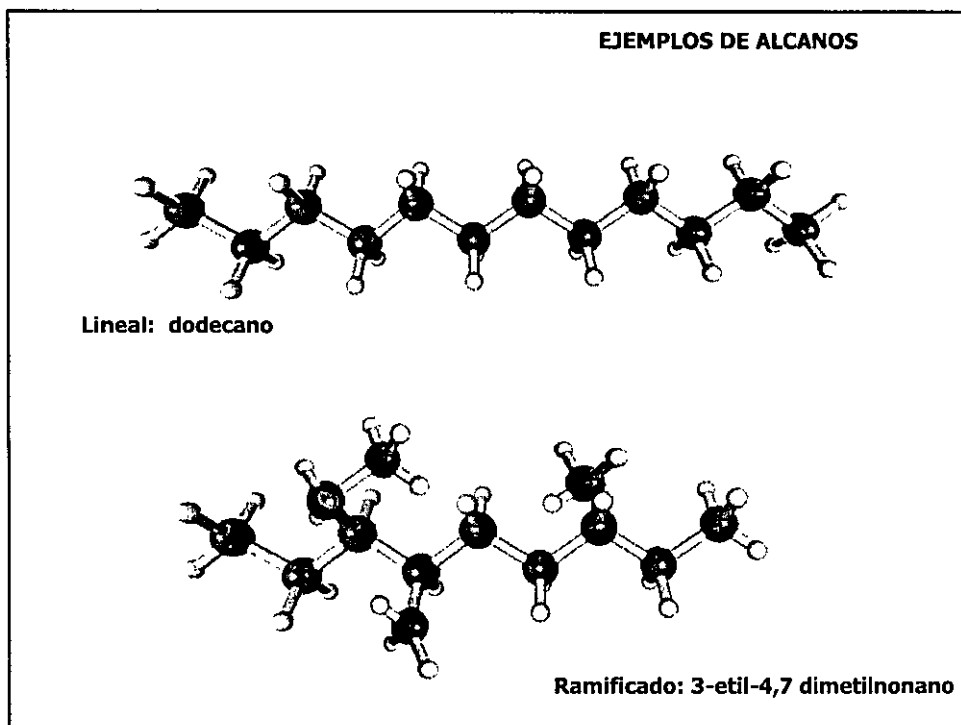
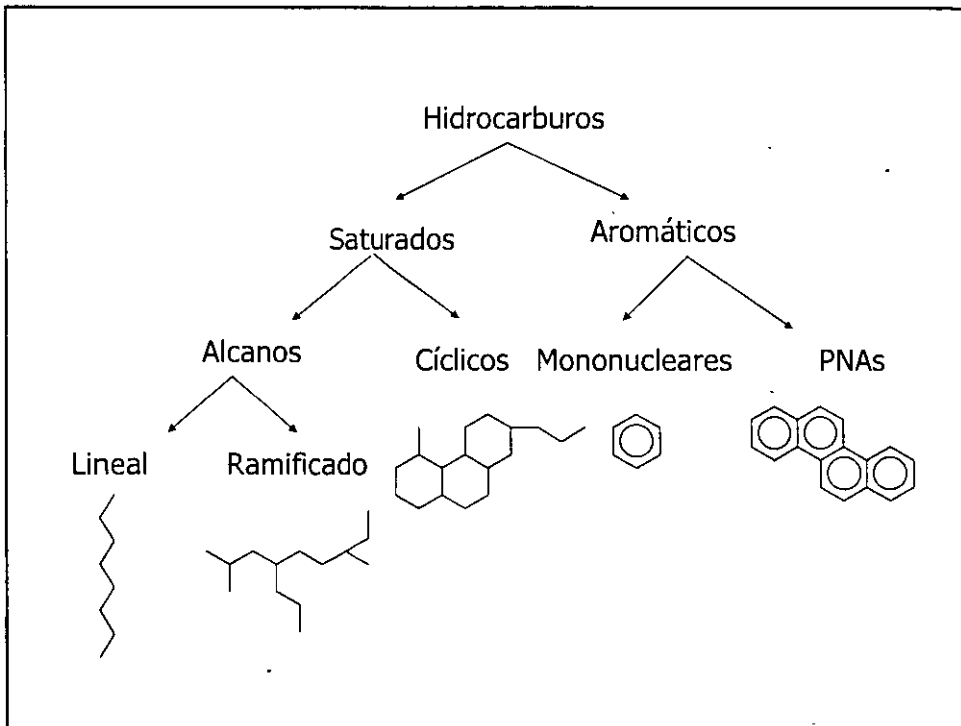
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

$$V_{aq} = G * O * D$$

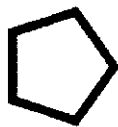
Se considera un acuífero vulnerable cuando $V_{aq} > 0.25$

<p style="text-align: center;">Ejemplo 1</p> <p style="text-align: center;">Acuífero confinado Arcillas NE = 25 m</p>	<p style="text-align: center;">Ejemplo 2</p> <p style="text-align: center;">Acuífero semiconfinado Arenas NE = 4.5 m</p>	<p style="text-align: center;">Ejemplo 3</p> <p style="text-align: center;">Acuífero libre Caliza NE = 15 m</p>
---	--	---

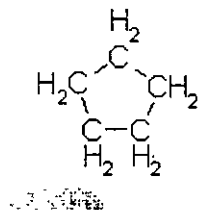
Favor de calcular valores y hacer comentarios



Diferentes presentaciones moleculares del ciclopentano y ciclohexano

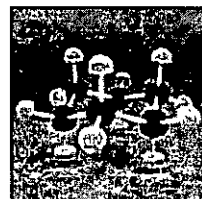
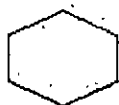


simple

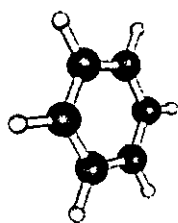


desarrollada

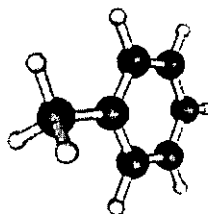
tridimensional



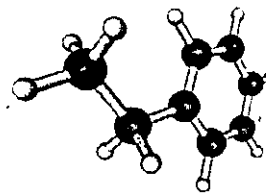
HIDROCARBUROS MONOAROMÁTICOS



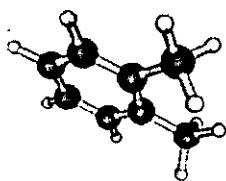
benceno



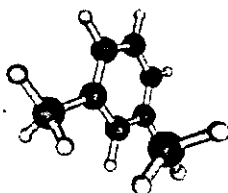
tolueno



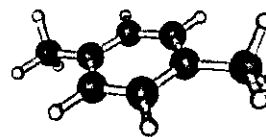
etilbenceno



o-xileno

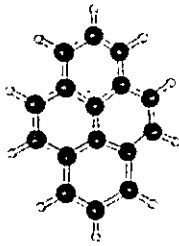


m-xileno

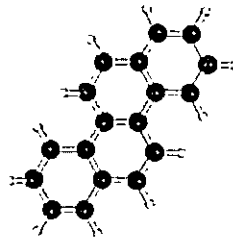


p-xileno

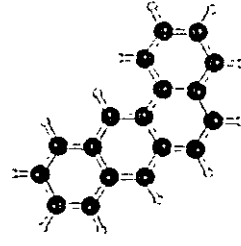
HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS



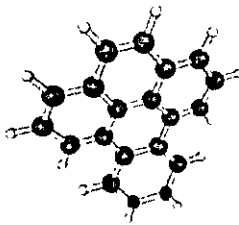
Pireno



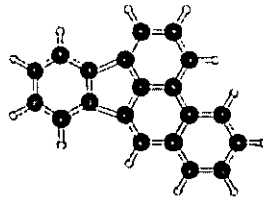
Criseno



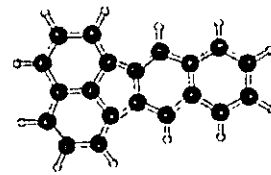
Benzo(a)antraceno



Benzo(a)pireno

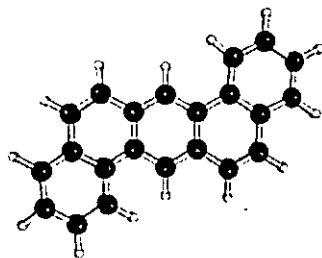


Benzo(b)fluoranteno

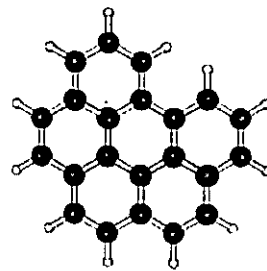


Benzo(k)fluoranteno

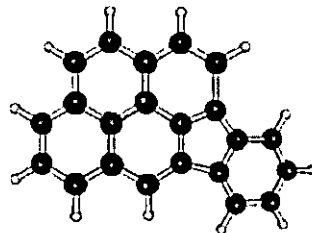
HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS



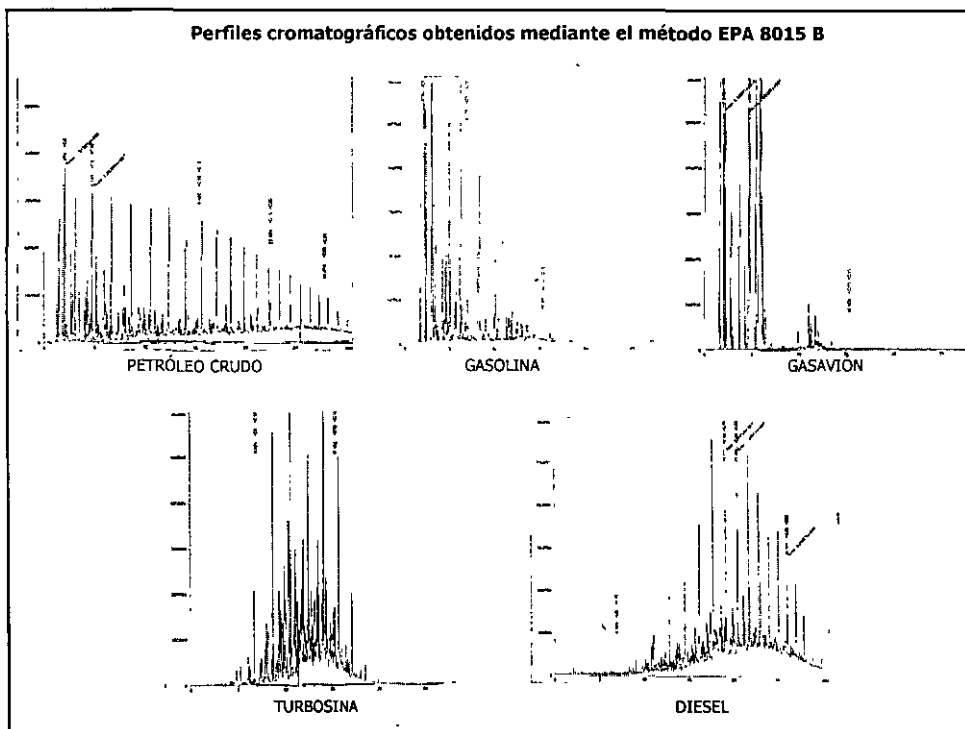
Dibenzo(a,h)antraceno



Benzo(g,h,i)perileno



Indeno(1,2,3-c,d)pireno



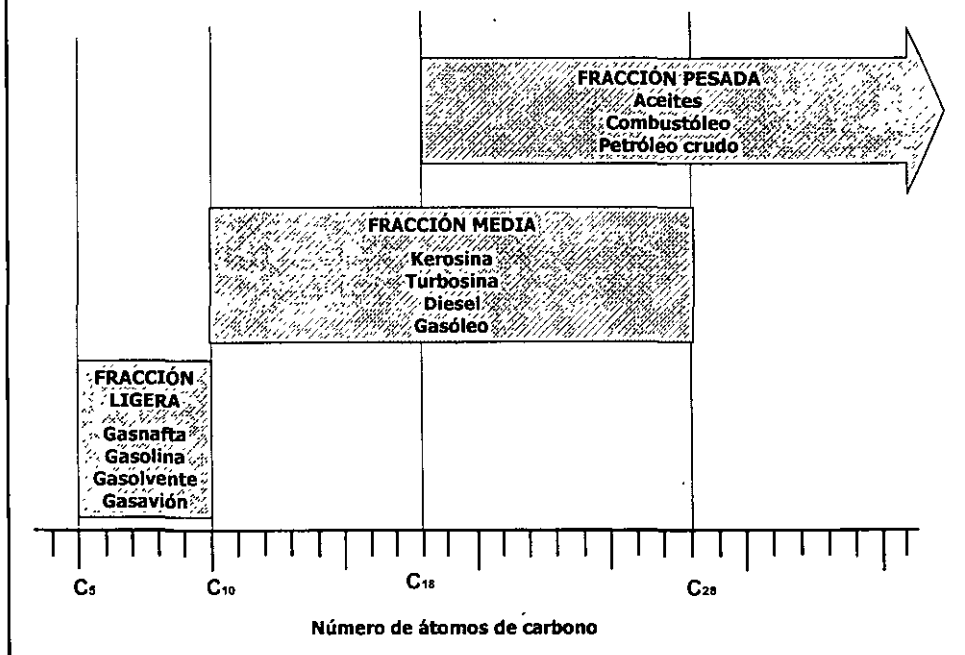
COMPOSICIÓN APROXIMADA DE LAS GASOLINAS

TIPO DE HIDROCARBUROS	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

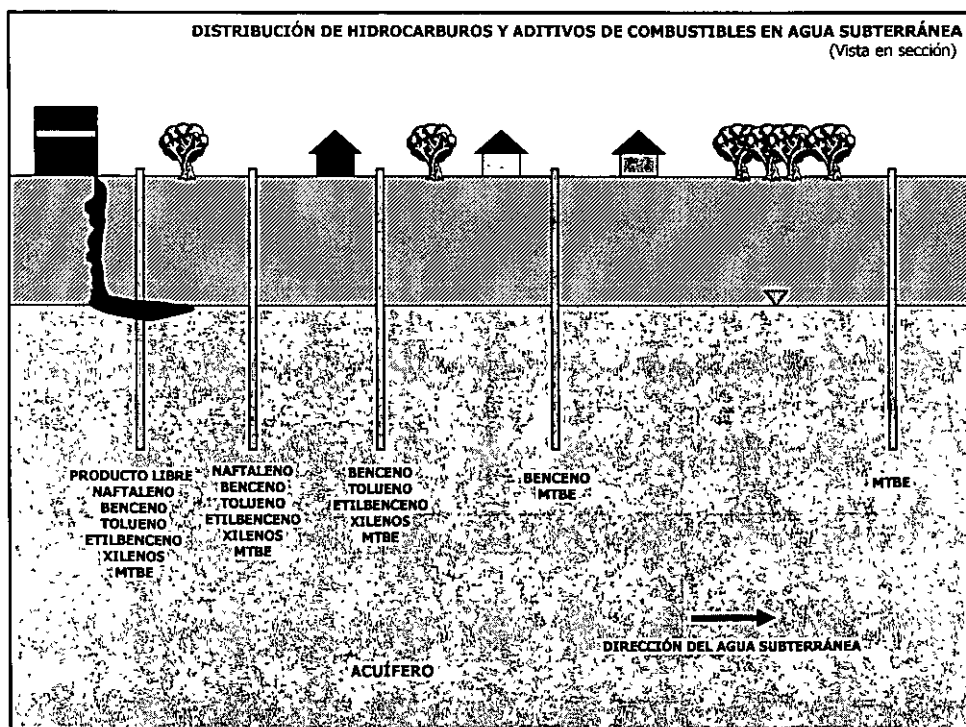
Átomos de Carbono	Alcanos (% v/v)	Cicloalcanos (% v/v)	Aromáticos (% v/v)
C ₁₀	0.9	0.6	0.4
C ₁₁	2.3	1.7	1.0
C ₁₂	3.8	2.8	1.6
C ₁₃	6.4	4.8	2.8
C ₁₄	8.8	6.6	3.8
C ₁₅	7.4	5.5	3.2
C ₁₆	5.8	4.4	2.5
C ₁₇	5.5	4.1	2.4
C ₁₈	4.3	3.2	1.8
C ₁₉	0.7	0.6	0.3
Totales	45.9	34.3	19.8

CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS REFINADOS DEL PETRÓLEO



SOLUBILIDAD DE HIDROCARBUROS PUROS EN AGUA

Hidrocarburo	Solubilidad (mg/L)
Benceno	1,750
Tolueno	526
o-Xileno	175
Etilbenceno	169
m-Xileno	158
Naftaleno	31
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
MTBE	50,000

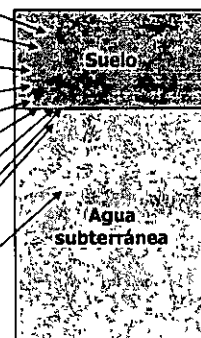


**COEFICIENTE DE SORCIÓN
(k_{oc})**

**PREFERENCIA DE UNA SUSTANCIA PARA
ADSORBERSE EN EL SUELO**

cifras altas = preferencia por el suelo

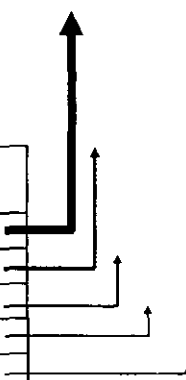
COMPUESTO	COEFICIENTE DE SORCIÓN cm^3/g
benzo(g,h,i)perileno	7' 800,000
benzo(b)fluoranteno	1' 200,000
benzo(a)pireno	1' 000,000
fenantreno	23,000
naftaleno	2,000
xilenos	240
etilbenceno	360
tolueno	180
benceno	59
MTBE	12



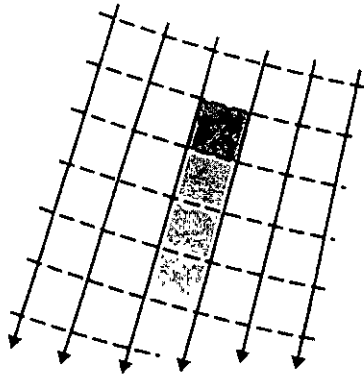
PRESIÓN DE VAPOR

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

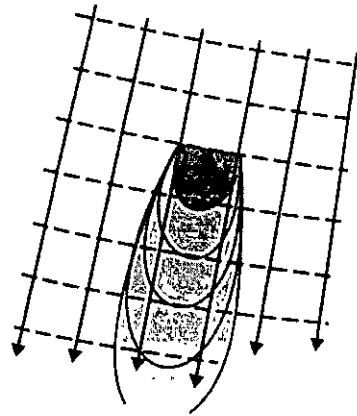
COMPUESTO	PRESIÓN DE VAPOR mm Hg
MTBE	249.0
benceno	95.2
tolueno	30.0
etilbenceno	10.0
m-xileno	7.0
naftaleno	0.23
fenantreno	0.00021
benzo(a)pireno	0.000568
benzo(b)fluoranteno	0.000000667
benzo(g,h,i)perileno	0.000000001



Transporte de contaminantes solubles en agua subterránea



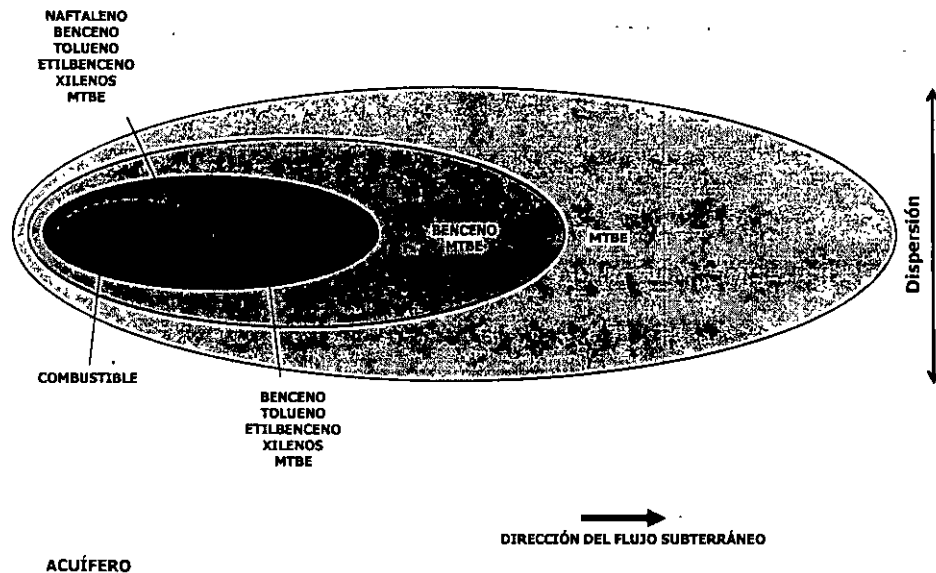
ADVECCIÓN



ADVECCIÓN + DISPERSIÓN

El ancho de la mancha de contaminación en el acuífero está dado por la dispersión y ésta a su vez por la difusión molecular de los compuestos solubles

DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS Y ADITIVOS DE COMBUSTIBLES EN AGUA SUBTERRÁNEA
(Vista en planta)



Propiedades fisicoquímicas de Hidrocarburos

Nombre del compuesto	Peso Molecular (g/mol)	Solubilidad en agua (mg/L)	Coefficiente de distribución octanol/agua Log K_{ow} (adim)	Coefficiente de sorción K_{oc} (cm^3/g)	Constante de la Ley de Henry (adim)	Presión de vapor (mm Hg)	Coefficiente de difusión en agua (cm^2/s)	Coefficiente de difusión en aire (cm^2/s)
Benceno	78.1	1,750.0	1.77	59	0.229	95.2	0.0000098	0.088
Tolueno	92.4	515.0	2.13	180	0.260	30.0	0.0000094	0.085
Etilbenceno	106.2	169.0	2.56	360	0.325	10.0	0.0000078	0.075
Xilenos	106.2	198.0	2.38	240	0.290	70.0	0.0000085	0.072
Naftaleno	128.2	31.0	3.30	2,000	0.0199	0.23	0.0000075	0.059
Acenafteno	154.21	3.93	3.85		0.0318	0.005	0.0000076	0.042
Acenaftileno	152.21	3.93	4.00		0.0047	0.00000000085	0.0000075	0.043
Fluoreno	166.0	1.69	3.86		0.0048	0.0170	0.0000078	0.036
Antraceno	178.23	0.045	4.15		0.0278	0.0000013	0.0000077	0.032
Fenantreno	178.22	1.60	4.15	23,000	0.0250	0.00021	0.0000074	0.033
Fluoranteno	202.0	0.206	4.58		0.02760	0.0177	0.0000063	0.030
Pireno	202.3	0.16	4.58		0.00000028	0.000000042	0.0000072	0.027
Criseno	228.2	0.0018	5.30		0.00000048	0.000000057	0.0000062	0.024
Benzo[a]antraceno	228.3	0.0057	6.14		0.00000056	0.00000015	0.0000090	0.051
Benzo[b]fluoranteno	252.0	0.0147	5.74	1,200,000	0.000829	0.00000066	0.0000055	0.022
Benzo[k]fluoranteno	252.3	0.0043	5.74		0.00000044	0.00000000095	0.0000055	0.022
Benzo[a]pireno	252.3	0.00162	6.01	1,000,000	0.0000466	0.000568	0.0000090	0.043
Benzo[g,h,i]perileno	276.0	0.0007	6.20	7,800,000	0.0000057	0.000000001	0.0000056	0.049
Indeno[1,2,3-cd]pireno	276.34	0.062	7.53		0.0000000002	0.000000001	0.0000044	0.023
Dibenzo[a,h]antraceno	278.35	0.0005	5.87		0.0000157	0.00000000052	0.0000052	0.020
MTBE (metilterbutiléter)	88	50,000.00	1.08	12	0.0204	249.0	0.0000940	0.079

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CONTAMINANTES LÍQUIDOS
QUE DETERMINAN EL MEDIO AFECTADO:**

**Densidad: determina su posición
con respecto al agua**

$$\rho = \frac{\text{Scales}}{\text{Flasks}}$$



**Viscosidad: determina su migración
en el subsuelo**
En hidrocarburos es función del peso molecular

**CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS LÍQUIDOS
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

$$\rho = \frac{\text{Scales}}{\text{Flasks}}$$

**DNAPLs: Más densos que el agua
forman una capa debajo del agua**

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

PRODUCTOS VISCOSOS
(FRACCIÓN PESADA):

CRUDO, COMBUSTÓLEO, ACEITES, DESECHOS PETROLEROS

PERMANECEN EN EL SUELO SUPERFICIAL



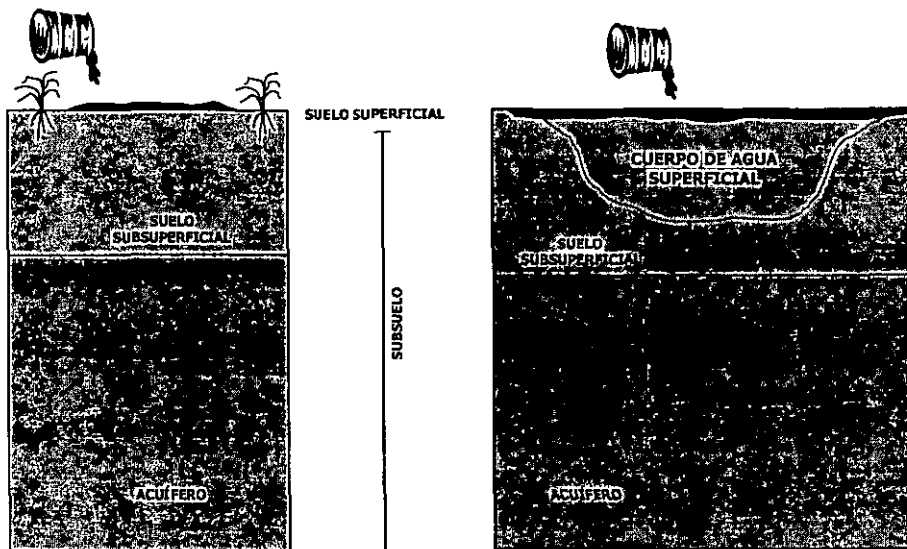
PRODUCTOS FLÚIDOS
(FRACCIONES LIGERA E INTERMEDIA)

**COMBUSTIBLES: GASOLINA, GASAVIÓN, TURBOSINA,
DIESEL, GASÓLEO**

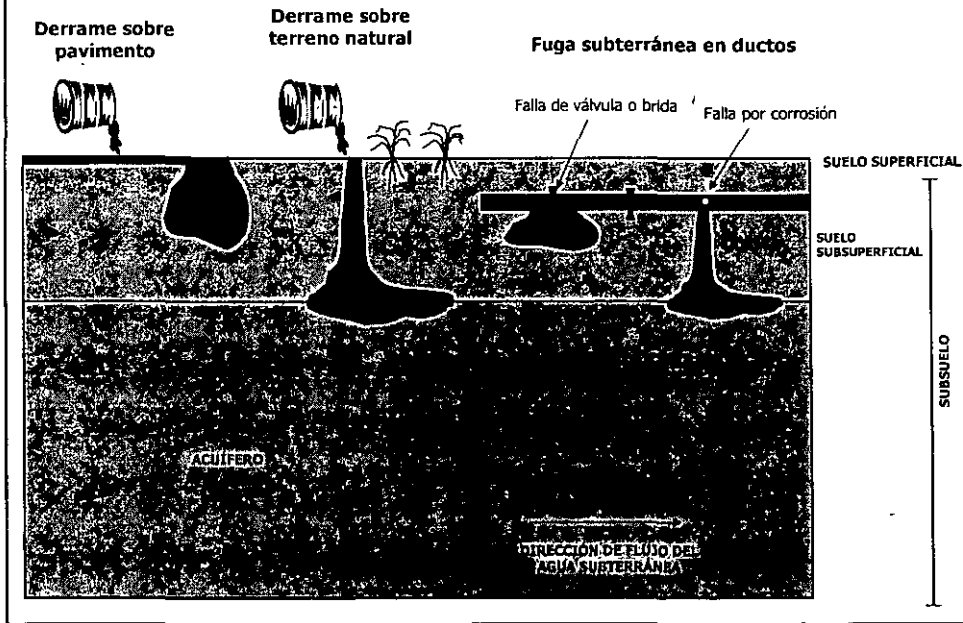
DISOLVENTES: XILENOS, AROMINAS

MIGRAN CON FACILIDAD HACIA EL ACUÍFERO

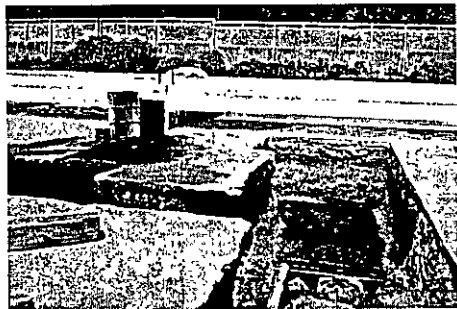
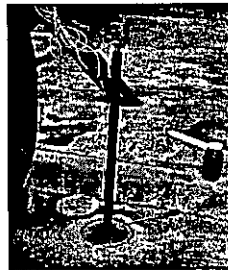
**MEDIOS AFECTADOS POR DERRAME DE PRODUCTOS PESADOS Y
DESECHOS PETROLEROS**



MEDIOS AFECTADOS POR DERRAME DE COMBUSTIBLES EN SUELO



EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN DEL SUBSUELO POR DERRAME DE PRODUCTOS FRACCIÓN MEDIA Y LIGERA

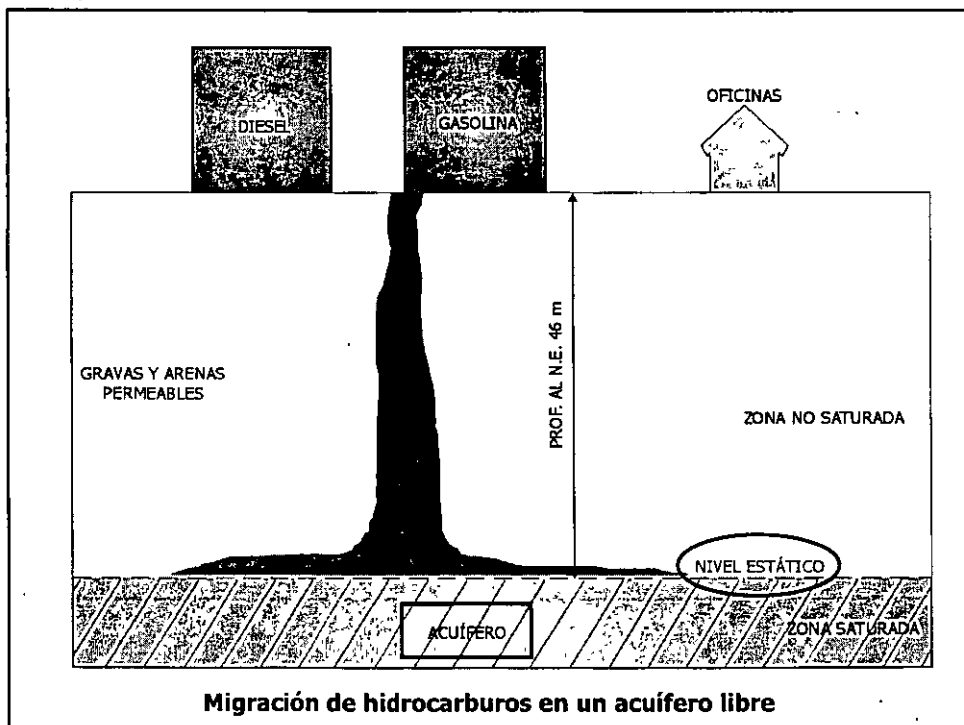


**Límite de migración de
productos del petróleo en el subsuelo**

- Profundidad del agua subterránea

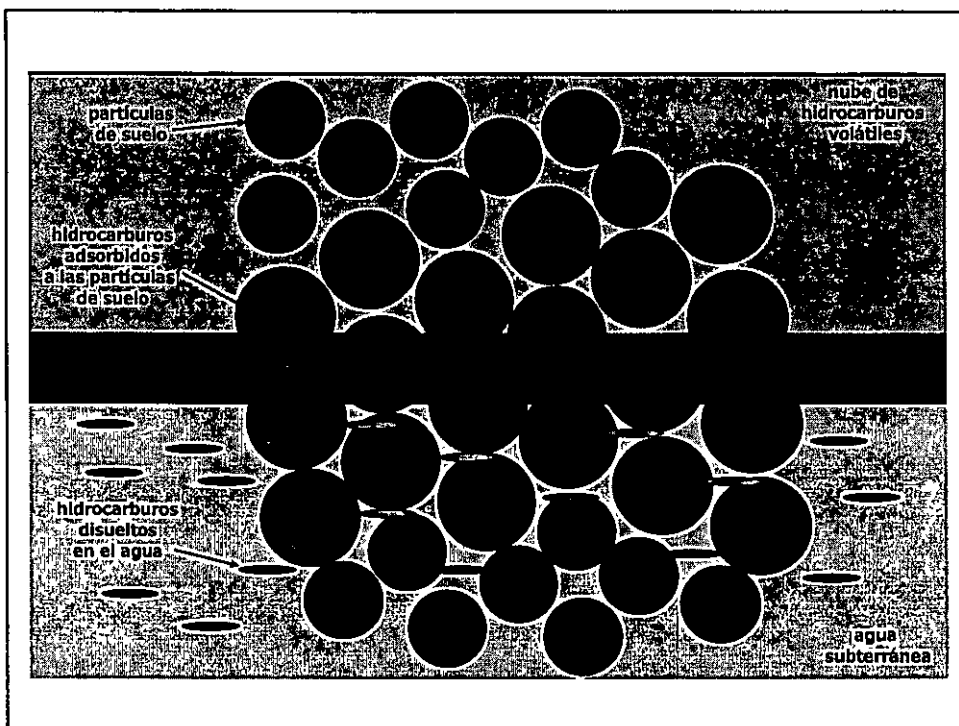


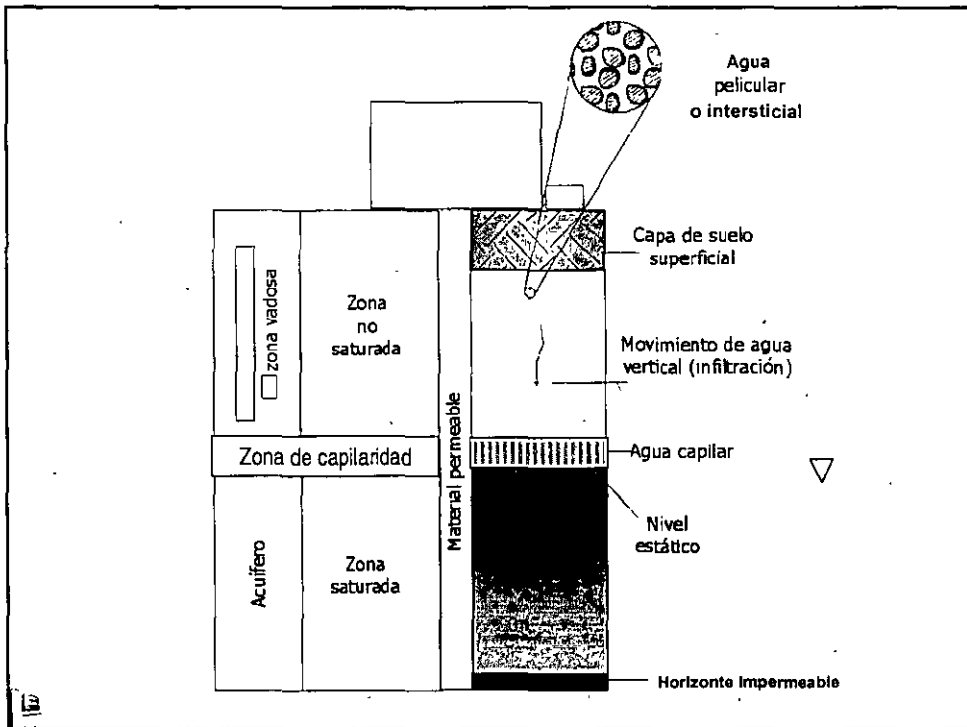
- Accidentes geológicos
(fracturas, fallas, cavernas)



FORMAS EN QUE SE PUEDEN ENCONTRAR LOS HIDROCARBUROS EN EL SUBSUELO

- adsorbidos a las partículas del suelo
- en fase gaseosa
- disueltos en agua subterránea
- en fase libre flotando sobre el agua subterránea





EVIDENCIA DE PRODUCTO LIBRE EN EL SUBSUELO POR EFECTO DE LA CAPILARIDAD



CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

Aspectos a revisar:

1. Definiciones
2. Contaminantes regulados
3. Plan de muestreo
4. Patrones de muestreo
5. Obtención de muestras de suelo
6. Análisis de contaminantes
7. Informe de caracterización

Dra. Susana Saval



Contaminante

LGGEPA (Art. 3, Fracc. VII)

Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Contaminación

LGGEPA (Art. 3, Fracc. VI)

La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier modificación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

Contaminación

Concepto que surge a partir de la interpretación y aplicación de las NOMs
Concentración a la cual un compuesto ajeno al ambiente rebasa la capacidad de la naturaleza para ser reincorporado a ésta.



EJEMPLOS DE SITIOS CONTAMINADOS



CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS
LGPGIR, 2003 (Art. 5, Frac. III)

Es la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación.

Trabajo de gabinete



Trabajo de campo

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				
Aceltes	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

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

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	USO DE SUELO PREDOMINANTE: RESIDENCIAL	USO DE SUELO PREDOMINANTE: INDUSTRIAL (INCLUYE COMERCIAL)	MÉTODO ANALÍTICO
	(INCLUYE FORESTAL, RECREATIVO Y DE CONSERVACIÓN)			
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

NIVELES DE FONDO

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.

UTM (coordenadas UTM)
Reglamento LGPGIR

Proyección Transversal Universal Mercator. Sistema utilizado para convertir coordenadas geográficas esféricas en coordenadas cartesianas planas.

Ejemplo:

En coordenadas UTM se reporta como

X = 12'668,304.7517

Y = 547,426.63513",

A partir de coordenadas geográficas esféricas

LN = 24° 07' 35.19926"

LW 104° 31' 59.73048"

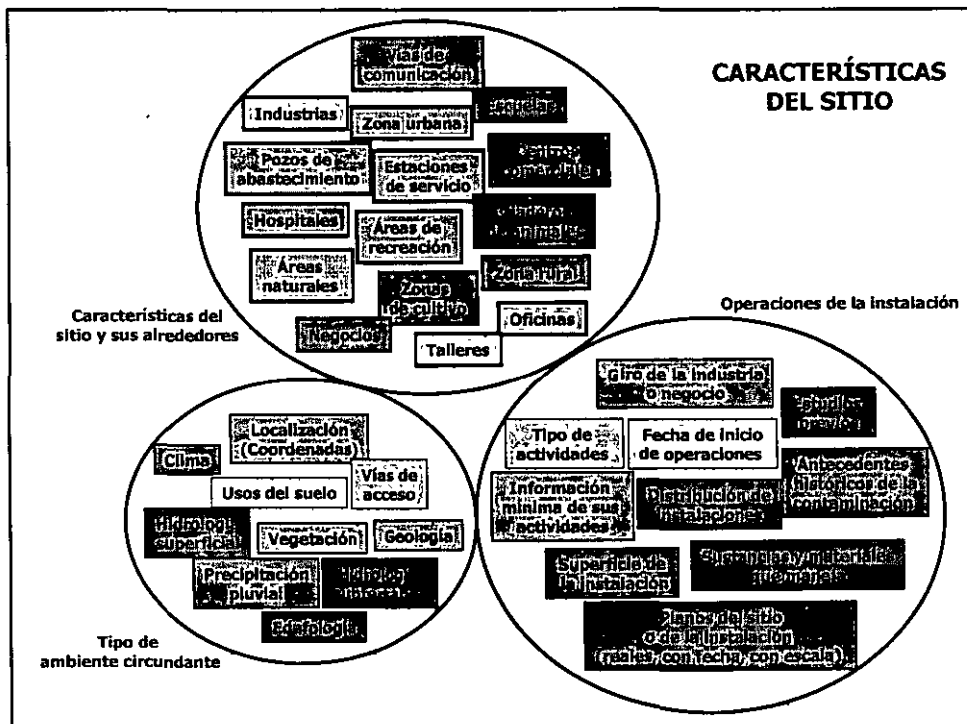
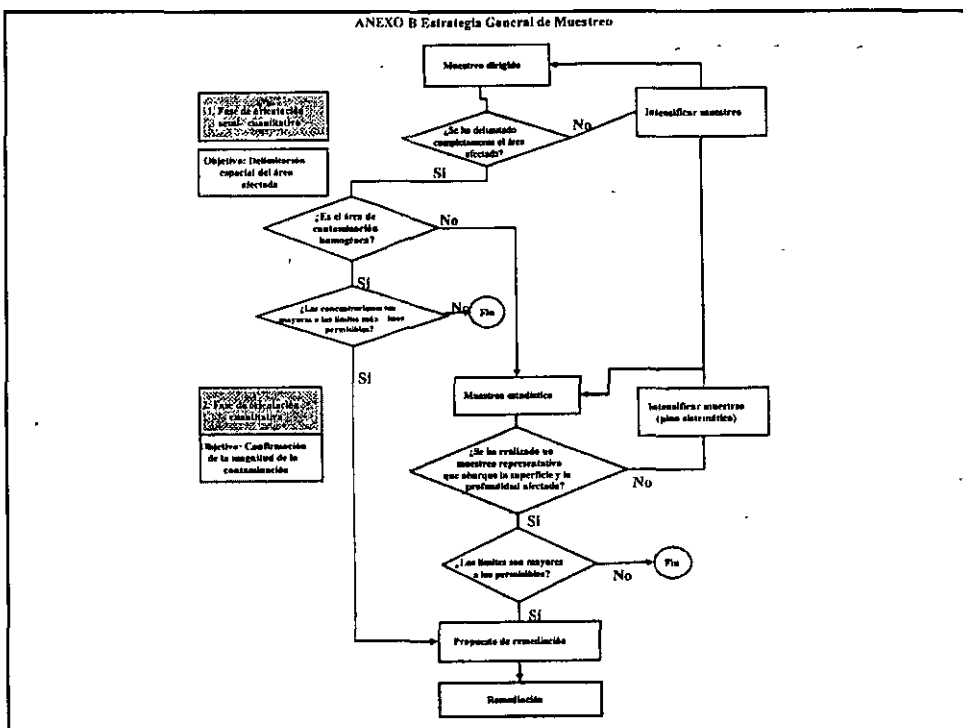


Tabla 4. Mínimo de puntos de muestreo de acuerdo con el área contaminada

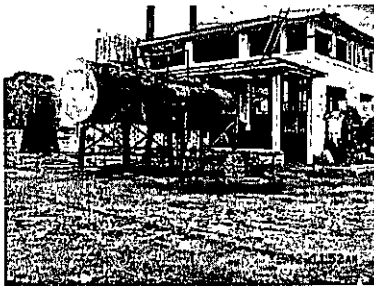
ÁREA CONTAMINADA (ha)	PUNTOS DE MUESTREO
Hasta 0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1.0	20
2.0	25
3.0	27
4.0	30
5.0	33
10.0	38
15.0	40
20.0	45
30.0	50
40.0	53
50.0	55
100.0	60



MUESTREO DIRIGIDO EN ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

Definición de la localización de puntos de muestreo 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 ocurrió en un ducto enterrado, se pueden realizar a través de sondeos exploratorios con medición de hidrocarburos volátiles (también conocido 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.



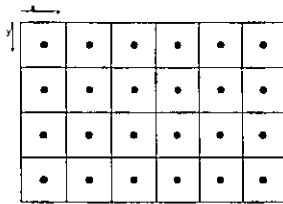
Ejemplos para aplicar muestreo dirigido



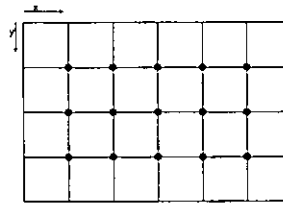
PATRONES DE MUESTREO SISTEMÁTICOS

Rejillas regulares

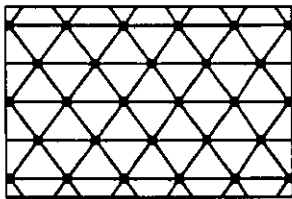
Puntos al centro de cada rejilla



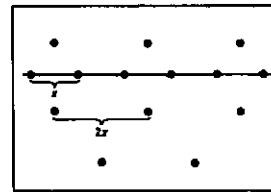
Puntos en las intersecciones



Rejillas triangulares

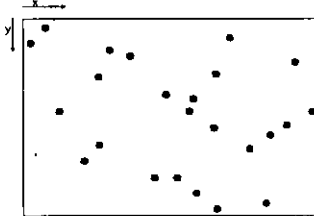


Sobre una línea

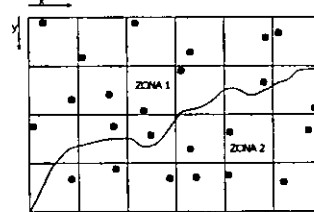


PATRONES DE MUESTREO SISTEMÁTICOS

Aleatorios

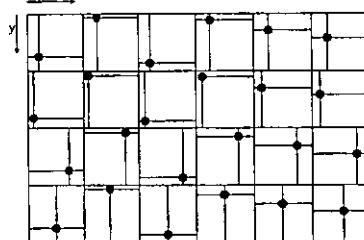


Aleatorios zonificados en una rejilla regular



Estos son los comúnmente referidos

Aleatorios desalineados en una rejilla regular



Aplicabilidad de los patrones de muestreo sistemáticos

Patrón de muestreo	En caracterización	En remediación
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

Aplicabilidad de los patrones de muestreo no-sistemáticos

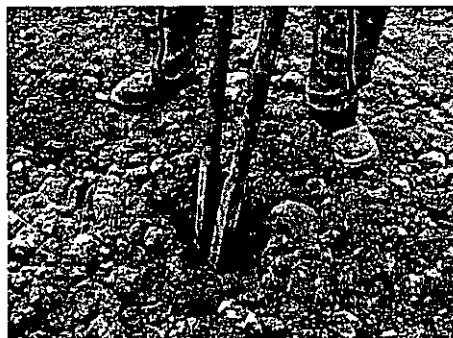
Patrón de muestreo	En caracterización	En remediación
Rejilla circular	Recomendado en sitios donde ocurrieron fugas de tanques de almacenamiento o la fuente es puntual	Recomendado en sitios donde ocurrieron fugas de tanques de almacenamiento o la fuente es puntual y se aplique una remediación <i>in-situ</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

TABLE B
Probability Points of the χ^2 Distribution with ν Degrees of Freedom

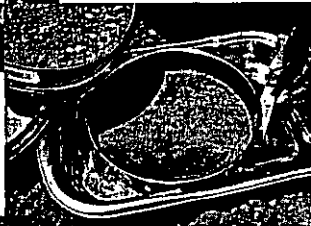
ν	Tail Area Probability						
	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.325	1.000	1.678	3.841	5.024	7.879	10.828
2	0.299	0.816	1.890	3.000	4.605	6.965	9.552
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.711	1.533	2.142	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.465	4.032
6	0.265	0.716	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.459
8	0.262	0.706	1.393	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	2.623	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	2.876
19	0.257	0.688	1.326	1.729	2.093	2.539	2.851
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	2.501	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	2.391	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

La estructura de la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 hace una distinción de las diferentes responsabilidades que intervienen para su cumplimiento:

- ✓ Responsable de la contaminación (LGEEPA, LGPGIR)
- ✓ Responsable del muestreo (responsable del estudio de caracterización)
- ✓ Responsable de la toma de muestras y de los análisis (laboratorio con métodos acreditados y aprobados)



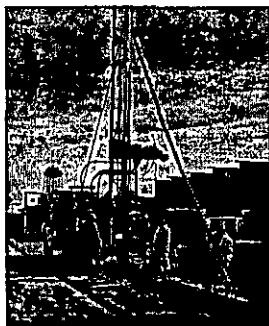
**MUESTRO DE SUELO SUPERFICIAL
CON CAVADORA**



**MUESTRO DE SUELO SUPERFICIAL
CON PERFORADORA MANUAL**



**OBTENCIÓN DE LA MUESTRA
DE SUELO A PARTIR DEL
TUBO SHELBY**



**MUESTREO DE SUELO
PROFUNDO CON
PENETRÓMETRO Y
TUBO MUESTREADOR**



Barrenas huecas

Tubo muestreador

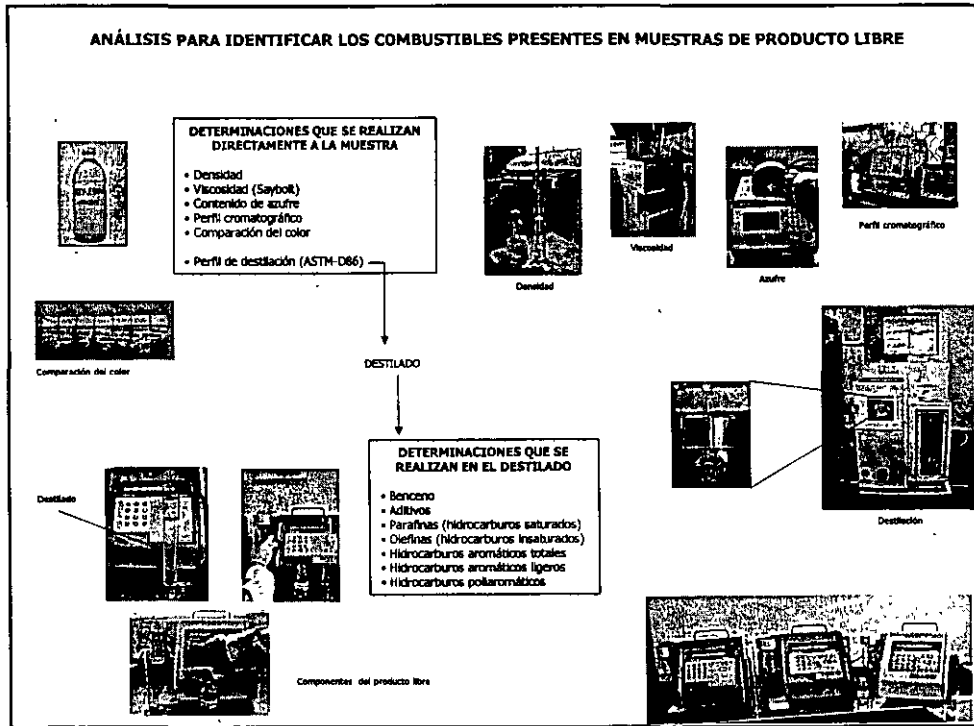


Tabla 5. Recipientes para las muestras, temperaturas de preservación y tiempo máximo de conservación por tipo de parámetro

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación °C	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	14 días
BTEX		4	7 días
Hidrocarburos fracción media		4	14 días
Hidrocarburos fracción pesada		4	14 días
HAPs		4	14 días

MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELOS

Anexos	Determinación analítica	Método de referencia
1	Hidrocarburos fracción ligera	EPA 8015B 1996 (NMX en elaboración)
2	Hidrocarburos fracción media	EPA 8015B 1996 (NMX en programa)
3	Hidrocarburos fracción pesada	EPA 9071B extracción EPA 1664A gravimetría (NMX publicada)
4	Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (suma de isómeros) BTEX	EPA 8260B 1996 EPA 8021B 1996 (NMX en consulta pública)
5	Hidrocarburos poliaromáticos (HPAs)	EPA 8310 1986 EPA 8270C 1996 (NMX en programa)
6	Humedad	AS-05 NOM-021-SEMARNAT-2000



NOM-133-SEMARNAT-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**

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**

**No existen especificaciones para el muestreo de
suelos que de cumplimiento a la
NOM-133-SEMARNAT-2001
para la determinación de bifenilos policlorados.**

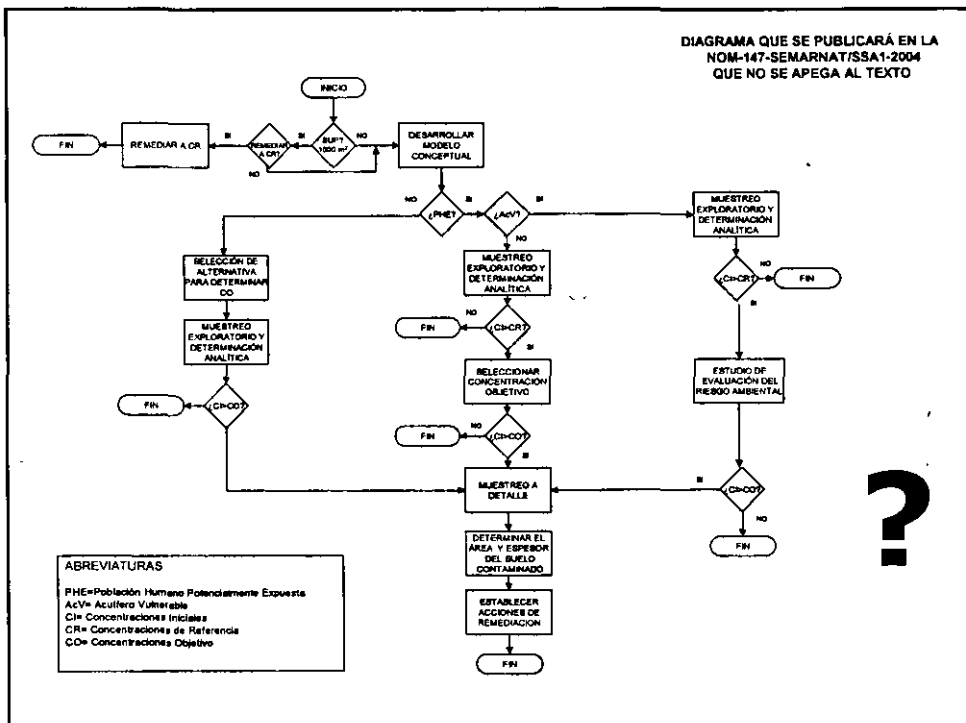
**Por lo tanto, se puede utilizar una estrategia
similar a la establecida para análisis de
hidrocarburos considerando los patrones de
muestreo aplicables.**

Tabla 2. Concentraciones de referencia de contaminantes solubles CR_s

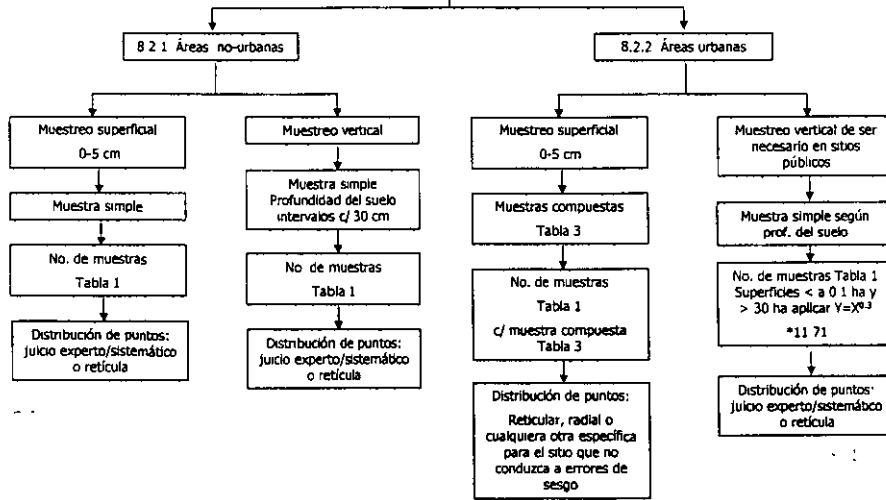
Contaminante	Concentración mg/L
Arsénico	0.500
Berilio	0.075
Cadmio	0.100
Mercurio	0.020
Níquel	0.500
Plomo	0.500
Selenio	0.100
Talio	0.192
Vanadio	0.371

En caso de cromo hexavalente, se aplicarán los siguientes criterios:

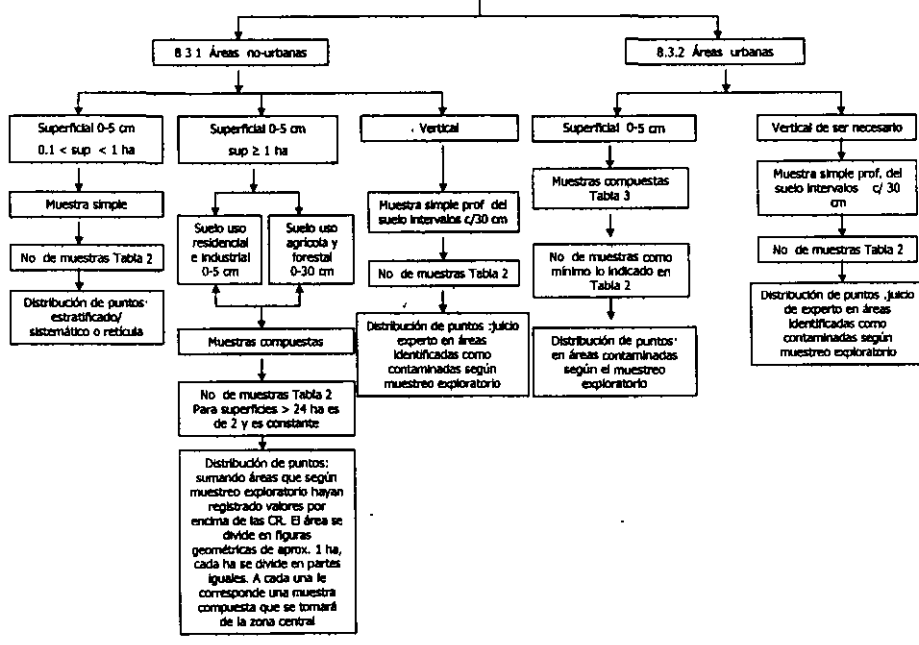
- Cuando el acuífero no es vulnerable, el valor de CI (soluble, adsorbida y precipitada) se debe obtener de aplicar el método descrito en el Apéndice Normativo C sección C.2.2 el que expresado en mg/kg, deberá ser menor o igual al valor de CRT señalado en la tabla 1 para suelos de uso agrícola.
- Cuando 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.



8.2 MUESTREO EXPLORATORIO



8.3 MUESTREO DE DETALLE



NOTA IMPORTANTE

Para una caracterización completa y más aún si va a ser realizada una evaluación del riesgo ambiental en el sitio contaminado, es indispensable obtener muestras de agua subterránea o de los cuerpos de agua superficiales aledaños, con las precauciones necesarias para evitar la pérdida de hidrocarburos volátiles.

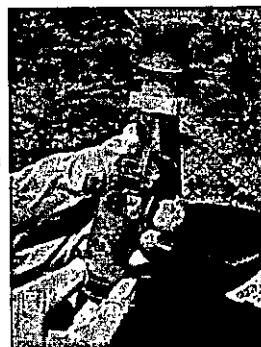
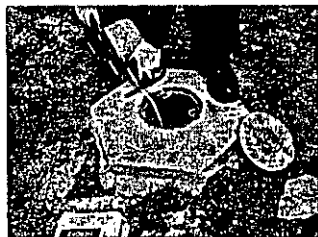
Los resultados de análisis deberán ser comparados con la modificación 2000 de la NOM-127-SSA1-1994 y revisados por la Comisión Nacional del Agua.



OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA



MEDICIÓN DE NIVELES



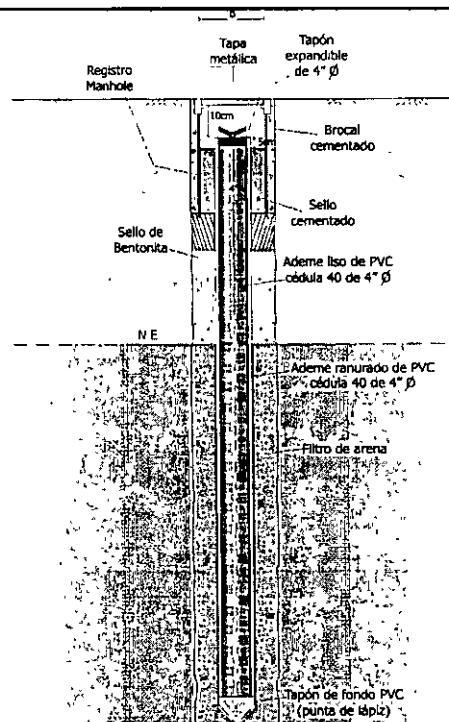
NOTA IMPORTANTE

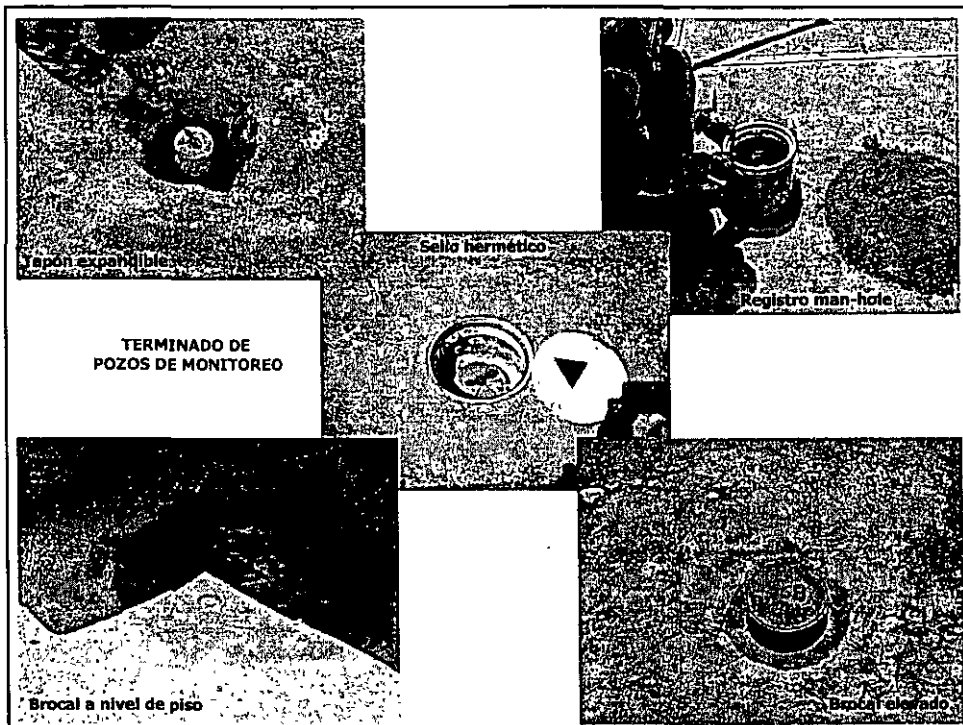
En caso de que el nivel estático sea somero, o que se encuentre producto libre y no existan pozos de monitoreo, será necesario construirlos.

Los pozos deben garantizar su hermeticidad a través de: un buen sellado con bentonita, un tapón expandible en el ademe y una tapa de registro tipo Manhole con empaque.

Con esto se podrá evitar el ingreso de sustancias ajenas a las condiciones del subsuelo aunque exista contaminación.

Diseño de terminación de pozos de monitoreo





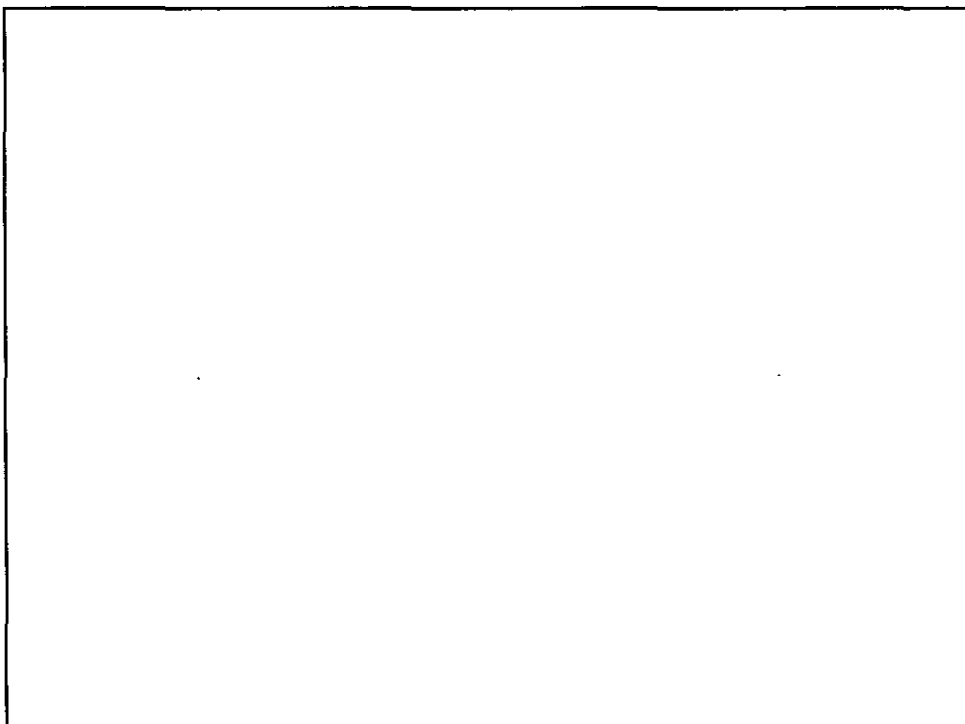
**Contenido de un estudio de caracterización
Reglamento de la LGPGIR
Título Sexto, Capítulo II, Sección III, Artículo 138**

- I. La ubicación, descripción y uso actual del sitio de contaminado, incluyendo, en su caso, los cuerpos de agua que existan en el lugar y si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos;**
- II. El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente;**
- III. El área y volumen de suelo dañado;**
- IV. El Plan de muestreo que prevean las normas oficiales mexicanas;**
- V. Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelos y en su caso, los de los análisis y pruebas químicas, así como los de las pruebas físicas, biológicas y mecánicas practicadas a las mismas, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera; y**
- VI. La memoria fotográfica de los trabajos efectuados.**

¿ SE HA COMPRENDIDO LA CARACTERIZACIÓN DEL SITIO ?

SI, SEGUIMOS CON REMEDIACIÓN

NO, SUS PREGUNTAS SERÁN BIENVENIDAS



REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

Aspectos a revisar:

1. Definiciones
2. Disposiciones
3. Técnicas de remediación

Dra. Susana Saval



REMEDIACIÓN LGPGIR, 2003

(Título Primero, Capítulo Único, Artículo 5, Fracción XXVIII)

Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.

Aplica cuando la concentración de contaminantes rebasa los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas

PROGRAMAS DE REMEDIACIÓN

Reglamento de la LGPGIR, 2006
(Título Sexto, Capítulo II, Sección I)

Artículo 133

Se determinarán las acciones de remediación tomando como base lo establecido en las NOMs aplicables o en caso de no existir éstas, los niveles de remediación que se determinen con base en el estudio de evaluación de riesgo ambiental que se realice.

Artículo 134

Los programas de remediación según corresponda incluyen:

- I. Estudios de caracterización
- II. Estudios de evaluación del riesgo ambiental
- III. Investigaciones históricas según sea el caso
- IV. Las propuestas de remediación

Estas investigaciones deberán establecer las actividades realizadas en el sitio contaminado causantes de los daños ambientales; los sucesos que condujeron a la contaminación del suelo, el subsuelo y los mantos acuíferos; las condiciones geohidrológicas, así como las relaciones de posesión y uso pasado presente del sitio contaminado.

PROGRAMAS DE REMEDIACIÓN

Reglamento de la LGPGIR, 2006
(Título Sexto, Capítulo II, Sección I)

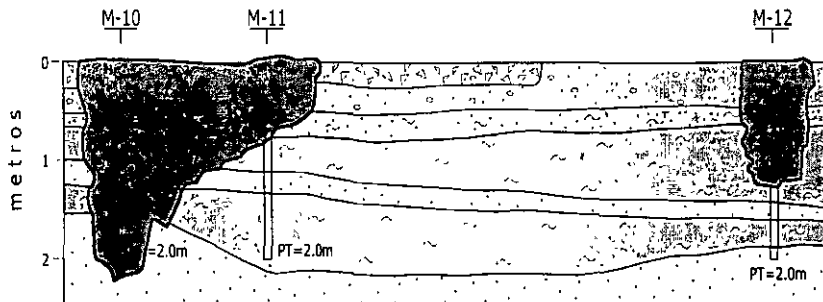
Artículo 135

Para emergencias ambientales, los programas de remediación deben incluir los datos generales del responsable de la contaminación, su actividad, datos del responsable técnico de la remediación, el lugar y fecha de la emergencia y los resultados de la caracterización.

Se debe adjuntar lo siguiente:

- I. Planos del lugar georeferenciados con coordenadas UTM y orientación geográfica, a una escala que permita apreciar la información, donde se muestre topografía, cuerpos de agua superficiales, puentes y caminos de acceso, áreas afectadas y puntos de muestreo;
- II. Cadena de custodia de las muestras;
- III. Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en suelo y subsuelo

Ubicación de la contaminación en suelo



RESPONSABLE TÉCNICO

Reglamento de la LGPGIR, Título Sexto, Capítulo II, Sección II

Artículo 137

Los programas de remediación, así como los estudios de caracterización y de riesgo ambiental se podrán llevar a cabo por el responsable de la contaminación o daño ambiental de manera directa o a través de los responsables técnicos que éste designe.

Los responsables técnicos podrán ser:

- I. Instituciones de educación superior con experiencia en la materia;
- II. Prestadores de servicios de tratamientos de suelos contaminados autorizados;
- III. Otra persona, siempre que el responsable anexe al programa de remediación respectivo, la documentación que acredite la formación profesional y experiencia.

LISTA DE PRESTADORES AUTORIZADOS DE SERVICIOS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS
www.semamat.gob.mx

PROCEDIMIENTO DE REMEDIACIÓN

Reglamento de la LGPGIR, 2006
(Título Sexto, Capítulo III)

Artículo 148

En emergencias ambientales donde se hayan aplicado medidas de contención de los materiales o residuos peligrosos liberados, no se permitirá:

- I. El lavado de suelos en el sitio por medio de dispositivos hidráulicos, sin control, almacenamiento y tratamiento de los lixiviados y corrientes de agua generadas;
- II. La mezcla de suelos contaminados con no contaminados con propósitos de dilución;
- III. La extracción o remoción de suelos contaminados con residuos peligrosos contenido en ellos sin control de la emisión de polvos;
- IV. La aplicación de oxidantes químicos en el sitio.

PROCEDIMIENTO DE REMEDIACIÓN

Reglamento de la LGPGIR, 2006
(Título Sexto, Capítulo III)

Artículo 149

En la ejecución de los programas de remediación de sitios contaminados por emergencias o pasivos ambientales se observarán los siguientes criterios:

- I. Si se remueven suelos contaminados para su tratamiento, éstos se almacenarán y manejarán en lugares o superficies de manera que se evite la lixiviación y la filtración de contaminantes en suelos.
- II. Cuando la remediación se lleve a cabo "en el sitio", se deberá contar con un sistema de captación de lixiviados y no deberán aplicarse tratamientos que impliquen el uso de agentes químicos o biológicos que transfieran los contaminantes de un lado a otro.
- III. Cuando en las acciones de remediación se empleen métodos o técnicas que liberen vapores se deberá contar con el sistema de captación correspondiente.

Continúa

PROCEDIMIENTO DE REMEDIACIÓN

Reglamento de la LGPGIR, 2006
(Título Sexto, Capítulo III)

Artículo 150

Para el control de la remediación se observará lo siguiente:

- I. La periodicidad del muestreo para comprobar los avances de la remediación "en el sitio", deberá ser representativa y fundamentada en la propuesta de remediación.
- II. Para comprobar los avances de la remediación "a un lado" o "fuera del sitio" se realizarán los muestreos conforme al plan de muestreo de la propuesta de remediación.
- III. Se realizará un muestreo final comprobatorio de que se han alcanzado las concentraciones, niveles, límites o parámetros señalados en las NOMs aplicables o los niveles de remediación determinados con base en el estudio de evaluación de riesgo ambiental. La toma de muestras y su análisis deberán ser realizados por laboratorios acreditados.

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

8. ESPECIFICACIONES 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 la NOM, 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 la NOM, deben ser restaurados.

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

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 usar 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.



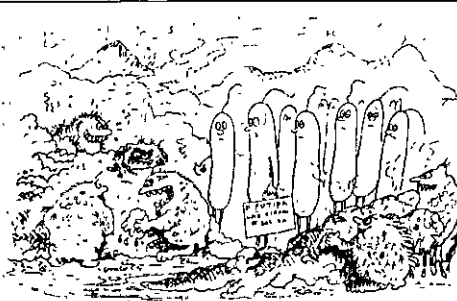
Dilución del suelo contaminado con arena de río limpia



Adición de materia orgánica como parte de la técnica

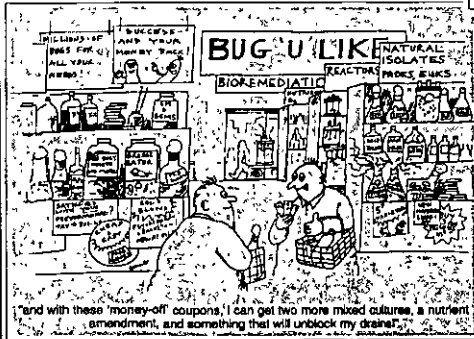
El fracaso de los microorganismos preparados en el laboratorio (probablemente manipulados genéticamente)

PREPARACIONES COMERCIALES PARA BIORREMEDIACIÓN



"Oh dear! I didn't realize 'in the field' would be like this! We should have stayed in the laboratory."

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



Source: Casan, 1993 TIBTECH 11 August 320-323

La diversidad de productos en el mercado de la biorremediación

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

En el caso de presencia de hidrocarburos en suelo ajenos al problema de contaminación que se esté evaluando y se hayan obtenido los niveles de fondo, procede lo siguiente.

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 la NOM, los trabajos de remediación serán realizados hasta alcanzar los niveles de fondo.

Esto es común en zonas de cultivo donde se ha practicado la quema de restos de cultivo, así como donde existe infraestructura con madera creosotada, por ejemplo: durmientes, postes, casas, muelles.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS PARA SUELOS CONTAMINADOS		
Este tipo de técnicas involucran el uso de microorganismos cuyas enzimas actúan para degradar o transformar contaminantes		
TÉCNICA	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN
Bioaumentación	• Adición de microorganismos exógenos, aislados del suelo contaminado y producidos masivamente o de preparaciones comerciales	Para compuestos orgánicos en general.
Bioestimulación	• Adición de fertilizantes, principalmente fuentes de nitrógeno amoniacal y fosfatos (algunas veces son requeridos elementos traza)	Para compuestos orgánicos en general.
Bioventeo	• Suministro de oxígeno molecular necesario para la respiración de los microorganismos. Se adiciona oxígeno puro o bien aire, que contiene 20% de oxígeno.	Para compuestos orgánicos en general
Biocultivo (landfarming)	• El suelo contaminado se trabaja en terrenos agrícolas donde se pueda extender para tener una capa de aproximadamente 25 cm, que se pueda oxigenar de manera natural. • El suelo contaminado se trabaja de la manera y con los equipos que se utilizan en la agricultura.	Para compuestos orgánicos en general
Biocomposteo	• Se adiciona composta para enriquecer de materia orgánica el suelo contaminado	Para compuestos orgánicos en general.
Biopilas	• El suelo contaminado se acomoda en pilas tan largas como se disponga de espacio	Para compuestos orgánicos en general.
Bioceldas	• El suelo contaminado se coloca en excavaciones que hayan sido preparadas con membranas de protección y pozos para colección de lixiviados.	Para compuestos orgánicos en general.
Fitorremediación Rizorremediación	• Acción de los microorganismos asociados a las raíces de las plantas sobre los contaminantes, para su degradación o transformación.	Aplicable en suelos con concentraciones bajas de contaminantes orgánicos o inorgánicos

TRATAMIENTOS FÍSICOS PARA SUELOS CONTAMINADOS		
Este tipo de técnicas generalmente no alteran la composición química de los contaminantes solo los separan o concentran aprovechando sus características físicas		
TÉCNICA	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN
Extracción de vapores	• Extracción a temperatura ambiente de compuestos orgánicos ligeros.	Aplicable en el sitio, en suelos permeables
Extracción con solventes (No autorizada por la SEMARNAT)	• Cualquier disolvente orgánico es un material peligroso, por lo tanto será considerada una actividad altamente riesgosa. • El licor que se genere será considerado un residuo peligroso, el cual deberá disponerse como tal. • En caso de poder recuperar el solvente se podrá reciclar. • En caso de que se llegase a derramar el licor al suelo pudiera infiltrar al subsuelo y contaminar el agua subterránea. • El suelo después del tratamiento queda inerte, por lo cual será necesario promover su fertilidad.	Fuera del sitio. Se podría justificar su aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos de fracción pesada (petróleo crudo, combustóleo, aceites pesados).
Inmovilización por solidificación (No autorizada por la SEMARNAT)	• Los contaminantes únicamente se inmovilizan, pero siguen estando presentes en el suelo; siempre existirá la eventual posibilidad de que puedan lixiviar bajo ciertas condiciones. • El cemento con aditivos es utilizado para inmovilizar.	Sobre el sitio o fuera del sitio. Podría aplicar para todo tipo de contaminantes, orgánicos e inorgánicos.
Confinamiento (esta opción no es una remediación, es solamente una solución para casos justificados, su autorización se analiza caso por caso)	• El generador y empresa autorizada serán responsables del suelo contaminado por tiempo indefinido. • Solamente en casos justificados y cuando los contaminantes no sean susceptibles de ser tratados por alguna técnica en especial.	Se recomienda para suelos contaminados con materiales o residuos peligrosos que por causas justificadas no pueden ser sometidos a un tratamiento.

TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN AUTORIZADAS POR LA SEMARNAT PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

REMEDIACIÓN DE SUELO EN EL SITIO	REMEDIACIÓN DE SUELO A UN LADO DEL SITIO	REMEDIACIÓN DE SUELO FUERA DEL SITIO
Biorremediación: Bioventeo, Biocultivo (landfarming)	Biorremediación: Biocomposteo, Biocultivo (landfarming), Biopías	Biorremediación: diferentes opciones según el caso
Extracción de vapores	Lavado (flushing)	Co-procesamiento del suelo contaminado durante la molturación, como materia prima en la fabricación del cemento
---	Oxidación química Neutralización	Oxidación química Neutralización

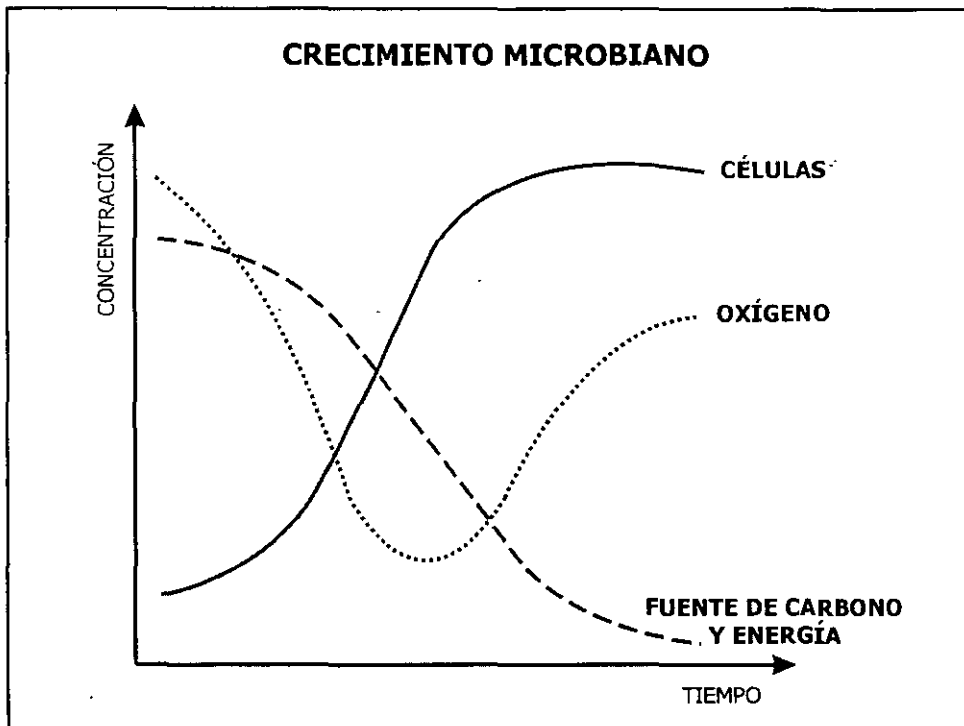
BIORREMEDIACIÓN

Utilización de microorganismos que utilizan a los contaminantes orgánicos como "alimento".

Los microorganismos más comunes: **las bacterias**

Tipos de reacciones

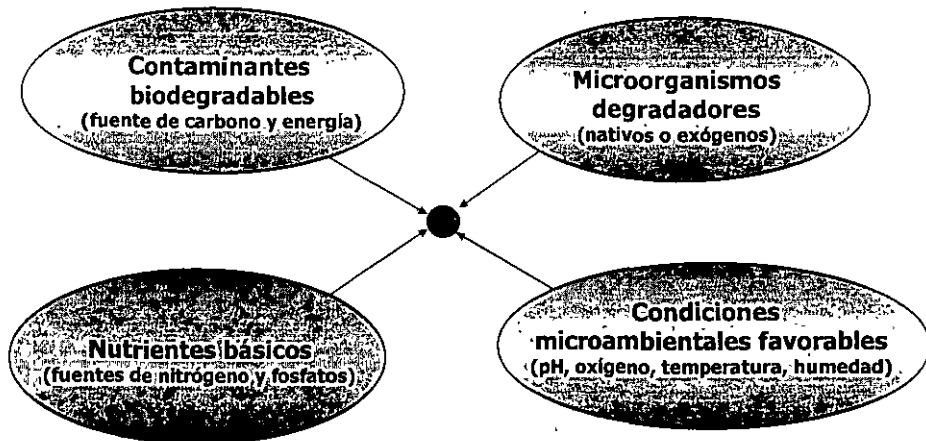
- **Biodegradación: el producto final es CO₂ (mineralización)**
- **Biotransformación: los productos finales son químicamente diferentes a los contaminantes**



EFECTORES 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

Para aplicar una biorremediación se requiere una combinación de



TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN

Aplicables a suelos contaminados con hidrocarburos

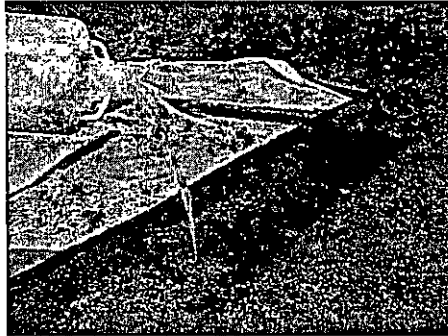
BIOAUMENTACIÓN / BIOINCREMENTO
Adición de inóculos producidos
Aplicación de preparaciones comerciales

BIOESTIMULACIÓN
Adición de fertilizantes
(fuente de nitrógeno amoniacal)

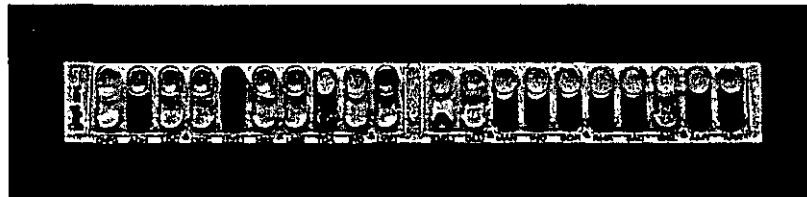
BIOVENTEO
Suministro de oxígeno requerido
para respiración microbiana

ATENUACIÓN NATURAL
Biodegradación mediada por las
condiciones naturales del medio
(sólo requiere seguimiento)
(no es reconocida por la SEMARNAT
como una técnica de remediación)

BIOAUMENTACIÓN//BIOINCREMENTO



La identificación de cepas microbianas mediante técnicas bioquímicas, contribuye a confirmar si se trata o no de microorganismos patógenos



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)

OPCIONES DE BIORREMEDIACIÓN

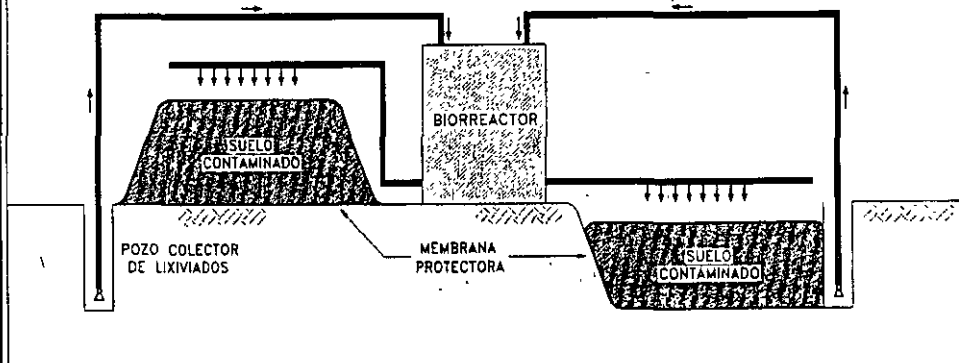
BIOPILAS / BIOCELDAS

BIOCULTIVO
BIOLABRANZA
(Land-farming)

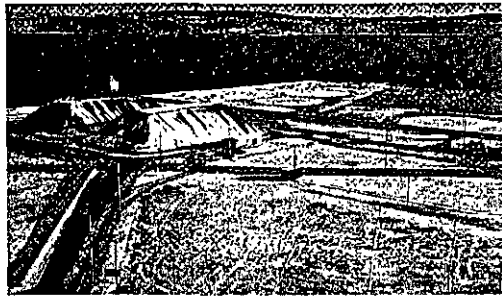
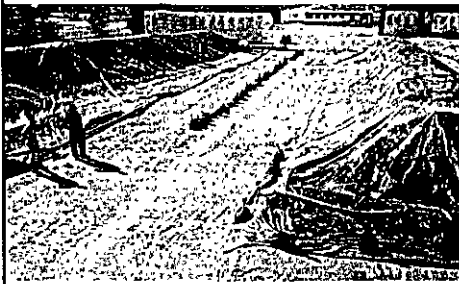
in-situ
GALERÍAS DE
INFILTRACION

BIOPILA
sobre el nivel de terreno

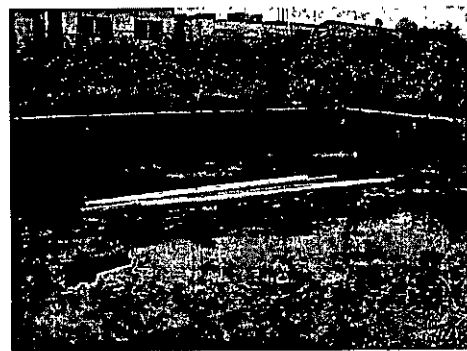
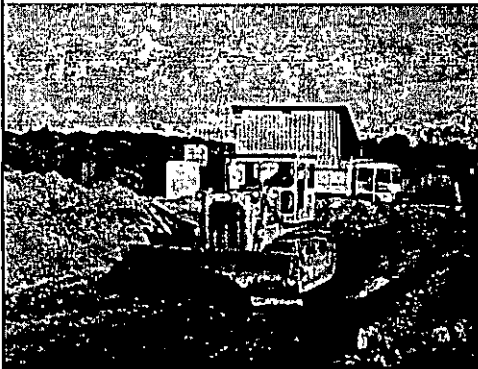
BIOCELDA
debajo del nivel de terreno



DIFERENTES EJEMPLOS DE BIOPILAS



BIOCELDAS



Bioceldas fijas



BIORREACTORES

En los biorreactores se promueve la actividad de los microorganismos biodegradadores, reciben los nutrientes básicos y oxigenación



APLICACIONES DE LA BIORREMEDIACIÓN A SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

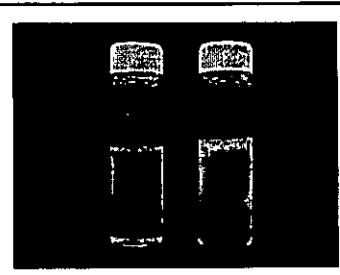
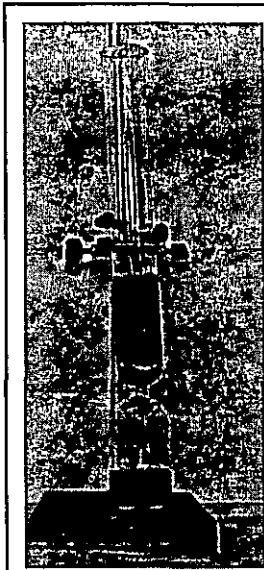
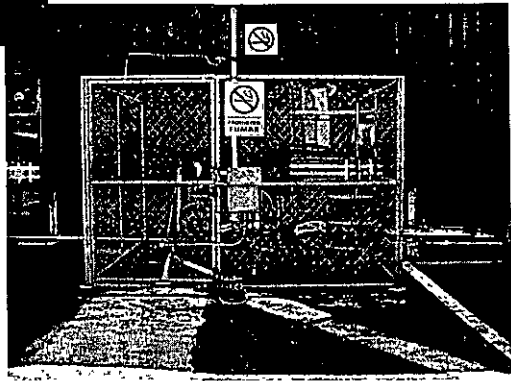
PRODUCTOS REFINADOS	FRACCIÓN	POSIBILIDADES DE BIODEGRADACIÓN
GASOLINA	LIGERA	MUY BUENAS (100%), AUNQUE SE DA NATURALMENTE PÉRDIDA POR VOLATILIZACIÓN
GASAVIÓN		
GASNAFTA		
GASOLVENTE		
QUEROSINA	MEDIA	MUY ALTAS (100%)
TURBOSINA		
DIESEL		
GASÓLEO		
ACEITES	PESADA	REGULARES (50%)
COMBUSTÓLEO		MUY BAJAS (<20%)
ASFALTO		NINGUNA
PETRÓLEO CRUDO		REGULARES (MÁX. 60%)

El sobrecalentamiento genera hidrocarburos muy complejos, por ejemplo los poliaromáticos →



Extracción de vapores del subsuelo

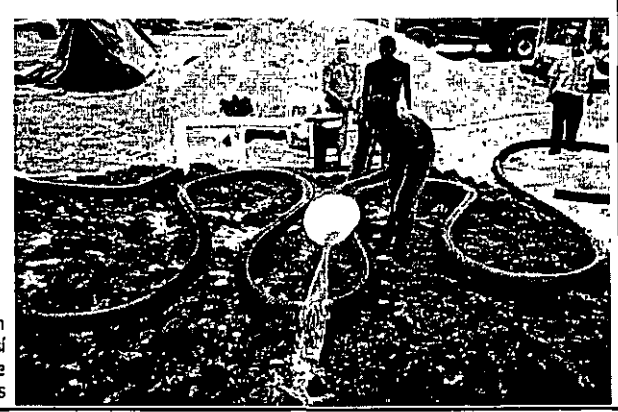
Aplicable en suelos arenosos contaminados con orgánicos volátiles.
Se utilizan extractores de gran capacidad, los vapores deben ser tratados antes de su descarga a la atmósfera.



LAVADO DE SUELOS (FLUSHING)

Adición de agentes tensoactivos para desorber contaminantes del suelo

Lavado de suelos en biopilas con protección del suelo limpio, así como colección y tratamiento de lixiviados en biorreactores

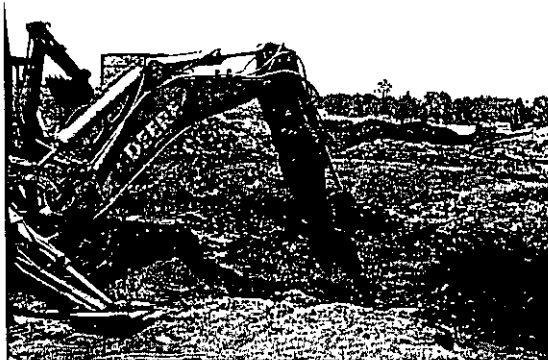


El medio ácido en el que se desarrolla la reacción, provoca efervescencia debido a la expulsión de los carbonatos y bicarbonatos naturales del suelo

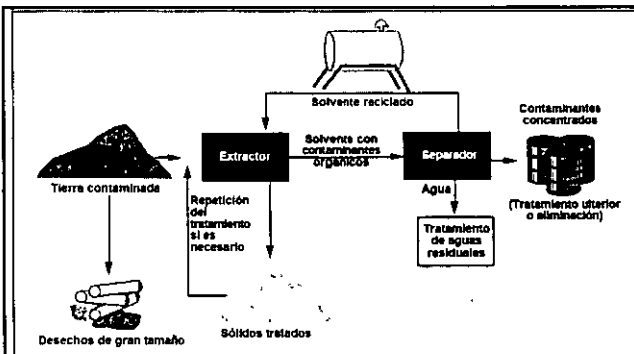
OXIDACIÓN CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO



Aspecto del suelo posterior a la reacción

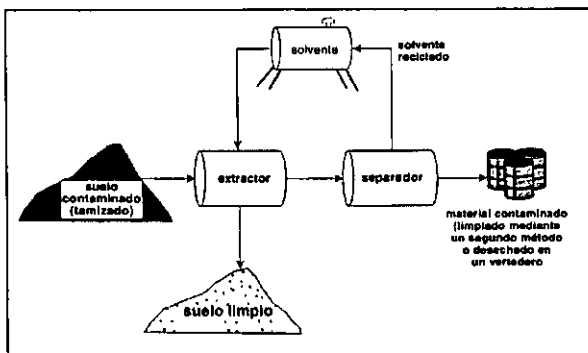


En aquellos casos donde se aplique la neutralización con ácido a suelos afectados por álcalis, también se podrá observar efervescencia



EXTRACCIÓN CON SOLVENTES

Técnica no autorizada por la SEMARNAT



EXTRACCIÓN DE PRODUCTO LIBRE MEDIANTE BOMBEO

Remediación activa

Se extrae producto libre y agua a la vez, según el tipo de bomba se puede controlar el volumen de agua que se extrae.

EXTRACCIÓN DE PRODUCTO LIBRE CON AYUDA DE TUBOS MUESTREADORES (BAILERS) O DESNATADORES (SKIMMERS)

Remediación pasiva

Se extrae únicamente producto libre, pero no agua. Con un ritmo de trabajo constante, el volumen extraído puede ser considerable.

Los desnatadores (skimmers) cuentan con una membrana oleofílica que permite únicamente el paso de hidrocarburos, pero no de agua.

REMIEDIACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES

Bombeo y tratamiento del agua subterránea o superficial.

En el caso de hidrocarburos, separación física agua-fase libre seguida del tratamiento del agua.

En caso de inorgánicos, se pasa directamente al tratamiento del agua.

Tratamiento del agua mediante alguna de las siguientes técnicas, según aplique:

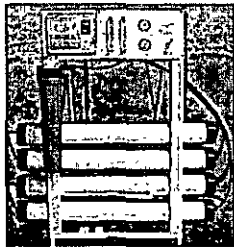
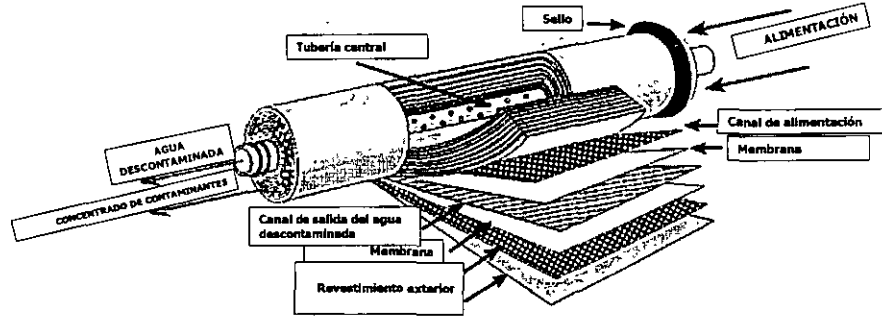
- adsorción selectiva en materiales oleofílicos
- filtración a través de carbón activado
- osmosis inversa
- venteo con captación y tratamiento de gases previo a la descarga de emisiones a la atmósfera

TRATAMIENTOS FÍSICOS PARA AGUAS CONTAMINADAS

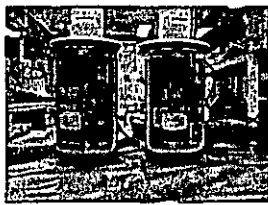
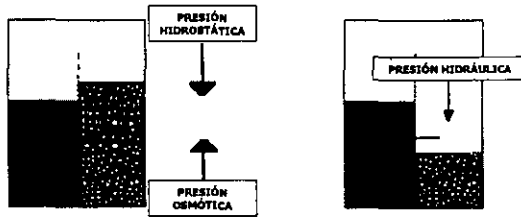
Este tipo de técnicas generalmente no alteran la composición química de los contaminantes sólo los separan o concentran aprovechando sus características físicas

TÉCNICA	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN
Adsorción de hidrocarburos en materiales oleofílicos e hidrofóbicos	<ul style="list-style-type: none"> • Existen en forma de filtro o de tapete, o cual da mucha versatilidad de uso. • Los hidrocarburos son retenidos por materiales oleofílicos, los cuales rechazan el agua. • El filtro o tapete saturado deberá ser dispuesto como residuo peligroso. 	<p>Aplica para aguas superficiales y subterráneas, sobre el sitio.</p> <p>La calidad del agua resultante podrá definir su uso posterior o destino final. En ciertos casos podría devolverse al cuerpo de agua superficial o reinyectarse al acuífero.</p>
Filtración a través de carbón activado	<ul style="list-style-type: none"> • Los contaminantes orgánicos e inorgánicos son absorbidos en el carbón activado, el cual una vez que se satura debe ser regenerado o renovado. • Si el carbón saturado no puede ser regenerado, deberá ser dispuesto como residuo peligroso. 	<p>Aplica para aguas superficiales y subterráneas, sobre el sitio.</p> <p>La calidad del agua resultante podrá definir su uso posterior o destino final. En ciertos casos podría devolverse al cuerpo de agua superficial o reinyectarse al acuífero.</p>
Osmosis inversa	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de compuestos orgánicos e inorgánicos mediante presión mayor a la osmótica, que se ejerce en una membrana semipermeable. • Los contaminantes concentrados se recuperan para su disposición final como residuo peligroso. 	<p>Aplica para aguas superficiales y subterráneas, sobre el sitio, por lo tanto se requiere bombeo.</p> <p>La calidad del agua resultante podrá definir su uso posterior o destino final. En ciertos casos podría reinyectarse al acuífero.</p>
Flotación o Floculación (previa coagulación)	<ul style="list-style-type: none"> • La técnica es similar a la que se aplica en el tratamiento de aguas residuales donde se forman agregados que flotan o floculan, según el principio activo de los reactivos que se utilicen. Los agregados que se generen deberán ser considerados como residuos peligrosos. • Se requiere previamente de una coagulación para la formación de agregados. 	<p>Para aguas superficiales, es conveniente tratar en lote.</p> <p>Si se trata de aguas subterráneas es necesario extraerla para tratarla.</p> <p>En ambos casos, la calidad del agua resultante podrá definir su uso posterior o destino final. En ciertos casos podría devolverse al cuerpo de agua superficial o reinyectarse al acuífero.</p>

REMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS MEDIANTE OSMOSIS INVERSA



Sistema de tratamiento



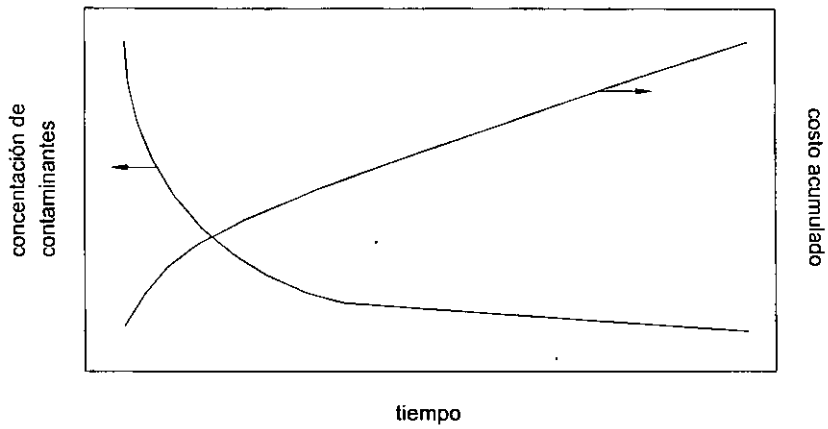
Agua con hidrocarburos

FLOCULACIÓN
(previa coagulación)

Contaminantes en forma de agregados que floculan



Costos de una remediación



COSTOS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Técnica de remediación	\$ M.N. / m ³ suelo
Oxidación química	500 - 1,200
Biorremediación	60 - 600
Lavado	700 - 1,000

**EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL
EN SITIOS CONTAMINADOS**

Dra. Susana Saval



**EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL
EN SITIOS CONTAMINADOS**

LGPGIR, 2003

(Título Primero, Capítulo Único, Artículo 5, Fracción VII)

Proceso metodológico para determinar la probabilidad o posibilidad de que se produzcan efectos adversos, como consecuencia de la exposición de los seres vivos a las sustancias contenidas en los residuos peligrosos o agentes infecciosos que los forman.

ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

Reglamento de la LGPGIR, 2006

(Título Sexto Sección III)

Artículo 141

V. La determinación de los puntos de exposición:

VI. La determinación de las rutas y vías de exposición presentes y futuras, completas e incompletas;

VII. La categorización de las rutas y vías de exposición para las cuales se evaluará el riesgo;

VIII. La determinación de los componentes del ecosistema, incluyendo organismos blanco de interés especial o de organismos productivos residentes en el sitio;

IX. La determinación de la toxicidad y la exposición de los contaminantes a los componentes del ecosistema, incluyendo los organismos blanco de interés especial o de organismos productivos residentes en el sitio y, la evaluación de los efectos;

Continúa . . .

ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

Reglamento de la LGPGIR, 2006

(Título Sexto Sección III)

Artículo 141

X. La descripción de las suposiciones hechas a lo largo de los cálculos efectuados y de las limitaciones e incertidumbres de los datos en los cuales se basa la evaluación de riesgo, y la caracterización total del riesgo, entendiendo esta como la conclusión de la evaluación de la información anterior, y

XI. La representación gráfica de la información señalada en las fracciones anteriores como hipótesis de exposición total.

XII. Para la determinación de toxicidad y exposición del presente artículo podrán utilizarse los perfiles toxicológicos aceptados internacionalmente.

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

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

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

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

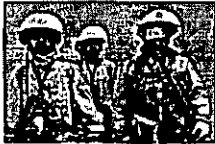
Debido a que esta evaluación tiene que ver con efectos sobre la salud humana, los resultados deberán ser aceptados por la autoridad competente (COFEPRIS)

Anexo 2

MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO AMBIENTAL DE SITIOS CONTAMINADOS CUANDO ENTRE LOS RECEPTORES SE ENCUENTRAN SERES HUMANOS

El objetivo es determinar el tipo de acciones de remediación a realizar en sitios contaminados afectados o dañados por materiales o residuos peligrosos.

El campo de aplicación es la caracterización del riesgo en sitios contaminados en donde además de ser afectados los recursos naturales biológicos o no biológicos como suelo y cuerpos de agua, seres humanos sean receptores potenciales de la contaminación.



CONCEPTOS CLAVE

TOXICIDAD

Capacidad inherente de un compuesto químico de causar efecto(s) biológico(s) adverso(s).

EFFECTO ADVERSO

Cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo, reproducción de un organismo, sistema o población resultado del deterioro de su capacidad funcional, deterioro de la capacidad de compensación a factores adicionales de estrés o a un incremento en la susceptibilidad de otros factores.

PELIGRO

Capacidad inherente de uno o varios contaminantes de causar efectos adversos cuando el hombre, sistemas o poblaciones están expuestos a él.

RIESGO

Probabilidad de que ocurra un efecto adverso sobre el hombre o el ambiente resultado de la exposición a uno o varios contaminantes.

DESCRIPCIÓN DEL SITIO

- **Nombre del sitio**
- **Ubicación del sitio**
- **Área del predio, área contaminada**
- **Tipo de sitio**
 - por actividad:** disposición de residuos, área industrial, áreas de extracción y manejo de petróleo y derivados, áreas mineras, áreas agrícolas de aplicación de herbicidas y plaguicidas, accidentes (emergencias ambientales), área comercial.
 - por componentes ambientales involucrados:** tipo de ecosistema y hábitat (bosque, estero, laguna), tipo de ambiente (acuático, terrestre, marino, aéreo o una combinación de éstos), tipo de matrices afectadas (agua, suelo, aire).
- **Tóxicos presentes en el sitio**
- **Origen de la contaminación y proceso contaminante**
- **Exposición humana a los contaminantes del sitio**
- **Barreras de acceso**
- **Uso de suelo**
- **Recursos naturales en el sitio**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA RELEVANTE QUE DETERMINA EL TRANSPORTE Y DESTINO DE LOS CONTAMINANTES

- **Tipo de terreno: topografía**
- **Suelo: tipo de suelo y cubierta vegetal**
- **Cuerpos de agua superficial: tipos, usos, descargas, inundaciones**
- **Cuerpos de agua subterránea: tipo de acuífero, dirección de flujo del agua subterránea, usos del agua**
- **Datos meteorológicos relevantes: precipitación pluvial, temperatura, vientos**

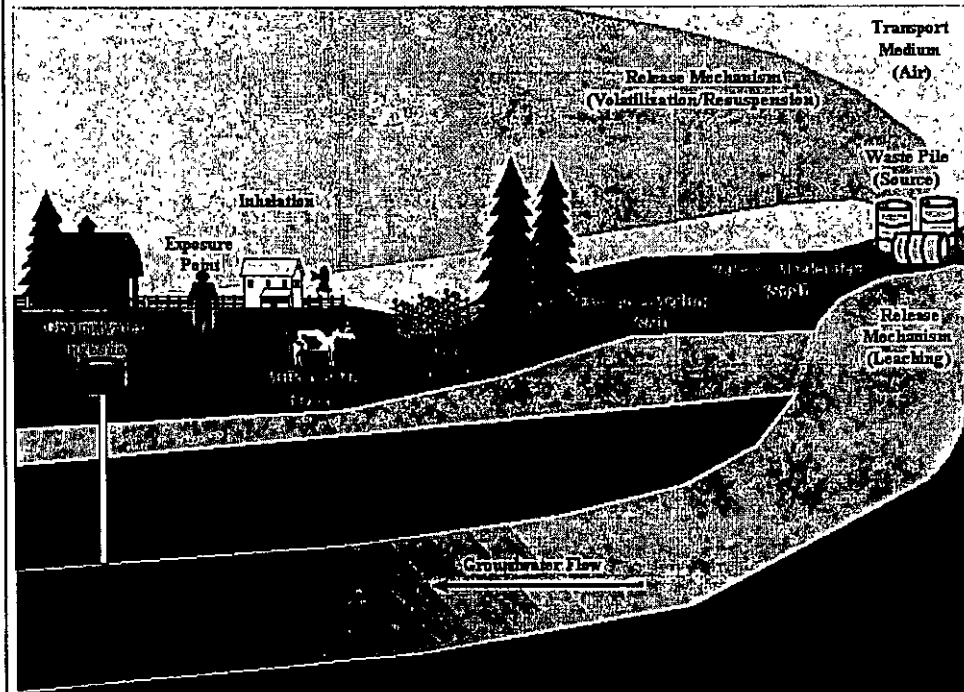
MODELO CONCEPTUAL

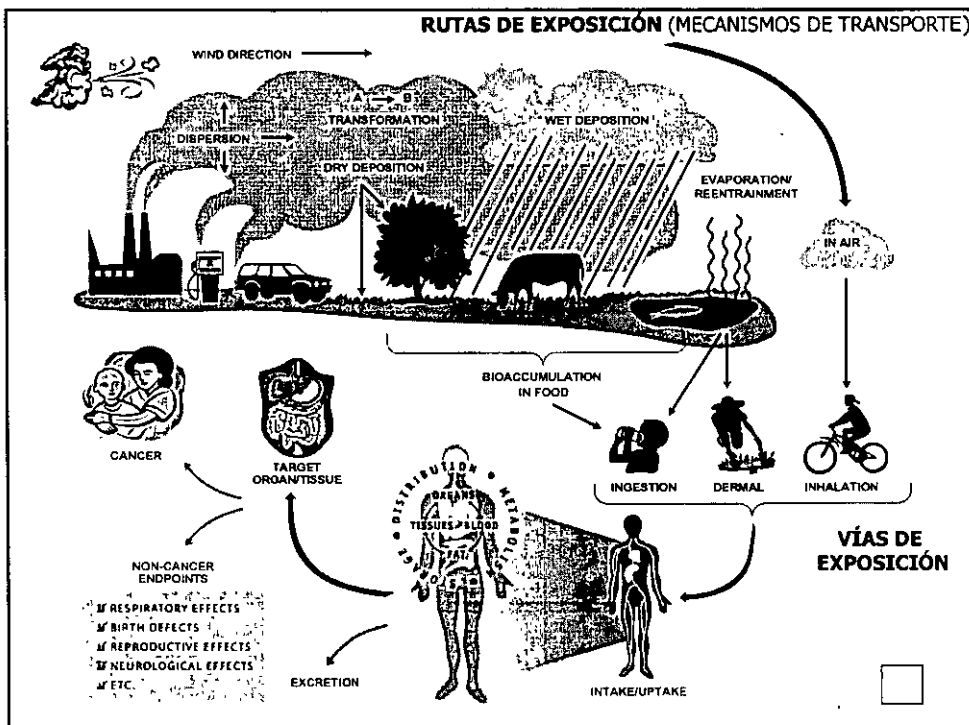
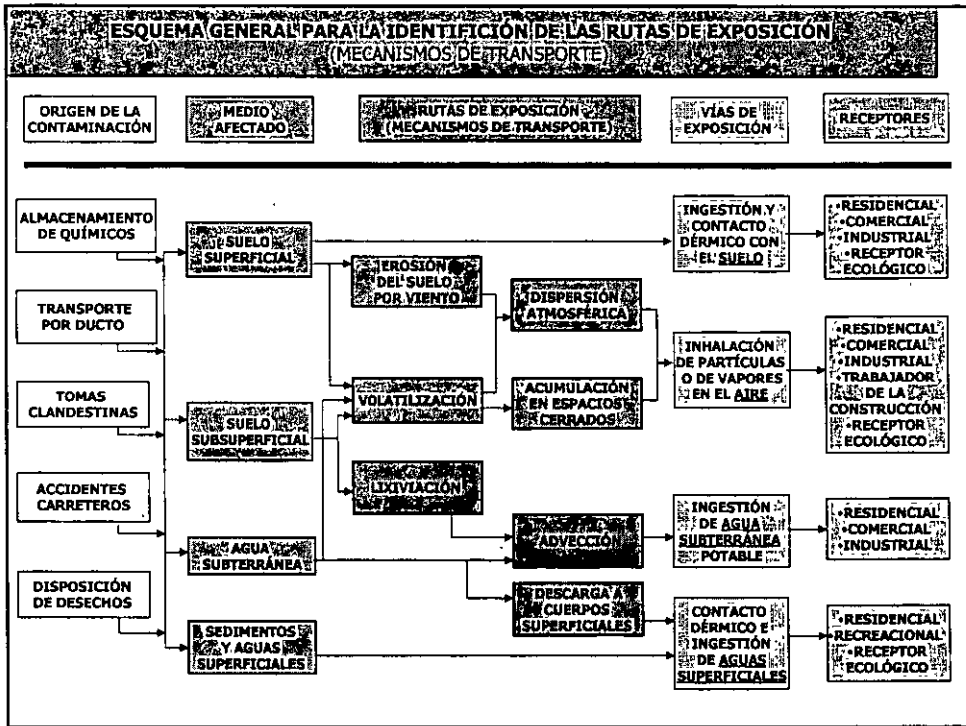
Herramienta que representa esquemática o descriptivamente un evento de contaminación en un sistema ambiental.

Es útil para determinar los procesos físicos, químicos y biológicos que dan lugar al transporte de contaminantes desde la fuente hacia los medios ambientales y de ahí a los potenciales receptores del sistema, así como para determinar el grado de contaminación de un sitio.



MODELO CONCEPTUAL





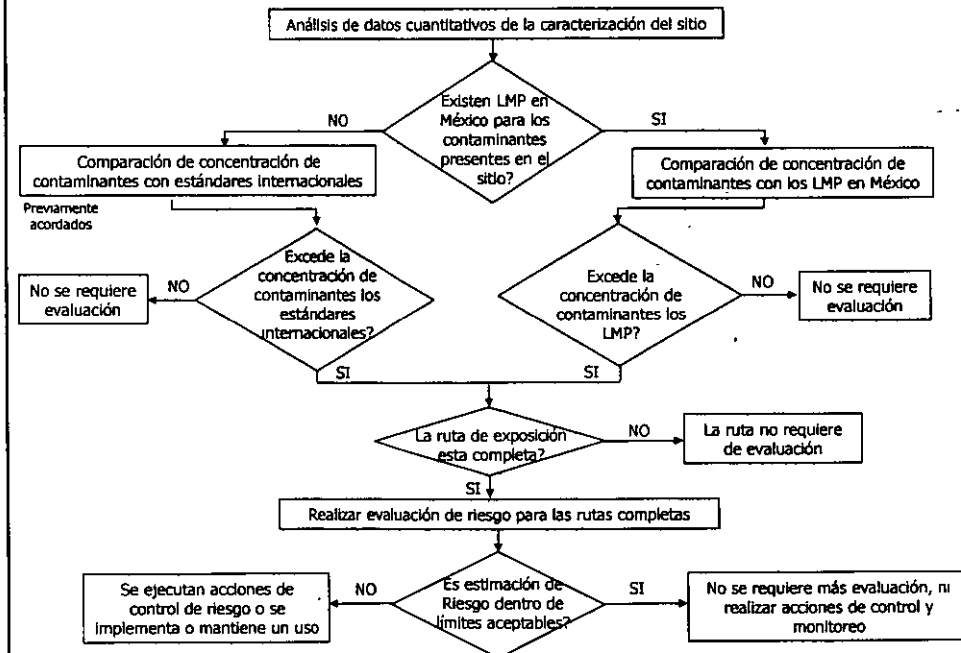
Primera evaluación de la información

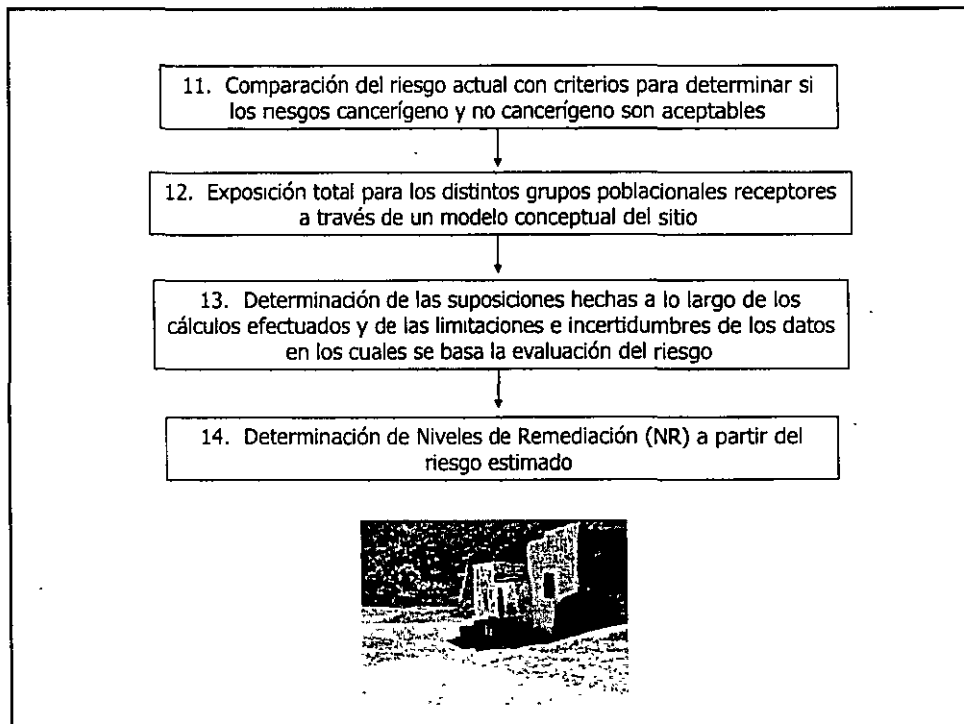
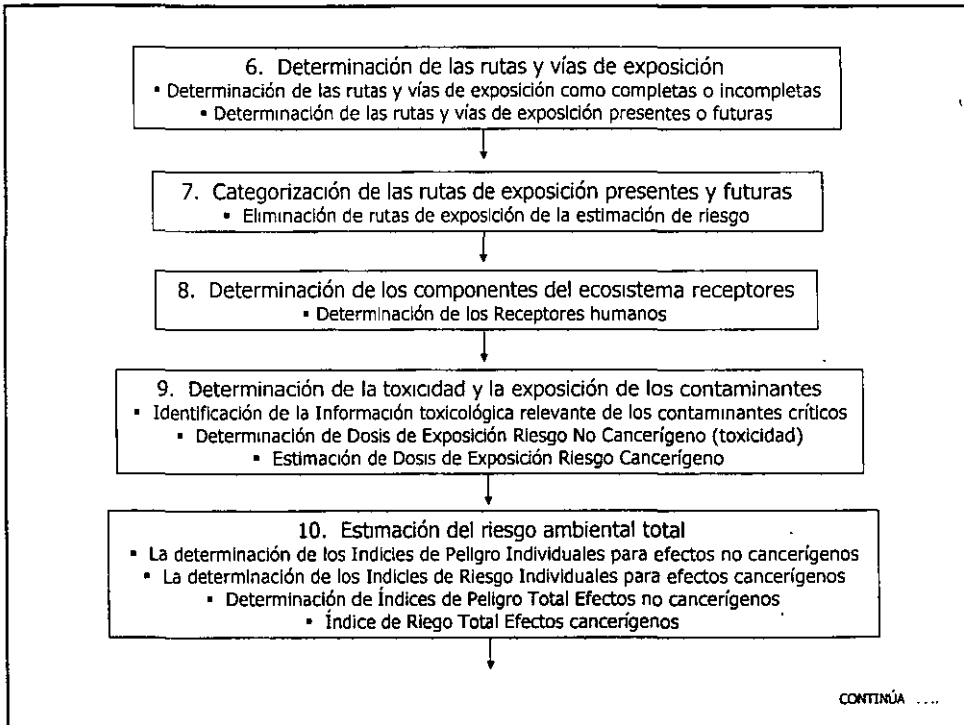


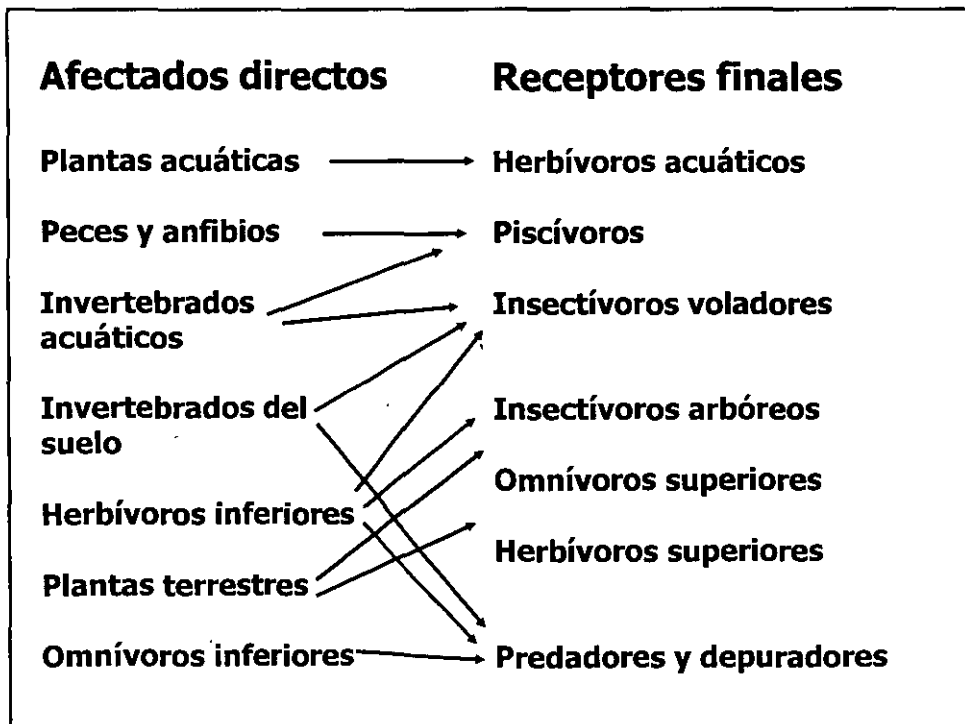
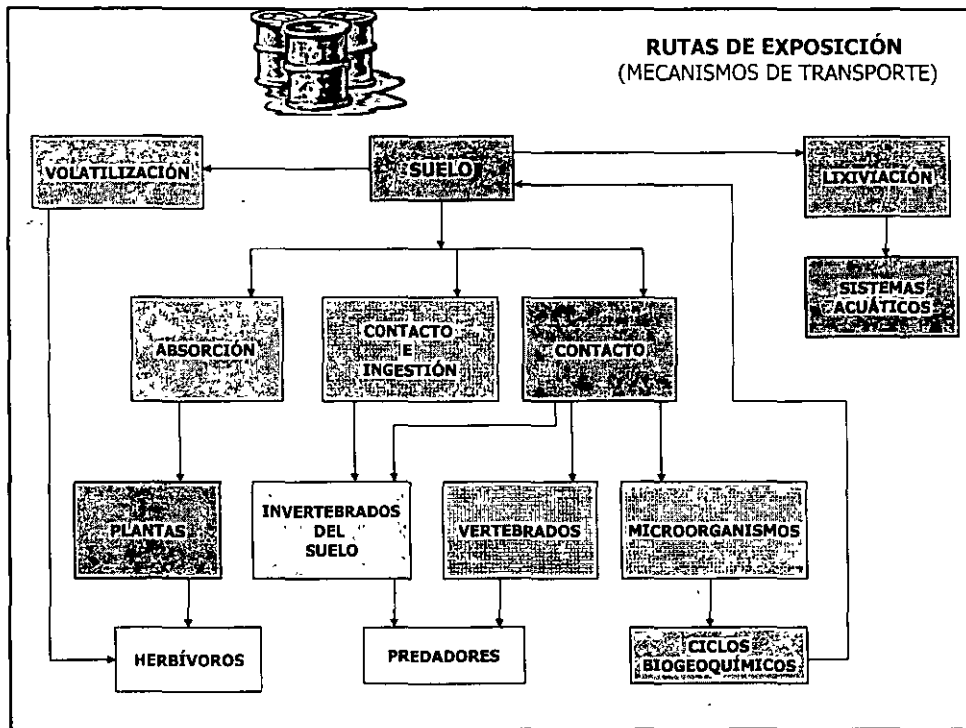
- Integrar la información existente contenida en el estudio histórico y el estudio de caracterización del sitio
- Evaluar la presencia y consistencia de los datos y resultados de muestreos con respecto a la(s) ruta(s) y vía(s) de exposición
 - Características fisicoquímicas de los contaminantes*
 - Características de las distintas matrices del sitio (agua, suelo, aire)
 - Movilidad de los contaminantes en el sitio
 - Posibles receptores en el sitio

* Se entregaron varias tablas con información referente a 4 diferentes grupos de contaminantes

Anexo C. Diagrama general de flujo de ejecución estudios de estimación de riesgo al medio ambiente y a la salud humana







Selección de especies críticas u organismos blanco de interés especial

- **Los criterios para la selección de la(s) especie(s) crítica(s) son:**
 - **Hábitat**
 - **Relevancia**
 - **Antecedentes documentados o efectos visibles**
 - **Valor económico o uso para consumo**
 - **Los efectos adversos de la contaminación en la especie**
 - **Abundancia, distribución o predominancia de la especie en el sitio**
 - **Muestreo**
 - **Movilidad**
 - **Conocimiento de la biología de la especie**



- **En el caso de que el sitio contaminado incluya varios ecosistemas se podrán elegir por lo menos una especie por ambiente.**

- **En Áreas Naturales Protegidas se deberá distinguir entre la zona de amortiguamiento y la zona núcleo.**

- **Condiciones para el no uso de las especies críticas dentro del estudio de riesgo:**

- **Dificultad para muestrear organismos de la especie crítica**
- **La biología de la especie no es conocida**
- **La especie presenta algún estatus de protección**
- **La especie es rara**

- **Las especies que pueden sustituir a las especies críticas son especies de menor importancia dentro del sitio contaminado, se debe estimar la exposición de las especies críticas a través de ellas ya sea por relación trófica, semejanza u otra característica que permita su comparación.**

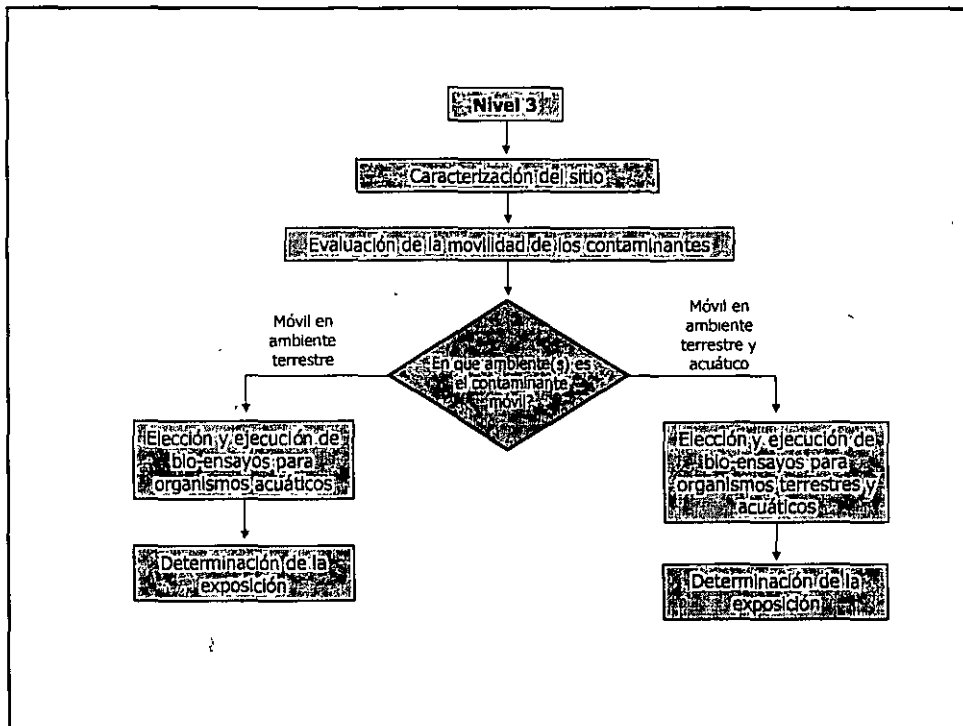
Niveles de evaluación

Una vez que el tipo de área y el tipo de receptor se han identificado, el evaluador elegirá uno de los tres niveles de evaluación en función de la información disponible, entre mayor es el nivel de evaluación, menor será incertidumbre.

Niveles: 1, 2, 3



Tipo de receptor	Tipo de área		
	Área urbana (Industrial/ Comercial)	Área no urbana (Agrícola)	Área natural protegida (Ecosistemas valiosos)
Recursos Naturales No biológicos Suelo, agua	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
Recursos Naturales Población humana (Trabajadores durante la remediación)	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies con valor económico Sin información toxicológica	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 1
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies amenazadas/protegidas o con valor económico Con información toxicológica	Nivel 0	Nivel 2	Nivel 2
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies protegidas y ecosistemas	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies protegidas y ecosistemas. IP<1 y/o sin información Toxicológica	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 1



Nivel 1

- **Condiciones**

- No se tiene información sobre los valores de toxicidad de referencia (VTR) para el contaminante y el organismo de interés.
- No se tienen datos de campo referentes a las características de la exposición de los organismos en el sitio de estudio que definen las dosis de exposición.

- **Características**

- En este nivel se evalúan efectos a nivel organismo, pero no pueden establecerse efectos a nivel de las poblaciones, comunidades o ecosistemas.

- **Ventajas**

- El tiempo de estudio es relativamente reducido.
- Pueden resultar valores seguros para los ecosistemas.

- **Desventajas**

- Mediante este procedimiento se obtendrán niveles de exposición con alto grado de incertidumbre y por lo tanto niveles de remediación muy estrictos, lo que puede conducir a altos costos de remediación.

Modificación del modelo conceptual del sitio

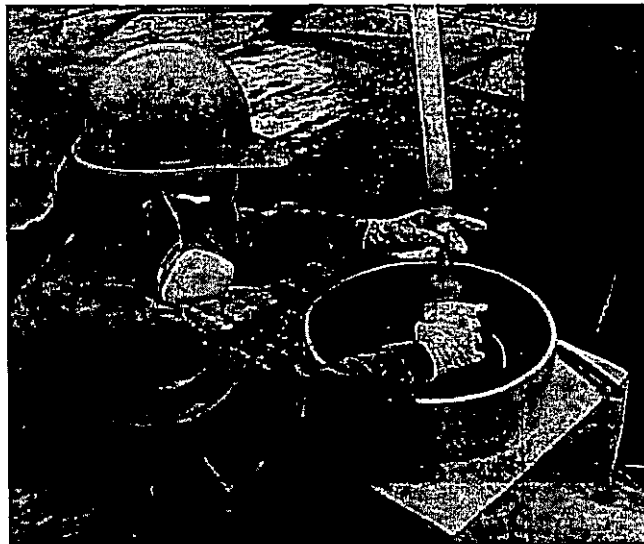
Después de la interpretación de los resultados obtenidos, será posible modificar el modelo conceptual del sitio.

En esta revisión es necesario tomar en cuenta:

- los organismos afectados
- la toxicidad de mezclas
- el comportamiento de los compuestos contaminantes
 - su movilidad en el ambiente
 - su mecanismo de transporte
- las vías de exposición completas de mayor importancia



EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD HUMANA EN UN SITIO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS Y COMPUESTOS ORGÁNICOS CLORADOS



**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

**PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS
DETECTADAS EN AGUA SUBTERRÁNEA**

Nombre del Compuesto	Peso Molecular (g/mol)	Coefficiente de partición carbono orgánico/agua (Koc) Log (L/kg)	Solubilidad en agua (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)
Acenafeno	154.21	3.85	3.93	0.0000076	0.0318	0.005	0.042
Aldrin	364.92	2.61	7.84E-02	4.86E-06	2.06E-02	1.67E+05	1.32E-02
Benceno	78.1	1.77	1,750.0	0.0000098	0.229	95.2	0.088
Cloroformo	119.4	1.93	9.64E+03	1.00E-05	1.40E-01	2.08E+02	1.04E-01
Clorobenceno	112.6	2.34	4.72E+02	8.7E-06	1.53E-01	1.18E+01	7.30E-02
Cloruro de metileno	85	1.07	1.30E+04	1.17E-05	9.03E-02	4.38E+02	1.01E-01
Cloruro de vinilo	62.5	1.70	2.54E+03	1.23E-05	3.55E+00	2.66E+03	1.06E-01
Diclorobenceno (1,2) (-o)	147	3.32	1.50E+02	7.90E-06	8.00E-02	1.50E+00	6.90E-02
Diclorobenceno (1,3) (-m)	147	3.23	1.23E+02	7.90E-06	1.34E-01	3.90E+00	6.88E-02
Diclorobenceno (1,4) (-p)	147	3.33	1.45E+02	7.90E-06	6.60E-02	1.20E+00	6.90E-02
Dicloroetano, 1,1-	98.96	1.76	5.50E+03	1.05E-05	6.35E-01	5.91E+02	7.42E-02
Dicloroetano, 1,2-	99	1.76	8.69E+03	9.90E-06	4.95E-02	8.00E+01	1.04E-01
Dicloroetano, cis-1,2-	96.936	2.10	8.00E+02	1.13E-05	1.32E+00	2.00E+02	7.36E-02

**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS
DETECTADAS EN AGUA SUBTERRÁNEA**

Nombre del Compuesto	Número de Referencia CAS	Clasificación de riesgo según efecto a la salud USEPA*	Máximo nivel de contaminación MCL (mg/L)	Dosis de referencia RfD _{oral} (mg/Kg-día)	Factor de pendiente Sf _{oral} (mg/kg-día) ⁻¹	Factor de riesgo unitario URF _{Inhalación} (µg/m ³) ⁻¹	Concentración de referencia RfC Inhalación (mg/Kg)
Dicloroetano, 1,2-trans-	156-60-5	-	1.00E-01	2.00E-02	-	-	-
Etilbenceno	100-41-4	D	7.00E-1	1.00E-1	-	-	-1.00
Hexaclorobenceno	118-74-1	B2	1.00E-03	8.00E-04	1.60E+00	4.60E-04	5.60E+00
Lindano	58-89-9	B2-C	2.00E-04	3.00E-04	1.30E+00	3.71E-03	1.05E-03
Naftaleno	91-20-3	D	-	4.00E-1	-	-	1.40
Tetracloruro de carbono	56-23-5	B2	5.00E-03	7.00E-04	1.30E-01	1.50E-05	2.00E-03
Tetracloroetano, 1,1,2,2-	79-34-5	C	-	6.00E-02	2.00E-01	5.80E-05	7.00E-01
Tetracloroetano	127-18-4	C-B2	5.00E-03	1.00E-02	5.20E-02	5.80E-07	3.50E-02
Tolueno	108-88-3	D	1.00	2.00E-1	-	-	4.00E-1
Tricloroetano, 1,1,1-	71-55-6	D	2.00E-01	2.00E-02	-	-	1.00E+00
Tricloroetano, 1,1,2-	79-00-5	C	5.00E-03	4.00E-03	5.70E-02	1.60E-05	2.00E-01
Tricloroetano	79-01-6	B2	5.00E-03	6.00E-03	1.10E-02	1.71E-06	2.10E-02
Xilenos (suma de isómeros)	1330-20-7	D	1.00E+1	2.00	-	-	7.00

Características del sitio de estudio (1 de 2)

1. De la zona afectada

Área de suelo contaminada **(17,850 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)**

**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

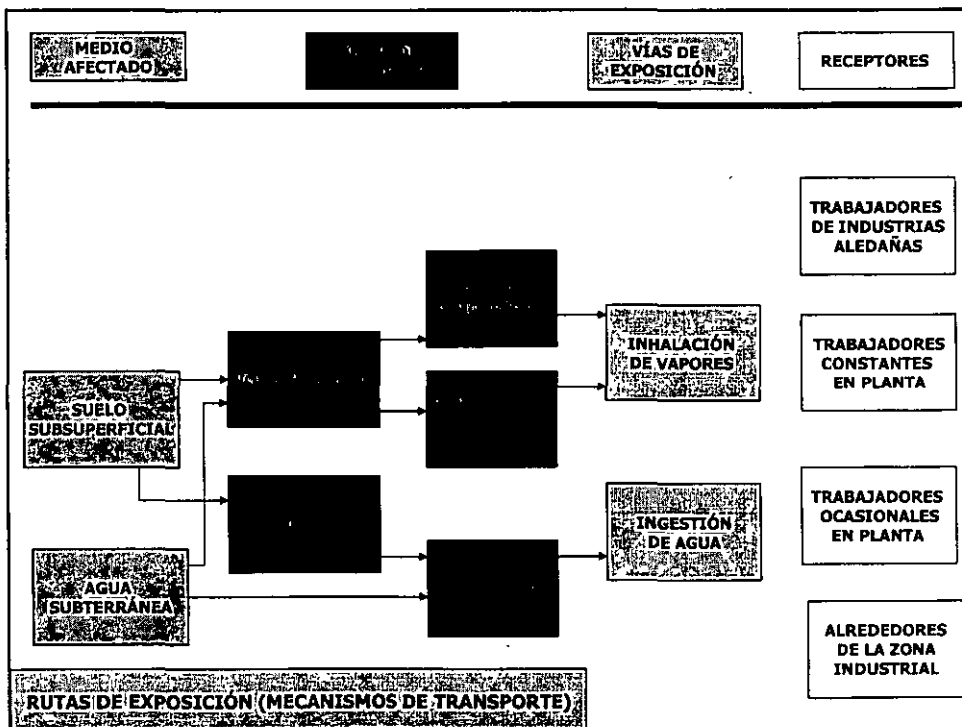
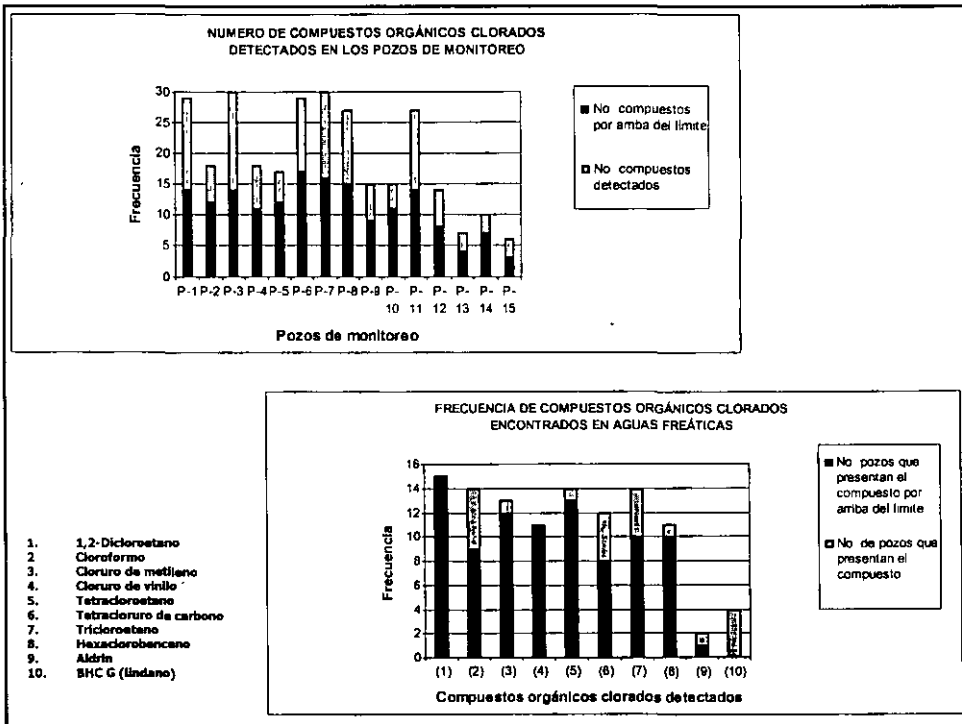
II. SUELO

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**



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				
Aledaños	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 NIVELES ESPECÍFICOS DE REMEDIACIÓN CON BASE EN EL RIESGO

SUSTANCIA	S U E L O		AGUA SUBTERRÁNEA	
	Niveles específicos de remediación con base en riesgo mg/kg	Concentración en suelo (mg/kg) mayor al límite aceptable basado en riesgo ?	Niveles específicos de remediación 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	62.0	X	20	X
Etilbenceno	180.0	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	12.0	X	0.12	X
1,3-Diclorobenceno	25.0	X	3.1	X
1,2-Diclorobenceno	220.0	X	9.2	X
Cloroformo	0.019	X	350	√

* concentraciones por arriba de la saturación en suelo o de la solubilidad en agua

CONTINÚA